



ДАЛЬНИИС



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

X Всероссийская научно-практическая конференция

(Владивосток, 21-27 января 2025 года)

Материалы конференции

Владивосток
2025

УДК 378.14

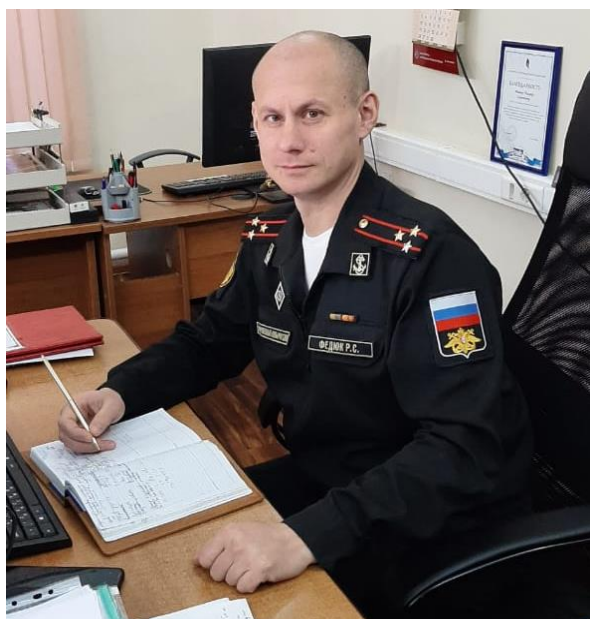
Инженерное дело на Дальнем Востоке России: Материалы X Всероссийской научно-практической конференции. Владивосток: ВУЦ ДВФУ. 2025. - 456 с.

В издании представлены материалы докладов участников X Всероссийской научно-практической конференции «Инженерное дело на Дальнем Востоке России», состоявшейся во Владивостоке 21 - 27 января 2025 года.

ISBN 978-5-90363-186-5

Под редакцией д.т.н. Федюка Р.С., д.т.н. Минаева А.Н., Козлова П.Г.

© ДВФУ, ВОИР, 2025



Уважаемые участники конференции!

21 - 27 января 2025 года Военный учебный центр и Политехнический институт Дальневосточного федерального университета совместно с Институтом химии ДВО РАН, филиалом ФГБУ "ЦНИИП Минстроя России «Дальневосточный научно - исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт по строительству» (ДальНИИС) и Приморской региональной организацией Всероссийского общества изобретателей и рационализаторов

провели юбилейную X 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» продолжит быть важным ежегодным событием для российской науки и привлечет участников из всех регионов России.

***С уважением,
профессор военного учебного центра при ДВФУ
ведущий научный сотрудник Института химии ДВО РАН
главный научный сотрудник ДальНИИС
доктор технических наук
член-корреспондент Российской инженерной академии
советник РААСН
полковник Федюк Роман Сергеевич***

Оглавление

Секция 1 - Строительные конструкции, здания и сооружения.....	9
Ким Л.В. ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МОРСКИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....	9
Адушкин К.Г., Сосновских С.С., Айзатуллин М.М., Сабитов Л.С., Токарева Л.А. ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕХГРАННЫХ СЕЧЕНИЙ РЕШЕТЧАТЫХ ОПОР ВЗАМЕН ЧЕТЫРЁХГРАННЫХ НА ПРИМЕРЕ ОПОРЫ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ МАРКИ У110-4+5	14
Айзатуллин М.М., Зарипов М.М., Сабитов Л.С., Токарева Л.А., Хусаинов Р.Д. ОЦЕНКА И КОНТРОЛЬ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОТТЯЖЕК КОНСТРУКЦИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ.....	24
Синицына В.А., Карасова И.Ю. ПРОБЛЕМЫ РЕКОНСТРУКЦИИ ДЕРЕВЯННЫХ ЗДАНИЙ	33
Вавренюк С.В., Рамазанов Р.Г. УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА	37
Вавренюк С.В., Аюбов Н.А. КОМПОЗИЦИОННЫЕ СМЕСИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	42
Секция 2 - Основания и фундаменты, подземные сооружения.....	48
Галицкая Е.С. СПОСОБЫ ИСКУССТВЕННОГО ВМОРАЖИВАНИЯ СВАЙ В ВЕЧНОМЕРЗЛЫЕ ГРУНТЫ.....	48
Федюк Г.Р. ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ УРБАНИЗАЦИИ.....	51
Федюк Г.Р. ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАЩИТНЫХ ОБЪЕКТОВ.....	52
Федюк Г.Р. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЗАЩИТНЫМ ОБЪЕКТАМ	55
Секция 3 - Вибродиагностика и виброналадка	57
Андрюхина П.А., Плаксин Р.А. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БАЛАНСИРОВКИ ТУРБИН МЕТОДОМ ДКВ	57
Ле Куй Вьет, Морковин А.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ОСНОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ПО КРИТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТЕ.....	59
Васютина А.А., Нестеренко И.А., Изотов Н.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ СТЕНДА ДЛЯ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ.....	64
Клименко Е.В., Комаров Д.А. РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ГЛАВНОГО ПРОПУЛЬСИВОВОГО КОМПЛЕКСА	67
Лойко Д.В. ВЫДЕЛЕНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАЗНОЙ ПРИРОДЫ ИЗ СИГНАЛА ВИБРАЦИИ.....	71
Секция 4 - Водоснабжение, канализация и гидротехника.....	77
Котовская Е.Е., Ангелюк И.П., Кириченко Д.Р., Белоус А.В. АНАЛИЗ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ВЕЛИЧИН УТЕЧЕК ПРИ НАРУШЕНИИ ЦЕЛОСТНОСТИ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ	77
Трусов М.А. РАЙОНИРОВАНИЕ КАРТЫ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ ПО ТОЛЩИНЕ ЛЬДА ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА RUTHON	84
Петров И.А., Афонский Н.И. ПЕРСПЕКТИВЫ СТРОИТЕЛЬСТВА МОСТА НА САХАЛИН ..	91

Секция 5 - Строительные материалы и изделия	96
Завадская Л.В. ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ АРМИРОВАННОГО ГАЗОГИПСА	96
Макеев А.И., Кукина О.Б. СЕДИМЕНТАЦИОННАЯ СЕПАРАЦИЯ ПЫЛЕВИДНОЙ ФРАКЦИИ ГРАНИТНОГО ОТСЕВА.....	100
Монастырев П.В., Ельчищева Т.Ф., Таскалиев А.Т. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ТЕРМОЛИТА И БЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ.....	108
Ткач Е.В., Бурьянов А.Ф., Филимонова Ю.С., Шусев Г.А. МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ТЯЖЕЛЫЙ БЕТОН, РАБОТАЮЩИЙ В СУРОВЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ	115
Повелицин А.С. ЯМОЧНЫЙ РЕМОНТ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВТОРСЫРЬЯ, ГРАНУЛЯТА АСФАЛЬТОБЕТОНА И МОДИФИЦИРОВАННОГО ГРАНУЛЯТОМ ВТОРИЧНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА, ПОЛИПРОПИЛЕНА И ПЭТ, БИТУМА	123
Покидов Д.С. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРАНУЛЯТА, ВТОРИЧНЫХ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ПЛАСТИКОВ И МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ.....	134
Ильина Л.В., Цекарь Д.А. ВЛИЯНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПОМОЛА МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ НА ЕЕ ФАЗОВЫЙ СОСТАВ	147
Ильина Л.В., Вишняков Н.С. ИЗМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОПОДВИЖНОГО БЕТОНА ВВЕДЕНИЕМ СУПЕРПЛАСТИФИЦИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ.....	154
Макушина Ю.В., Шмитько Е.И., Белькова Н.А. ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВОВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ ПО ПОКАЗАТЕЛЮ ВЛАЖНОСТНОЙ УСАДКИ.....	162
Ками Килперик, Усачев С.М. ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВОВ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ БЕТОНОВ ПО ВИДУ И РАСХОДУ ДОБАВОК-МОДИФИКАТОРОВ ДЛЯ УСЛОВИЙ РЕСПУБЛИКИ БУРУНДИ	167
Секция 6 - Ремонтные работы в строительстве	172
Новиков Д.Г., Гальцев А.А., Строкин К.Б., Румянцева В.Е., Коновалова В.С. КОМБИНИРОВАННАЯ ДОБАВКА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ К БИОКОРРОЗИИ.....	172
Одуденко Е.В.РЕМОНТНЫЕ РАБОТЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИБРОПРЕССОВАННЫХ СТЕНОВЫХ БЕТОННЫХ БЛОКОВ	176
Морозова Ю.А., Окольникова Г.Э. ПРИМЕНЕНИЕ КАУТОНОВ В КАЧЕСТВЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ.....	179
Секция 7 - Технология и организация строительства	186
Протченко А.В. РЕЦЕПТ АСФАЛЬТОБЕТОНА ДЛЯ ЯМОЧНОГО РЕМОНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕВУЛКАНИЗИРОВАННОЙ РЕЗИНОВОЙ КРОШКИ И ГРАНУЛЯТА АСФАЛЬТА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СООТВЕТСТВИЯ ПО ГОСТ	186
Пересадына Ю.А. ПРИМЕНЕНИЕ КЛЕЕНОЙ ДРЕВЕСИНЫ В КУПОЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ	201
Пугачев И.П. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ДОМОВ В Г. ВЛАДИВОСТОКЕ.....	207

Секция 8 - Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей	209
Куверин И.Ю., Гусев С.А., Блинов Д.Г. АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ НА ДОРОГАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ.....	209
Яшинов А.Н., Руденко С.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ПОЯВЛЕНИЯ ТРЕЩИН В СТЕНКАХ КОРОбЧАТЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ ИЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА.....	217
Ковба Н.С., Могильная Ю.О., Умиров Е.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ (ДОРОГ, ТУННЕЛЕЙ, МОСТОВ) В УСЛОВИЯХ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА	223
Лиходедова Н.Р., Рогова Е.Д. АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МОРСКОЙ ТУРИСТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРИМОРСКОГО КРАЯ.....	233
Ндайзейе Фуади, Белькова Н.А. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ РЕСПУБЛИКИ БУРУНДИ ДЛЯ ЦЕМЕНТНЫХ ДОРОЖНЫХ БЕТОНОВ	238
Примчук А.Г. Бушуев Д.В., Ильинский Ю.Ю. СХЕМЫ ОТВОДА ВОДЫ С ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ И ИХ ОСОБЕННОСТИ	244
Понкратьев В.С., Сабодаш О.А. МЕТОДЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗИМНИХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК	249
Бондаренко А.Н., Абайдуллин Р.У., Федюк Р.С. АНАЛИЗ МОТОРНЫХ МАСЕЛ В ПЕРИОД САНКЦИЙ	259
Секция 9 - Перспективные энерготехнологии.....	263
Ким Кум Чол АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛА ИСТОЧНИКОВ СОЛНЕЧНОЙ И ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГИИ КОРЕЙСКОЙ НАРОДНО-ДЕМОКРАТИЧЕСКОЙ РЕСПУБЛИКИ.....	263
Силин Н.В., Киншт Н.В., Петрунько Н.Н. ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СПЕКТРОВ СОБСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ. ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ.....	270
Тетиора С.Ю., Силин Н.В., Петрунько Н.Н. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	279
Силин Н.В., Фалин С.Г. КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ МАГНИТОПРОВОДА ПО КРИТЕРИЮ ПОТЕРЬ ХОЛОСТОГО ХОДА	282
Зейлерт А.В. УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МЕТОД ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ НАКИПЕОБРАЗОВАНИЯ В ЭЛЕМЕНТАХ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК	287
Зорин А.В. КАТАЛИТИЧЕСКИЕ НЕЙТРАЛИЗАТОРЫ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ	293
Кайтан Д.В. АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК	297
Бузиков Р.А., Нешименко В.В. ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МИКРО-, СУБМИКРО- И НАНОПОРОШКОВ SiO₂	306
Голых А.Е., Фомин Д.В. СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНАСТКИ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ	312

Рябов И.А., Фомин Д.В., Шолыгин И.О., Поляков А.В. РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА УСТРОЙСТВА СМЕНЫ МАСОК	317
Фомин Д.В., Шолыгин И.О., Поляков А.В., Галкин Н.Г., Галкин К.Н., Чернев И.М. ФОТОСПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИОДОВ СО СТРУКТУРАМИ Au/Mg₂Si/Si/Au-Sb и Al/Mg₂Si/Si/Au-Sb	322
Секция 11 - Промышленная безопасность	328
Куверин И.Ю., Зернов А.А., Воробьев А.А. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННЫХ МАСЕЛ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ.....	328
Терентьев И.С., Петухова Е.В. ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИЗВЛЕЧЕНИИ ОТХОДОВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФЛОТАЦИИ	334
Зверев М.С., Некрасова И.Ю., Новиченкова Т.Б. ЦЕМЕНТНЫЕ КОМПОЗИТЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ МИНЕРАЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ НА ОСНОВЕ ЗОЛЫ-УНОСА ОТ СЖИГАНИЯ БУРЫХ УГЛЕЙ	337
Мармаза П.А., Корнакова З.Э., Сероштан А.И., Бархударов К.В., Цыганков Д.К. СИНТЕЗ МАХ-ФАЗЫ НА ОСНОВЕ МАРГАНЦА ИЗ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ЛИТИЙ-ИОННОГО АККУМУЛЯТОРА.....	341
Козлов П.Г. ВАРИАНТ БЕЗОПАСНОЙ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ.	347
Секция 13 - Инженерная техника.....	351
Вахтеров А.В. ИНЖЕНЕРНЫЙ ПОДВОДНЫЙ РАЗВЕДЧИК ИЗ СОБРАНИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ ТЕХНИКИ ВИМАИВиВС – РАЗРАБОТКА, ОПЕРЕДИВШАЯ ВРЕМЯ.....	351
Кочуров В.В., Сизиков С.С., Козлов П.Г. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ МАСТЕРСКИХ ДЛЯ РАБОТЫ В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ	362
Слесаренко В.В., Гасымов Э.Т.ТЕХНОЛОГИЯ ПОДАЧИ ДЕПРЕССОРНЫХ ПРИСАДОК В ТРУБОПРОВОД ПРИ ПЕРЕКАЧКЕ ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ	370
Федюк Р.С., Павликов С. Н. УПРАВЛЕНИЕ ПАТЕНТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ	377
Примчук А.Г. Бушуев Д.В., Ильинский Ю.Ю. ОСОБЕННОСТИ ВЕДЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ ПРИ РЫХЛЕНИИ ГРУНТОВ И СКАЛЬНЫХ ПОРОД	383
Служаев В.В., Кузнецов В.А., Козлов П.Г. ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МИВ В РАЙОНАХ ПУСТЫННО-ПЕСЧАНОЙ МЕСТНОСТИ	389
Ильинский Ю.Ю., Красиков Д.Н. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ МЕТАЛЛА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ	399
Рылко А.Г., Нохрин Б.М., Федюк Р.С. ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ ИНЖЕНЕРНОГО ВООРУЖЕНИЯ	405
Секция 12 - Химическая технология	409
Цветников А.К. ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА.....	409
Цыбульская О.Н., Ксеник Т.В., Волков Д.А., Юдаков А.А., Перфильев А.В. РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССОВ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ХРОМСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ МЕТОДАМИ ДВУХСТАДИЙНОЙ И ОДНОСТАДИЙНОЙ РЕАГЕНТНОЙ ОБРАБОТКИ.....	414

Цыбульская О.Н., Ксеник Т.В., Юдаков А.А., Перфильев А.В. ПОЛУЧЕНИЕ ИЗ ПОРИСТЫХ ТЕХНОГЕННЫХ АЛЮМОСИЛИКАТОВ ОЛЕОФИЛЬНЫХ СОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ.....	420
Молчанов В.П., Юдаков А.А., Медков М.А. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОМПЛЕКСНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ТИТАНА И ЗОЛОТА ИЗ РОССЫПЕЙ УЛЬТРАБАЗИТОВ СИХОТЭ-АЛИНЯ (ДАЛЬНИЙ ВОСТОК, РОССИЯ)	427
Вялый И.Е., Егоркин В.С., Минаев А.Н., Цветников А.К., Синебрюхов С.Л., Гнеденков С.В. МОРФОЛОГИЯ, ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕР-ОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ, ФОРМИРУЕМЫХ НА АЛЮМИНИЕВО-МАГНИЕВЫХ СПЛАВАХ.....	436
Поляков А.В., Фомин Д.В., Шолыгин И.О., Рябов И.А. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ХИМИЧЕСКОГО И ЭПИТАКСИАЛЬНОГО РОСТА СИЛИЦИДОВ	439
Петров И.А., Афонский Н.И. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОННОГО РЫНКА СИГАРЕТ В РОССИИ	445
Усольцев А.В., Шуй Д.А., Козлов П.Г. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СРЕДСТВ ПРЕОДОЛЕНИЯ РАЗРУШЕНИЙ И ПРЕПЯТСТВИЙ ВООРУЖЁННЫХ СИЛ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ИНОСТРАННЫХ ГОСУДАРСТВ.....	450

Секция 1 - Строительные конструкции, здания и сооружения

Ким Л.В. ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МОРСКИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Ким Лев Владимирович

*Дальневосточный федеральный университет,
департамент морских арктических технологий
Владивосток, о. Русский, пос. Аякс, 10, к. С615, 690922*

Аннотация. Более 90% построенных морских сооружений в арктической и субарктической зонах являются железобетонными конструкциями, вследствие преимуществ перед металлическими. С позиций физической мезомеханики бетон представляет собой многоуровневую самоорганизующуюся композитную систему. Капиллярно-пористая структура бетона обусловлена многокомпонентностью состава разного уровня дисперсности, различными физическими, химическими и механическими процессами в макро-, мезо- и микромасштабах. Каждый масштаб влияет на поведение и характеристики компонент бетона. Мультифизический мультимасштабный подход является наиболее перспективным для анализа разнородной информации и синтеза знаний о структуре и составе ЖБК, протекающих процессах внутри и снаружи ЖБК, оценки долговечности бетона.

Ключевые слова: железобетон, долговечность, структура, комбинированная коррозия.

Строительство гидротехнических железобетонных конструкций в арктических условиях увеличило интерес к задаче оценки и повышения долговечности данных сооружений с учетом множества факторов агрессивного влияния окружающей среды (химическая коррозия), механических нагрузений (механическая деградация) и физических полей (физическая коррозия). Необходимо учитывать синергический эффект различных механизмов деградации железобетона в морской среде. Проблема долговечности может быть решена с новой парадигмой прогнозирования на основе мультимасштабного и мультифизического моделирования. Это позволит снизить затраты на техническое обслуживание и стоимость жизненного цикла сооружений.

Воздействия морской воды на железобетонные конструкции могут быть в виде постоянного контакта в подводной и подземной зоне, в виде заплесков и брызг, паров, попеременного смачивания-высыхания в приливно-отливной области, оказывая комбинированный эффект, учитывая также переменные внешние нагрузки и воздействия внешней среды (волны, лед, ветер, течения, солнечная радиация). Морозные воздействия, истирание и эрозия под воздействием волн и течений, кристаллизация солей и биологические воздействия (обрастания и морские организмы) - это другие факторы, которые ускоряют деградацию бетона. Однако основной причиной коррозии морских

сооружений является агрессивные агенты в поровом растворе.

Процесс проектирования железобетонных конструкций включает следующие этапы согласно ИСО 13823 и другим нормам:

- 1) количественная оценка деградационных процессов с использованием деградационных моделей;
- 2) идентификация предельных состояний;
- 3) расчет вероятности наступления предельного состояния;
- 4) определение конкретного предельного состояния.

Полумарковский процесс на основе методики Вейбулла является лучшим способом оценки износа конструкций, подверженных воздействию агрессивных сред. Вероятностные модели, откалиброванные по данным полевых обследований, могут обеспечить надежное прогнозирование вероятности коррозии.

Первые модели комбинированной деградации учитывали взаимодействие механизмов деградации на основе анализа физических механизмов, суперпозиции степени деградации с коэффициентами взаимодействия и связанными уравнениями степени деградации. Данный подход основан на сопоставлении отдельных уравнений срока службы с использованием феноменологических коэффициентов связи на основе данных о компонентах бетона и контроле скорости деградации различных видов в полевых условиях и/или в ускоренных лабораторных испытаниях.

Поскольку механизмы деградации обычно основаны на известных физических или химических процессах, таких как конвекция, диффузия, химические реакции, истирание, фазовые переходы и т.д., то простые деградационные модели могут быть получены путем теоретических рассуждений с использованием экспериментальных данных [1].

Дальнейшие исследования можно разделить по следующим признакам:

- 1) развитие детерминистских моделей;
- 2) развитие вероятностных моделей с включением все большего количества переменных;
- 3) развитие моделей, учитывающих отдельные этапы жизненного цикла конструкции (например, растрескивание);
- 4) изучение деградации в течение всего жизненного цикла;
- 5) применение сложного математического аппарата для описания внутренних процессов в теле бетона, а также поиск решений более общих уравнений Нерста-Планка-Навье-Стокса-Пуассона;
- 6) применение методов искусственного интеллекта, в первую очередь машинного обучения.

Метод машинного обучения позволяет выявить комбинированный деградационный процесс. Однако он требует больших массивов информации о деградации конструкций. Этому способствует развитие интеллектуальных систем мониторинга на основе беспроводных датчиков. Выявление скрытых зависимостей (скрытых знаний) позволяет обойтись без перевода данных лабораторных и компьютерных испытаний в натуру.

Решение задачи обеспечения долговечности морских конструкций должно

осуществляться на основе системного подхода с учетом максимально возможного числа значимых воздействующих факторов. Должны быть учтены деградационные факторы, факторы напряженно-деформированного состояния и пр. Условия морской среды, особенно в северных условиях, значительно осложняют исследования долговечности бетона и арматуры морских сооружений.

Различают следующие виды деградации железобетона:

- уменьшение прочностей и модуля упругости на сжатие и растяжение;
- увеличение перемещений и наклона ЖБК;
- нарушение сцепления арматуры с бетоном;
- коррозионный износ арматуры;
- образование и развитие коррозионных трещин;
- образование пустот в теле ЖБК;
- фрагментация и отколы бетона защитного слоя с обнажением арматуры.

Рисунок 1 показывает системные элементы для оценки комбинированной модели деградации железобетона, рисунок 2 – элементы триады долговечности железобетона.



Рисунок 1 - Триада долговечности железобетона и виды коррозионных факторов

Таблица 1 - Элементы триады долговечности

Внешняя среда	Внутренняя среда	Деградационные процессы
Волновые нагрузки Ледовые нагрузки Ветровые нагрузки Нагрузки от течений Нагрузки от судов Технологические нагрузки Гравитационные нагрузки	Макроструктура: бетон –арматура. Мезоструктура: цементная матрица – заполнители – каналы – арматура. Микроструктура: кристаллические сростки, капиллярно- поровая система, поровый раствор, заполнитель и др.	Механические: абразия, эрозия, гидростатическое и гидродинамическое давление, волновое давление, статическое и динамическое ледовое давление, и сдвиговое напряжение, деформационная коррозия. Химические: сульфатная и щелочная агрессия, кристаллизация и осаждение солей, обменные реакции. Физические: температурные (замораживание-оттаивание), влажностный (увлажнение-высушивание, брызги и заплески). Биологические: обрастание, биорганйзмы. Электрохимические: пассивация- депассивация, коррозия стали
Физический, моральный и функциональный износы		

На рисунке 2 показаны ключевые элементы обеспечения долговечности бетона в трактовке NRMCA – Национальной ассоциации по производству бетона (www.nrmca.org).

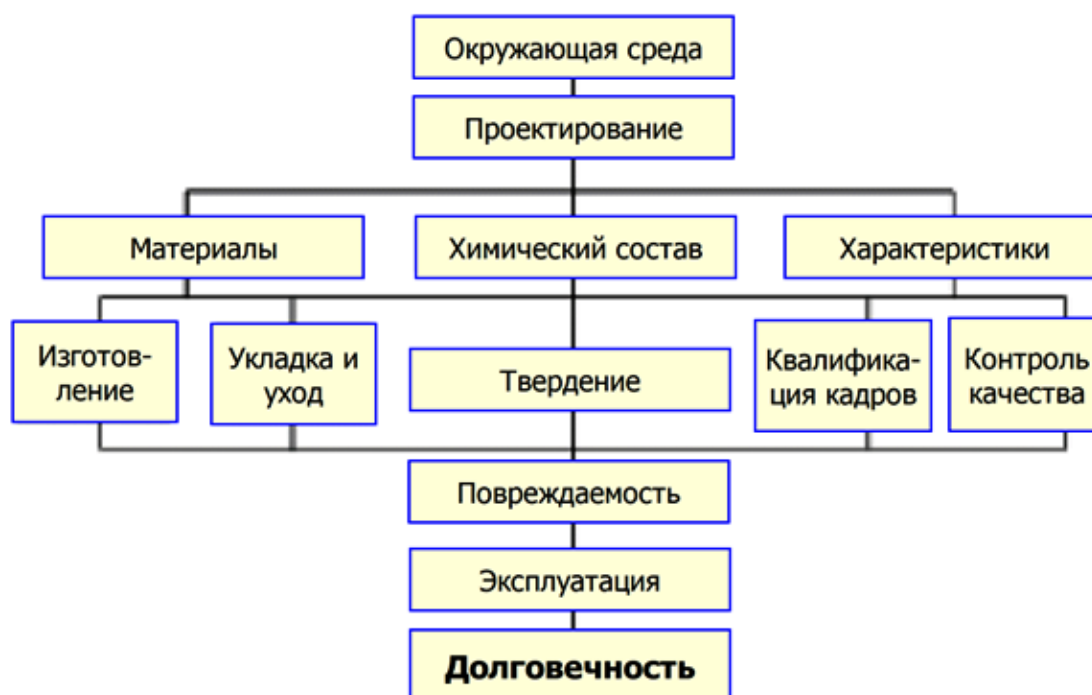


Рисунок 2 - Обеспечение долговечности бетона

Леонович С.Н. в работе [2] представил теоретико-экспериментальные положения по прогнозированию долговечности железобетонных конструкций. Долговечность бетонов исследуется в такой научной дисциплине как механика

долговечности. Это раздел инженерной механики, прикладное значение которой связано с оцениванием и прогнозированием зависящего от времени поведения конструкционного бетона и железобетонных конструкций.

Для анализа деградации бетона разрабатываются физико-химические модели массопереноса и разрушения, модели снижения работоспособности ЖБК с течением времени. Мультимасштабный подход включает кинетику деградации в микромасштабе, химиомеханические связи в мезомасштабе и диагностику и прогностику долговечности в макромасштабе. На различных стадиях жизненного цикла задачи обеспечения долговечности формулируются по-разному.

На проектной стадии надо заложить формы и габариты ЖБК, физико-механические и другие характеристики материалов, технологии и методы изготовления, транспортировки, монтажа, ухода и т.д. Эти мероприятия должны обеспечить с заданной вероятностью проектную долговечность ЖБК. Для учета неопределенностей вводят соответствующие нормативные коэффициенты. Коэффициент надежности учитывает класс МГТС и степень ответственности.

В строительной стадии соблюдение качества работ гарантирует правильную реализацию проектных решений. В эксплуатационной стадии выполнение правил эксплуатации, технический контроль и мониторинг, своевременные ремонтные работы гарантирует работоспособное состояние ЖБК.

Ошибки и нарушения на каждой из стадий ведут к уменьшению срока службы, а иногда к разрушению ЖБК. Статистика аварий свидетельствует, что причины аварий можно свести в несколько групп причинных факторов: человеческий фактор, экстремальные факторы окружающей среды, некачественное выполнение работ на одной или нескольких стадиях ЖЦ.

Очевидно, что на проектной стадии проще и дешевле предусмотреть максимально учет всех неблагоприятных факторов путем построения моделей долговечности. Для этого необходимо использовать деградационные модели и другие подходы. Необходимо смоделировать различные траектории деградации (оптимистические и пессимистические) на основе знаний механизмов деградации.

Мультифизический мультимасштабный подход является наиболее перспективным для анализа разнородной информации и синтеза знаний о структуре и составе ЖБК, протекающих процессах внутри и снаружи ЖБК, а также проведения моделирований с целью оценки долговечности.

Мультимасштабные методы основываются на применении расчетных сеток различного масштаба, т.е. разных уровней детализации. Для макромоделей используются конечные и дискретные элементы (МКЭ и др.), расчетные сетки для мезомоделей получают для решения уравнений для полей конвективно-диффузионных скоростей.

Теоретико-экспериментальные исследования должны использовать междисциплинарный подход на основе мультимасштабного мультифизического моделирования, испытаний, компьютерного материаловедения, методов искусственного интеллекта.

Список литературы

1. Maekawa K., Ishida T. Service-life evaluation of reinforced concrete under

coupled forces and environmental actions // Conference: Ion and Mass Transport. – 2000. – 12 p.

2. Леонович С.Н. Механика долговечности конструкционного бетона: новый подход к явлению деградации. Ч. 1 // Строительные материалы. – 2024. – № 1–2. – С. 74–78.

Адушкин К.Г., Сосновских С.С., Айзатуллин М.М., Сабитов Л.С., Токарева Л.А. ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕХГРАННЫХ СЕЧЕНИЙ РЕШЕТЧАТЫХ ОПОР ВЗАМЕН ЧЕТЫРЁХГРАННЫХ НА ПРИМЕРЕ ОПОРЫ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ МАРКИ У110-4+5

*Адушкин К.Г.¹, Сосновских С.С.¹, Айзатуллин М.М.², Сабитов Л.С.²,
Токарева Л.А.²*

¹*Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19,*

²*Казанский государственный энергетический университет, Россия, 420066, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51*

Аннотация. В данной статье на примере существующей типовой опоры ВЛ марки У110-4+5 предлагается рассмотреть гипотезу о том, что трехгранное сечение решетчатой опоры может предложить более низкую металлоемкость относительно базового варианта с четырехгранным сечением при сохранении требуемой надежности и несущей способности. По результатам выполненных работ сделаны соответствующие выводы о нецелесообразности применения предлагаемого решения (трехгранное сечение) для большинства опор ВЛ. В то же время сделан вывод, что предлагаемое техническое решение может найти применение для других инженерных сооружений: опоры связи и освещения, анкерные опоры эстакад с прокладкой одного трубопровода и опоры для подвески баннеров, тросов и сеток.

Ключевые слова: трехгранное сечение решетчатой опоры, опора ВЛ, типовой проект, крутящий момент, металлические конструкции.

Российская Федерация (далее РФ) находится на первом месте в мире по площади территории, и огромное количество населенных пунктов и промышленных предприятий, расположенных в разных уголках страны, требуют обеспечения электроэнергией для ведения своей деятельности. При строительстве новых линий ВЛ в современной России проектные организации в большинстве случаев используют наработки советского наследия – типовые серии и проекты. Наряду с этим лишь небольшая часть проектировщиков и ученых продолжает проводить исследования по поиску более эффективных форм с низкой металлоемкостью для рассматриваемых сооружений – опор ВЛ [1]. Цель исследования в данной статье – рассмотреть гипотезу о том, что трехгранное сечение решетчатой опоры ВЛ может найти свое применение в строительстве, предлагая более низкую металлоемкость относительно

классических четырехгранных сечений при сохранении требуемой надежности и несущей способности [2].

Для решения поставленной задачи автор использовал данные, полученные при обследовании существующих линий электропередач [3]. Объект исследования – стальная опора марки У110-4+5, выполненная по типовому проекту 3.407-68/73 (№3078тм-т10). Рассматриваемая опора является концевой и располагается у действующей подстанции в административных границах города Тюмень (см. рисунок 1).



Рисунок 1 - Рассматриваемая опора ВЛ марки У110-4+5

Эксперимент и соответствующий расчет несущей способности опоры выполнялся в программном комплексе ЛИРА-САПР [4].

Как было сказано выше, объект исследования опора марки У110-4+5, выполненная по типовому проекту 3.407-68/73 (№3078тм-т10). При проведении обследования были выполнены обмеры с определением состава опоры и геометрических параметров (см. рисунок 2).

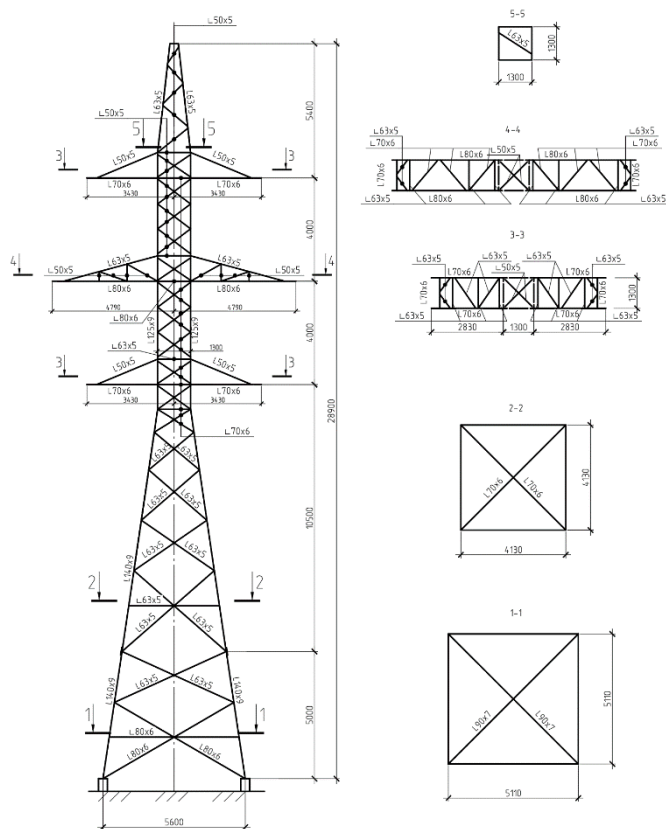


Рисунок 2 - Состав и геометрические параметры рассматриваемой опоры марки У110-4+5

При расчете было предусмотрено 8 загрузок, которые моделировали 5 сочетаний нагрузок (далее РСН) [5], отражающие различные условия эксплуатации опоры в соответствии с ПУЭ 7 изд.

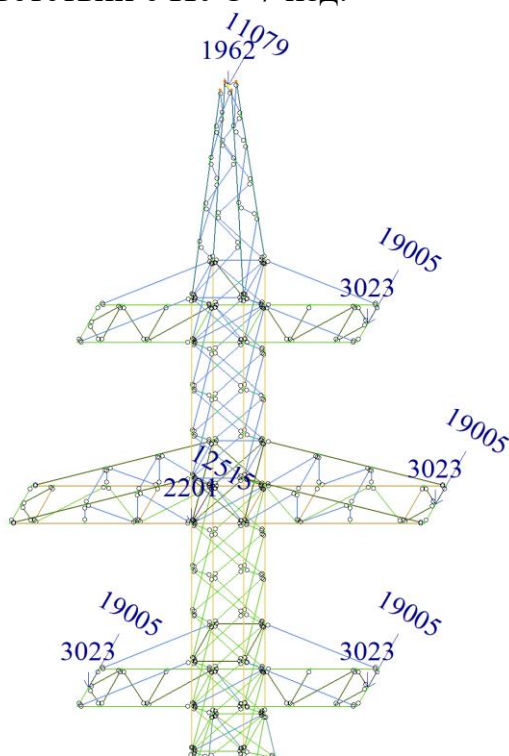


Рисунок 3 - Нагрузки (Н) от проводов, троса и ВОЛСа на опору в аварийном режиме с обрывом двух проводов

При проверке прочности и устойчивости элементов в программном комплексе ЛИРА-САПР были использованы соответствующие значения расчётных длин, гибкости, коэффициентов условия работы и прочие параметры в соответствии с СП 16.13330. В результате проверки элементов опоры были получены значения исчерпания несущей способности по 1-ой группе предельных состояний с максимальным значением – 93% (см. Рисунок 4).

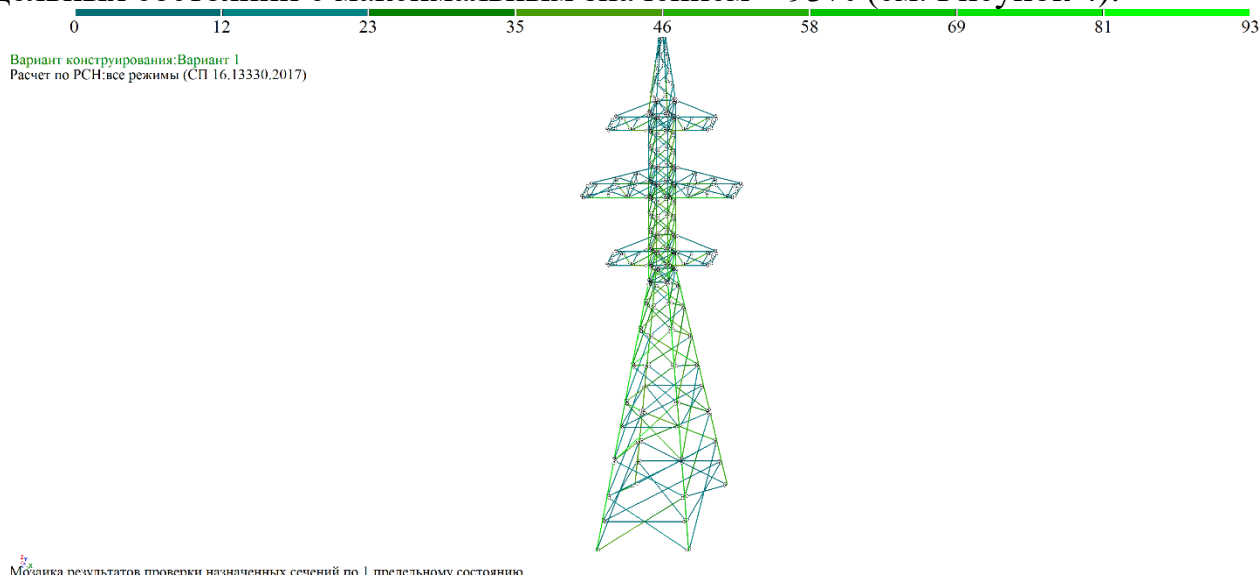


Рисунок 4. Результаты расчета элементов опоры

После выполнения расчетов базового варианта был выполнен эксперимент с заменой четырехгранного классического сечения опоры на трехгранное. Для чистоты эксперимента в ходе расчетов при моделировании расчётной схемы с трехгранным сечением опоры автор стремился подобрать сечения элементов опоры таким образом, чтобы значения исчерпания несущей способности совпадали с аналогичными значениями базовой схемы (четырёхгранное сечение), задана допустимая погрешность – до 5%.

В ходе эксперимента не подвергались изменению:

- 1) габаритные размеры опоры (высота, ширина и длина);
- 2) количество панелей решетки опоры;
- 4) прочностные характеристики (марка стали);
- 5) нагрузки от проводов, троса и ВОЛСа;
- 6) расчетные сочетания нагрузок;
- 7) конструкция и размеры траверс (не выполняется оценка в рамках данной работы).

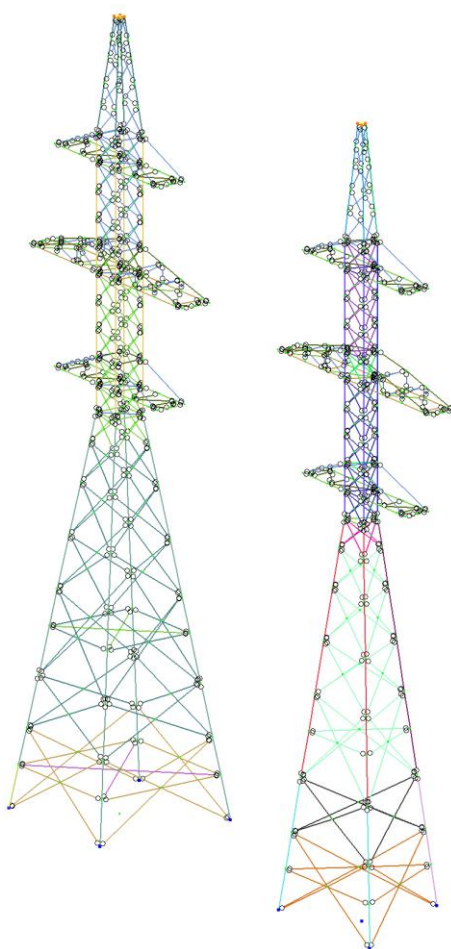


Рисунок 5. Базовая и предлагаемая расчётные схемы

В результате итерационного процесса моделирования предлагаемого варианта с трехгранным сечением были подобраны следующие сечения поясов и решетки (см. табл. 1).

Табл. 1. Результат подбора сечений поясов и решетки опоры (с аварийными режимами)

		пояс сжатый	пояс растянутый	Реш. 1	Реш. 2	Реш. 3
Четырёх- гранное сечение	1-ая секция	140x9	140x9	80x6	63x5	
	% исчерпания	76	55	35	48	
Трехгранное сечение	1-ая секция	140x10	200x14	90x9	75x6	
	% исчерпания	81	53	35	47	
Четырёх- гранное сечение	2-ая секция	140x9	140x9	63x5	70x6	
	% исчерпания	81	64	93	45	
Трехгранное сечение	2-ая секция	140x10	200x14	70x7	90x8	
	% исчерпания	85	63	91	46	
Четырёхгранное сечение	3-ая секция	125x9	125x9	70x6	63x5	50x5
	% исчерпания	73	63	65	35	45
	3-ая секция	140x10	200x13	90x7	90x8	75x5

Трехгранное сечение	% исчерпания	69	62	68	34	44
Четырёхгранное сечение	Тросостойка	63x5	63x5	50x5		
	% исчерпания	46	17	23		
Трехгранное сечение	Тросостойка	70x5	80x7	50x5		
	% исчерпания	42	20	23		

За счет изменения конструктивной схемы и уменьшения количества элементов опоры происходит перераспределение усилий. Ожидается увеличение усилий в сжатых поясах (до 20%) и в растянутом поясе (до 113%).

Соответственно, происходит увеличение сечений поясов. Также отмечается существенное увеличение сечения элементов решетки из-за учета в расчетах аварийных режимов с обрывом проводов, которые дают значительный крутящий момент относительно вертикальной оси опоры. Крутящий момент в первую очередь воспринимают элементы решетки опоры.

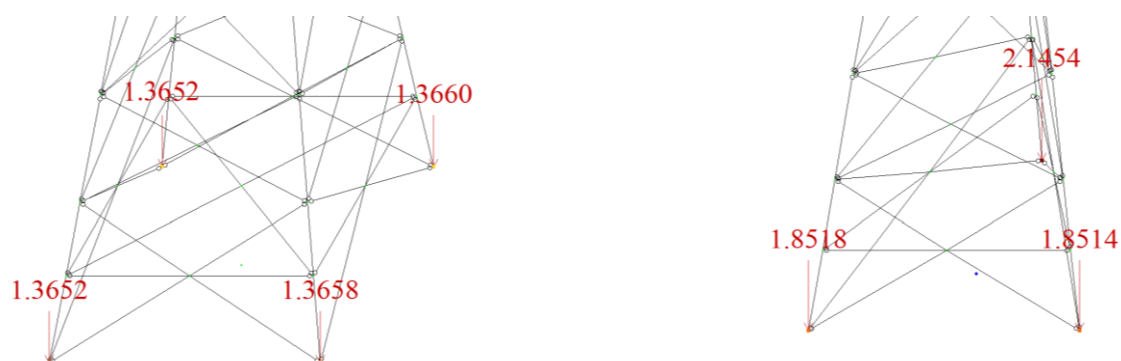


Рисунок 6. Опорные реакции (в тс) от собственного веса опоры в базовом варианте и в предлагаемом варианте

Вес опоры в базовом варианте (четырёхгранное сечение) – 5,4622 тс.

Вес опоры в предлагаемом варианте (трехгранное сечение) – 5,8486 тс.

Итог эксперимента: увеличение веса опоры на 0,3864 тс или на 7%. В результате выполненных расчетов экономия в металлоемкости не подтверждена ввиду существенного увеличения сечений решетки опоры из-за действия значительных крутящих моментов относительно вертикальной оси опоры.

Далее был проведен дополнительный эксперимент с аналогичными исходными данными и условиями за исключением того, что из расчетов были удалены загрузки и сочетания нагрузок, отвечающие за аварийные режимы с обрывом проводов для исключения появления значительных крутящих моментов.

В результате расчетов были подобраны следующие сечения поясов и решетки (см. табл. 2).

Табл. 2. Результат подбора сечений поясов и решетки опоры (без аварийных режимов)

		пояс сжатый	пояс растянутый	Реш.1	Реш.2	Реш.3
Четырёхгранное сечение	1-ая секция	140x9	140x9	80x6	63x5	
	% исчерпания	76	55	22	27	
Трёхгранное сечение	1-ая секция	140x10	200x14	80x8	63x5	
	% исчерпания	81	53	26	29	
Четырёхгранное сечение	2-ая секция	140x9	140x9	63x5	70x6	
	% исчерпания	81	64	50	24	
Трёхгранное сечение	2-ая секция	140x10	200x14	63x5	70x7	
	% исчерпания	86	63	50	27	
Четырёхгранное сечение	3-ая секция	125x9	125x9	70x6	63x5	50x5
	% исчерпания	73	63	49	30	30
Трёхгранное сечение	3-ая секция	140x10	200x14	70x7	63x5	50x6
	% исчерпания	69	58	48	30	29
Четырёхгранное сечение	Тросостойка	63x5	63x5	50x5		
	% исчерпания	46	17	23		
Трёхгранное сечение	Тросостойка	70x5	80x7	50x5		
	% исчерпания	42	20	23		

Аналогично первому эксперименту, фиксируется увеличение сечений поясов, также отмечается незначительное увеличение сечения отдельных элементов решетки.

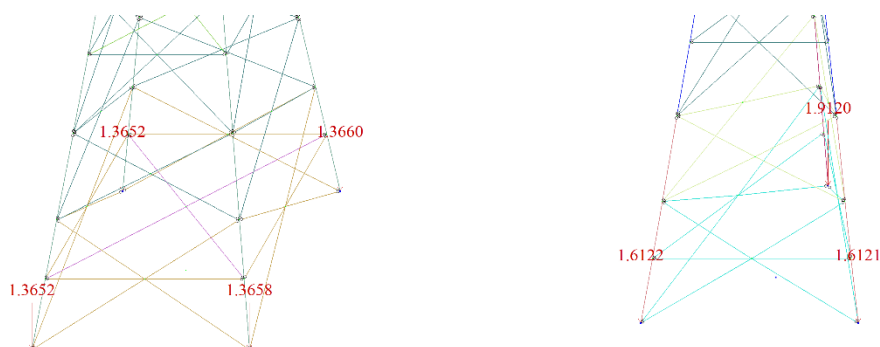


Рис. 7. Опорные реакции (в тс) от собственного веса опоры в базовом варианте и в предлагаемом варианте

Вес опоры в базовом варианте (четырёхгранное сечение) – 5,4622 тс.

Вес опоры в предлагаемом варианте (трехгранное сечение) – 5,1363 тс.

Итог второго эксперимента: уменьшение веса опоры на 0,3259 тс или на 6,3%. В результате выполненных расчетов экономия в металлоемкости подтверждена.

Полученные результаты приводят к выводу, что трехгранные решетчатые сечения не подходят для большинства опор ВЛ ввиду их особенности нагружения в процессе эксплуатации из-за присутствия существенных крутящих моментов. Предлагаемые трехгранные решетчатые сечения могут найти применение в сооружениях, у которых основными расчетными усилиями являются сжатие, изгиб и поперечная сила относительно оси опоры, например, опоры связи и освещения, анкерные опоры эстакад с прокладкой одного трубопровода [7], опоры с подвеской различных материалов (баннеров, тросов, сеток и т.п.).

Предлагаемые технические решения с трехгранным сечением опоры могут найти применение в одностоечных решетчатых одноцепных типовых опорах ВЛ напряжением 220-750 к. дальнейшие аналогичные исследования могут быть выполнены по отношению к решетчатым порталам с траверсами [8, 9, 10, 11].

Список литературы

1. Анализ напряженно-деформированного состояния оптимальной анкерноугловой опоры воздушной линии 110 кв / А. В. Танасогло, С. Н. Бакаев, А. В. Мушанов, К. С. Бакаева // Металлические конструкции. – 2018. – Т. 24, № 1. – С. 17-28. – EDN XPVCCD.

2. Напряженно-деформированное состояние металлических конструкций сооружений электросетевого хозяйства при действии различных видов нагрузок / Э.Ю. Абдуллазянов, Л. С. Сабитов, М. М. Айзатуллин [и др.] // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 10(118). – ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2024/9556

3. Характерные дефекты и несовершенства строительных конструкций опор эстакад промышленных предприятий / Л.С. Сабитов, К. Г. Адушкин, Л. А. Токарева [и др.] // Строительное производство. – 2024. – № 3. – С. 16-26. – DOI 10.54950/26585340_2024_3_16.

4. Напряженно-деформированное состояние сооружений электросетевого хозяйства, расположенных в условиях Крайнего Севера / Э. Ю. Абдуллазянов, Л.

С. Сабитов, М. М. Айзатуллин [и др.] // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 11(119). – ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2024/9622

5. Численное моделирование конструкций сооружений башенного типа в программных комплексах ANSYS и ЛИРА-САПР / А. Д. Зиганшин, Л. Ш. Ахтямова, Л. С. Сабитов [и др.] // Научно-технический вестник Поволжья. – 2021. – № 2. – С. 65-67. – EDN ENQPEK.

6. Действительная работа стальных конструкций воздушных линий электропередачи напряжением 35 кВ и выше / Н. А. Сенькин, Т. Е. Белякова, Д. А. Мальчиков, В. С. Васильев // Металлические конструкции. – 2022. – Т. 28, № 1. – С. 5-18. – EDN FEJAMT.

7. Критический анализ конструкций технологических и кабельных эстакад, а также отдельно стоящих опор под трубопроводы промышленных предприятий / К. Г. Адушкин, Л. А. Токарева, М. М. Айзатуллин, Л. С. Сабитов // Вестник ГГНТУ. Технические науки. – 2024. – Т. 20, № 2(36). – С. 94-105. – EDN TWRKWC.

8. Патент на полезную модель № 227349 U1 Российская Федерация, МПК E04H 12/10. Портальная опора переменного сечения линии электропередачи : № 2024102688 : заявл. 02.02.2024 : опубл. 17.07.2024 / Л. С. Сабитов, Э. Ю. Абдуллазянов, М. М. Айзатуллин [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский государственный энергетический университет". – EDN NAWRGW.

9. Патент на полезную модель № 227347 U1 Российская Федерация, МПК E04H 12/10. Портальная опора: № 2024102679 : заявл. 02.02.2024 : опубл. 17.07.2024 / Л. С. Сабитов, Э. Ю. Абдуллазянов, М. М. Айзатуллин [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский государственный энергетический университет". – EDN LNDKPG.

10. Патент на полезную модель № 227344 U1 Российская Федерация, МПК E04H 12/10. Портальная опора линии электропередачи : № 2024102682 : заявл. 02.02.2024 : опубл. 17.07.2024 / Л. С. Сабитов, Э. Ю. Абдуллазянов, М. М. Айзатуллин [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский государственный энергетический университет". – EDN DVCLHP.

11. Патент на полезную модель № 227322 U1 Российская Федерация, МПК E04H 12/10. Портальная опора переменного сечения : № 2024102687 : заявл. 02.02.2024 : опубл. 16.07.2024 / Л. С. Сабитов, Э. Ю. Абдуллазянов, М. М. Айзатуллин [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский государственный энергетический университет". – EDN PWWIOW.

References

1. Analysis of the stress-strain state of the optimal anchor-angle support of the 110 kV overhead line / A. V. Tanasoglo, S. N. Bakayev, A. V. Mushchanov, K. S. Bakaeva // Metal structures. - 2018. - Vol. 24, No. 1. - Pp. 17-28. - EDN XPVCCD.

2. Stress-strain state of metal structures of power grid facilities under the action of various types of loads / E. Yu. Abdullazyanov, L. S. Sabitov, M. M. Aizatullin [et al.] // Engineering Bulletin of the Don. - 2024. - No. 10 (118). - ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2024/9556

3. Characteristic defects and imperfections of building structures of supports of overpasses of industrial enterprises / L.S. Sabitov, K. G. Adushkin, L. A. Tokareva [et al.] // Construction production. - 2024. - No. 3. - P. 16-26. - DOI 10.54950/26585340_2024_3_16.

4. Stress-strain state of structures of electric grid facilities located in the conditions of the Far North / E. Yu. Abdullazyanov, L. S. Sabitov, M. M. Aizatullin [et al.] // Engineering Bulletin of the Don. - 2024. - No. 11(119). - ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2024/9622

5. Numerical modeling of tower-type structures in ANSYS and LIRA-SAPR software packages / A. D. Ziganshin, L. Sh. Akhtyamova, L. S. Sabitov [et al.] // Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region. - 2021. - No. 2. - P. 65-67. - EDN EHQPEK.

6. Actual operation of steel structures of overhead power transmission lines with a voltage of 35 kV and higher / N. A. Senkin, T. E. Belyakova, D. A. Mal'chikov, V. S. Vasiliev // Metal structures. - 2022. - Vol. 28, No. 1. - P. 5-18. - EDN FEJAMT.

7. Critical analysis of the designs of technological and cable racks, as well as free-standing supports for industrial pipelines / K. G. Adushkin, L. A. Tokareva, M. M. Aizatullin, L. S. Sabitov // Bulletin of GGNTU. Technical sciences. - 2024. - Vol. 20, No. 2 (36). - Pp. 94-105. - EDN TWRKWC. 8. Patent for utility model No. 227349 U1 Russian Federation, IPC E04H 12/10. Portal support of variable cross-section of a power transmission line: No. 2024102688: declared. 02.02.2024: publ. 17.07.2024 / L. S. Sabitov, E. Yu. Abdullazyanov, M. M. Aizatullin [et al.]; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kazan State Power Engineering University". - EDN NAWRGW.

9. Patent for Utility Model No. 227347 U1 Russian Federation, IPC E04H 12/10. Portal support: No. 2024102679: declared 02.02.2024: published 17.07.2024 / L. S. Sabitov, E. Yu. Abdullazyanov, M. M. Aizatullin [et al.]; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kazan State Power Engineering University". - EDN LNDKPG.

10. Patent for Utility Model No. 227344 U1 Russian Federation, IPC E04H 12/10. Portal Support for Power Transmission Lines: No. 2024102682: declared 02.02.2024: published 17.07.2024 / L. S. Sabitov, E. Yu. Abdullazyanov, M. M. Aizatullin [et al.]; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kazan State Power Engineering University". - EDN DVCLHP.

11. Patent for Utility Model No. 227322 U1 Russian Federation, IPC E04H 12/10. Portal Support of Variable Cross-Section: No. 2024102687: declared 02.02.2024 : published 16.07.2024 / L. S. Sabitov, E. Yu. Abdullazyanov, M. M. Aizatullin [et al.]; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kazan State Power Engineering University". - EDN PWWIOW.

Айзатуллин М.М., Зарипов М.М., Сабитов Л.С., Токарева Л.А., Хусаинов Р.Д. ОЦЕНКА И КОНТРОЛЬ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОТТЯЖЕК КОНСТРУКЦИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

*Айзатуллин М.М., Зарипов М.М., Сабитов Л.С.,
Токарева Л.А., Хусаинов Р.Д.*

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

Аннотация. Оттяжки – конструктивный несущий элемент, который широко используется в конструкциях мачтовых сооружений. Задача элемента – это обеспечение общей устойчивости основного элемента – мачты, за счет восприятия горизонтальных нагрузок, снижения ее расчетной длины, обеспечение требуемой деформативности мачтовых сооружений. Оценка величин коэффициентов запаса канатных оттяжек мачтовых сооружений энергетических объектов с использованием индекса надежности выявила существенный и возможно излишний запас прочности для оттяжек, при расчете их в соответствии с современными строительными правилами. В данной статье рассмотрена форма методики оценки несущей способности канатных оттяжек для канатных оттяжек мачтовых сооружений.

Ключевые слова: оттяжки, мачтовые сооружения, конструкция, методика, оценка эффективности, несущая способность.

Оттяжки – конструктивный несущий элемент, который широко используемый в мачтовых сооружениях. Задача этого элемента обеспечение общей устойчивости основного элемента- мачты за счет восприятия горизонтальных нагрузок, снижения ее расчетной длины, обеспечение требуемой деформативности мачтовых сооружений. Мачтовые сооружения с оттяжками имеют широкое применение и используются в опорах линий электропередачи, начиная с 10 кВт до 500 кВт мощности, в антенных сооружениях и опорах сотовой связи [11, 14]. На рис. 1-3 показаны конструкции опор ЛЭП с оттяжками мощностью от 10 кВт до 330 кВт.

Конструкции оттяжек, как правило, выполняют составными из нескольких конструктивных элементов, выполняемых из различных материалов и имеющих различные узловые решения и конструктивное исполнение.

На рис. 4-5 приведены варианты конструктивного исполнения оттяжек.

Основным элементом оттяжек являются участки с канатными вставками.



Рисунок 1 - Оттяжки на стойках ЛЭП мощностью до 10 кВт



Рисунок 2 - Оттяжки на стойках ЛЭП мощностью свыше 35 кВт



Рисунок 3 - Конструкции мачтовых сооружений ЛЭП более 100 кВт

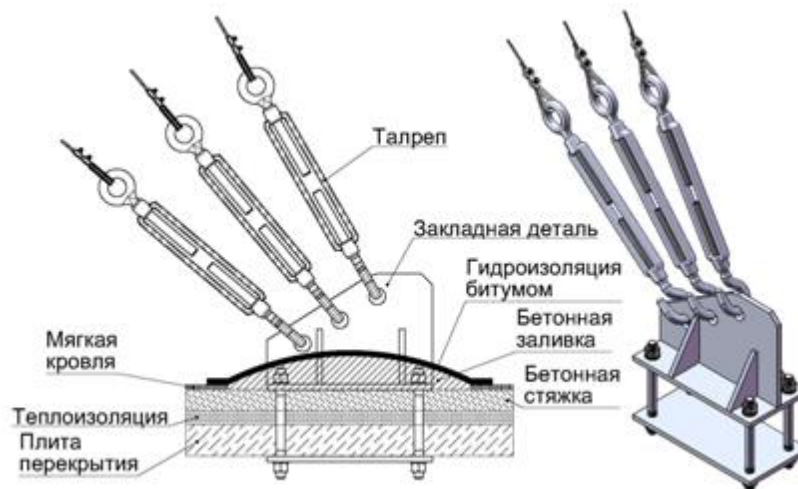


Рисунок 4 - Элементы оттяжек в зоне опорных узлов

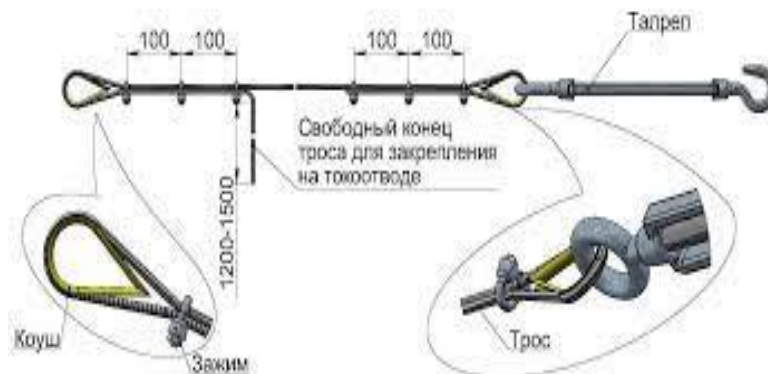


Рисунок 5 - Вариант конструктивного исполнения оттяжки

Методика расчета мачтовых сооружений с определением усилий в оттяжке, приведенная в работе [3] представляется как многоэтапная задача. Расчет мачты и ее оттяжек проводят в несколько этапов. В начале нужно задаться предварительным напряжением оттяжек B_0 и их сечениями A , после чего, выполнив все необходимые вычисления, а также решив систему уравнений, определить изгибающие моменты. Распределение моментов, скорее всего, окажется неудачным, поэтому все операции нужно выполнять несколько раз, добиваясь оптимизации.

Процесс расчета эпюр моментов для ствола мачты является менее трудоемким и более удобным способом с точки зрения технической реализации. Сначала задаются эпюры моментов, которые описывают распределение моментов по длине ствола мачты, затем последовательно определяются прогибы и опорные реакции в узлах крепления оттяжек. Такой подход позволяет эффективно учитывать механическое поведение ствола мачты под воздействием нагрузок и обеспечивает более точные результаты расчетов. Эпюра поперечных сил строится в соответствии с эпюрой моментов. Продольные усилия в конструкциях определяются с учетом массы всех вышерасположенных элементов, так как эти элементы создают вертикальные составляющие тяжения. Для каждого участка конструкции необходимо учесть, как нагрузку от самой конструкции, так и вертикальные составляющие сил от массы всех элементов, находящихся выше данного сечения. Такой подход позволяет рассчитать продольные усилия в каждом участке конструкции с необходимой точностью.

Проверка принятого сечения каната оттяжек проводится в форме сравнения максимального расчетного усилия в оттяжке с несущей способностью каната.

$$N_{\max} = \sigma_{\max} \cdot A \leq N_p \gamma_c \gamma_{bt} / \gamma_m \quad (1)$$

где A – площадь сечения оттяжки,

N_p – разрывное усилие каната в целом,

γ_m – коэффициент надежности по материалу, принимаемый равный для канатов,

$\gamma_c = 0.8$ при числе оттяжек в одном ярусе менее 5,

γ_{bt} – коэффициент крепления каната во втулке, равный 0.95.

Для задач, решаемых на стадии эксплуатации мачтовых сооружений для оценки их несущей способности и принятия решения по их ремонту или замене требуются более простые инженерные методики.

Одной из самых эффективных методик оценки несущей способности с браковочными критериями на стадии эксплуатации применительно к канатным элементам является методика, применяемая для канатов грузоподъемных машин [4], в которой вместо метода расчета по предельным состояниям используется метод расчета по допускаемым напряжениям в виде применения коэффициента запаса. В ней при проектировании, а также перед установкой на кран канаты должны быть проверены расчетом по формуле:

$$F_o \geq Z_p \cdot S, \quad (2)$$

где F_0 – разрывное усилие каната в целом (Н), принимаемое по сертификату (свидетельству об их испытании);

Z_p – минимальный коэффициент использования каната (коэффициент запаса прочности),

S – наибольшее натяжение ветви каната (Н), указанное в паспорте крана.

Значения коэффициентов запаса для канатов в конструкциях кранов принимаются согласно [4].

Канатные механизмы М1-М3 используются в различных стреловых грузоподъемных машинах, таких как автокраны, стреловые краны на специальном шасси и краны-манипуляторы. Установление зависимости между коэффициентами запаса и коэффициентами метода расчета по предельным состояниям рассмотрено в работе [5]. Из работы [5] при обозначении расчетных значений нагрузок и прочности значениями F и R соответственно, надежность конструкций, характеризуются не только контролируемыми нормативными величинами, но и величинами коэффициентов надежности.

Для оценки величин коэффициентов запаса в оттяжках необходимо определить значения числовых характеристик, описывающих значения несущей способности и усилия в оттяжках мачтовых сооружений, то есть необходимо установить значения $\mu_R, \nu_R, \mu_F, \nu_F$.

Нормативное значение несущей способности оттяжки определяется по формуле:

$$Rn = m_R(1 - \mu_R \nu_R) \quad (3)$$

Нормативное значение усилия от ветровой нагрузки в оттяжке равно:

$$Tn = m_f(1 + \mu_f \nu_f) \quad (4)$$

Для параметров несущей способности, описывающихся нормальным законом распределения с известной обеспеченностью значений $\mu_R = 1.65, \nu_R = 0.1$

Более сложной представляется задача определения коэффициентов вариации и соответствующих значений квантилей для значений нормативной нагрузки.

Для мачтовых сооружений нагрузка в оттяжках возникает, как правило, от действия ветровой нагрузки, которая описывается несимметричными законами распределения. В работе [6,7] при описании ветровой нагрузки рекомендуется использовать распределение Гумбеля для ежегодных максимумов ветрового давления.

Используем распределение Гумбеля и запишем уравнения для периодов не превышения значений для нормативного ветрового давления с $N=5$ лет и для расчетного ветрового давления с $N=50$ лет.

Ветровое нормативное давление будет равно:

$$w_N^- = w_1^- + 0,78 Sw \ln 5 \quad (5)$$

Ветровое расчетное давление будет равно

$$w_p^- = w_1^- + 0,78 Sw \ln 50 \quad (6)$$

При этом $w_p^- = 1.4w_N^-$

Решая систему из двух уравнений, можно определить значения неизвестных математического ожидания ветрового давления w_1^- и среднеквадратического отклонения ветрового давления Sw

$$Sw = 0.4 w_N^- / 1.784, w_1^- = 0.717 w_N^- \quad (7)$$

Тогда $v_F = \frac{Sw}{w_1^-} = 0.31$

μ_F определим из уравнения в виде $w_N^- = w_1^- (1 + \mu_F v_F)$

Тогда квантиль для нормативного ветрового давления будет равен:

$$\mu_F = 1.27 \quad (8)$$

Нормативный коэффициент запаса для оттяжек сечением из каната определяется по формуле:

$$Kn = F_0 \cdot n \cdot \sin \alpha / T_n = \gamma_n \gamma_f \gamma_m \gamma_d = 2.8 = 1 \cdot 1.4 \cdot 1.6 / 0.8 \quad (9)$$

где T_n – горизонтальное суммарное усилие от нормативных значений нагрузок, приходящееся на узел крепления оттяжек,

n – количество оттяжек в узле, воспринимающее T_n ,

α – угол наклона оттяжек к горизонту, например $\alpha = 57^\circ$ для затяжек мачт и опор ЛЭП по сериям 3.407,

F_0 – разрывное усилие каната в целом.

При сравнении коэффициент запаса канатов оттяжек, определенный по строительным нормам, соответствует режиму работы кранов А2-А3 (легкого режима работы). К этой группе кранов можно отнести большинство автомобильных и самоходных кранов.

Для анализа полученного значения коэффициента запаса используем такой показатель надежности как индекс безопасности β .

Если изменчивость нагрузки и прочности известна, то иногда оценить надежность можно по изменчивости функции, которую называют резервом прочности:

$$S^{\sim} = R^{\sim} - F^{\sim} \quad (10)$$

где R^{\sim} и F^{\sim} – случайные величины несущей способности и нагрузки (нагрузочного эффекта), имеющие одинаковые размерности.

Основными вероятностными характеристиками этой функции являются математическое ожидание $m_S = m_R - m_F$ и дисперсия $s_S^2 = S_R^2 + S_F^2$ (при отсутствии корреляционной связи между нагрузкой и несущей способностью).

Вероятность отказа (риск) или вероятность отрицательного значения резерва прочности S^{\sim} при известном значении β определяется из формулы:

$$P_F = P(S^{\sim} < 0) = 1 - \Phi(\beta) \quad (11)$$

где $\Phi(\beta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi_0}} \int^{\beta} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du$ – интеграл вероятности или функция Лапласа переменной $u = (S^{\sim} - m_S) / s_S$, соответствующей стандартной функции $\varphi(u)$.

С учетом свойства функции $\varphi^*(u)$ можно также записать

$$P_F = P(S^{\sim} < 0) = 0.5 - \Phi^*(\beta) \quad (12)$$

Вероятность безотказной работы или надежности конструкции $P_R = 1 - P_F$

Индекс безопасности β является стандартизированной вероятностью случайной величины S . Метод оценки надежности посредством коэффициента β получил название метода двух моментов, поскольку для его определения используются по две характеристики случайных величин R и F . Данный индекс безопасности используется в европейских нормах EN1990.

Определим значения индекса безопасности, устанавливаемым для строительных сооружений нашими нормативными документами. При n годах планируемой эксплуатации индекс надежности определяем по формуле:

$$\Phi(\beta n) = (\Phi(\beta_1))^n \quad (13)$$

При $n=50$ лет $\beta_1 = 5.2$ из уравнения $[\Phi(\beta_1)]^{50} = 0.999995$

Значения индекса надежности β будем определять по формуле:

$$\beta = \frac{m_s}{s_s} = \frac{m_R - m_F}{\sqrt{s_R^2 + s_F^2}} = \frac{m_k - 1}{\sqrt{m_k^2 v_R^2 + v_F^2}} \quad (14)$$

где $m_k = m_R / m_F$ – отношение средних значений усилий разрыва каната и усилия в оттяжке от ветровой нагрузки.

С учетом определенных параметров μ_R, v_R, μ_F, v_F

$$k_n = m_k \frac{1 - \mu_R v_R}{1 + \mu_F v_F} = m_k \cdot 0.6 \quad (15)$$

Тогда при $K_n = 2.8$ $m_k = \frac{2.8}{0.6} = 4.67$, что соответствует индексу надежности $\beta = 6.55$. При эксплуатации объекта с оттяжками до 50 лет нормативный индекс надежности, определенный по данным ГОСТ 31937-2011 равен $\beta = 5.2$. При планируемой эксплуатации объекта до 50 лет полученное значение индекса надежности для оттяжек мачтовых сооружений выше нормативного, что свидетельствует об неоптимальных завышенных значениях коэффициентов надежности, используемых при расчете оттяжек мачтовых сооружений.

В таблице 1 приведены значения коэффициента запаса для канатов оттяжки для усилий в затяжке от нормативной нагрузки, определенные при помощи индекса надежности β при различных сроках планируемой эксплуатации сооружений с оттяжками из канатов.

Табл.1 Значения коэффициента запаса для канатов оттяжки для усилий в затяжке от нормативной нагрузки

Срок эксплуатации	1 год	6 лет	10 лет	30 лет	50 лет
Значение β	4.5	4.8	4.97	5.1	5.2
Значение m_k	2.925	3.1	3.23	3.3	3.39
Значение K_n коэффициента запаса для каната оттяжки для усилия в канате от нормативной нагрузки	1.76	1.86	1.94	1.98	2.0

Использование коэффициента запаса для оценки состояния канатных оттяжек мачтовых сооружений существенно упрощает оценку их надежности, браковки в процессе эксплуатации [12, 13]. Для оценки состояния несущей

способности канатных оттяжек не требуется выполнение поэтапных расчетов по деформированной схеме. Достаточно определить горизонтальное нормативное суммарное усилие T_n , приходящееся в узел крепления оттяжек мачты и по следующей формуле определить достаточность разрывного усилия каната в оттяжке F_0 :

$$F_0 \geq T_n \cdot K_n / (n \cdot \sin \alpha) \quad (16)$$

где α - угол наклона оттяжек к горизонту, n – количество оттяжек в узле, воспринимающее T_n ,

$$T_n = w_N^- \cdot C_x \cdot A_k \cdot K_z,$$

где w_N^- - нормативное ветровое давление по СП 20.13330.2016,

A_k – площадь контура мачтового сооружения, приходящаяся на узел крепления оттяжек,

C_x , K_z – аэродинамический коэффициент и коэффициент увеличения ветрового давления по высоте по СП 20.13330.2016 в зоне узла крепления оттяжек.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Оценка величин коэффициентов запаса канатных оттяжек мачтовых сооружений энергетических объектов с использованием индекса надежности выявила существенный и возможно излишний запас прочности для оттяжек, при расчете их в соответствии с современными строительными правилами. Так коэффициент запаса оттяжек мачтовых сооружений по своей величине соответствует коэффициентам запаса для канатов, используемых в стреловых кранах режима А1-А2, которые имеют более жесткие условия эксплуатации.

2. Форма методики оценки несущей способности канатных оттяжек для канатных оттяжек мачтовых сооружений в форме, используемая для диагностики состояния канатов грузоподъемных машин удобна для инженерно-технических работников, занимающихся диагностированием и эксплуатацией мачтовых сооружений, и отличается простотой и наглядностью.

3. Определены значения коэффициентов запаса канатных оттяжек мачтовых сооружений для величин усилий от нормативных нагрузок с использованием известного в теории надежности индекса безопасности в зависимости от планируемого срока эксплуатации сооружений.

Список литературы

1. Токарева Л.А. Анализ конструктивных решений башенных сооружений в энергетике// В сборнике: XXV Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный Дню энергетика. Материалы конференции. В 3-х томах. Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Казань, 2022. С. 240-242.

2. Sabitov L.S., Kashapov N.F., Strelkov Yu.M., Kuznetsov I.L. Method of the steel aluminum wires protection of air transmission lines from fast vibration damage at the output from the support clamp // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. P. 012059.

3. Металлические конструкции. Справочник проектировщика. Под общ.ред. В.В.Кузнецова. Том 3. Стальные конструкции и сооружения. – М., Издательство АСВ, 1999.

4. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения». Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 12 ноября 2013 г. N 533.

5. Краснощеков Ю.В., М.Ю. Заполева. Основы проектирования конструкций зданий и сооружений / Учебное пособие.- Инфра-Инженерия, 2019.-314 с.

6. Райзер, В.Д. Теория надёжности сооружений / В.Д. Райзер. - М.: АСВ, 2010.-384 с.

7. Ржаницын, А.Р. Теория расчёта строительных конструкций на надёжность / А.Р. Ржаницын. - М. :Стройиздат, 1978. - 239 с.

8. Сабитов Л.С., Ильин В.К., Ибрагимова А.В., Стрелков Ю.М. Способ защиты сталеалюминевых проводов воздушных линий электропередачи от усталостных колебательных повреждений на выходе из поддерживающего зажима / Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21. № 5 (124). С. 122-130.

9. Хамидуллин И.Н., Ильин В.К., Сабитов Л.С., Стрелков Ю.М.К вопросу о надёжности воздушных линий электропередачи / Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2017. Т. 13. № 1. С. 5-10.

10. СП 16.13330.2017 "Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81* (с Поправкой, с Изменением N 1). Введ. 27 февраля 2017.

11. ГОСТ 27751-2014. Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения. - Введ. 2015.07.01. - М.: Стандартиформ, 2016. - 20 с.

References

1. Tokareva L.A. Analysis of design solutions for tower structures in power engineering// In the collection: XXV All-Russian postgraduate and master's scientific seminar dedicated to the Power Engineer's Day. Conference materials. In 3 volumes. Under the general editorship of E.Yu. Abdullazyanov. Kazan, 2022. P. 240-242.

2. Sabitov L.S., Kashapov N.F., Strelkov Yu.M., Kuznetsov I.L. Method of the steel aluminum wires protection of air transmission lines from fast vibration damage at the output from the support clamp / // In the collection: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. P. 012059.

3. Metal structures. Designer's handbook. Under the general editorship of V.V. Kuznetsov. Volume 3. Steel structures and structures. – М., ASV Publishing House, 1999.

4. Federal norms and rules in the field of industrial safety "Safety rules for hazardous industrial facilities that use lifting structures." Approved by the order of the

Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision dated November 12, 2013 N 533.

5. Krasnoshchekov Yu.V., M.Yu. Zapoleva. Fundamentals of designing structures of buildings and structures / Textbook.- Infra-Engineering, 2019.-314 p.

6. Raiser, V.D. Theory of reliability of structures / V.D. Raiser. - М.: ASV, 2010.- 384 p.

7. Rzhanitsyn, A.R. Theory of calculating the reliability of building structures / A.R. Rzhanitsyn. - М.: Stroyizdat, 1978. - 239 p.

8. Sabitov L.S., Ilyin V.K., Ibragimova A.V., Strelkov Yu.M. Method of protecting steel-aluminum wires of overhead power transmission lines from fatigue vibration damage at the exit from the supporting clamp / Bulletin of the Irkutsk State Technical University. 2017. Vol. 21. No. 5 (124). P. 122-130.

9. Khamidullin I.N., Ilyin V.K., Sabitov L.S., Strelkov Yu.M. On the issue of reliability of overhead power transmission lines / Electrical and information complexes and systems. 2017. Vol. 13. No. 1. P. 5-10.

10. SP 16.13330.2017 "Steel structures. Updated version of SNiP II-23-81* (with Amendment, with Change No. 1). Introduced on February 27, 2017.

11. GOST 27751-2014. Reliability of building structures and foundations. Basic provisions. - Introduced on 2015.07.01. - М.: Standartinform, 2016. - 20 p.

Синицына В.А., Карасова И.Ю. ПРОБЛЕМЫ РЕКОНСТРУКЦИИ ДЕРЕВЯННЫХ ЗДАНИЙ

*Синицына Вероника Андреевна, Карасова Ирина Юрьевна
Тамбовский государственный технический университет, кафедра
«Архитектура и градостроительство», Россия, 392000, г. Тамбов, ул.
Советская 106/5, помещение 2*

Аннотация. Статья посвящена анализу проблем, возникающих при реконструкции деревянных зданий, и поиску эффективных решений для их преодоления. Рассматриваются вопросы оценки технического состояния конструкций, выбора методов реставрации, применения новых материалов и технологий, а также правовые и экономические аспекты проведения реставрационных работ. Особое внимание уделено важности сохранения аутентичности исторических объектов и использованию современных подходов, для обеспечения их долговечности и безопасности. Результаты исследования могут быть использованы специалистами в области архитектуры, строительства и реставрации для разработки комплексных стратегий по сохранению культурного наследия.

Ключевые слова: реконструкция, деревянные здания, реставрация, техническое состояние, методы реставрации, новые материалы, правовые аспекты, экономическое обоснование, культурное наследие

PROBLEMS OF RECONSTRUCTION OF WOODEN BUILDINGS

*Sinitsyna Veronika Andreevna, Karasova Irina Yurievna
Tambov State Technical University, the department of A&G,
Russia, Tambov*

Annotation. The article is devoted to the analysis of problems arising during the reconstruction of wooden buildings and the search for effective solutions to overcome them. The issues of assessing the technical condition of structures, the choice of restoration methods, the use of new materials and technologies, as well as legal and economic aspects of restoration work are considered. Special attention is paid to the importance of preserving the authenticity of historical sites and using modern approaches to ensure their durability and safety. The results of the study can be used by experts in the field of architecture, construction and restoration to develop comprehensive strategies for the preservation of cultural heritage.

Keywords: reconstruction, wooden buildings, restoration, technical condition, restoration methods, new materials, legal aspects, economic justification, cultural heritage

Реконструкция деревянных зданий представляет собой одну из наиболее сложных и ответственных задач в области сохранения архитектурного наследия. Древесина как строительный материал обладает уникальными свойствами, которые делают её привлекательной для использования в строительстве, однако она также подвержена воздействию различных факторов окружающей среды, таких как влажность, температурные колебания, биологические агенты (грибы, насекомые) и механические повреждения. В результате этого деревянные здания со временем могут терять свою первоначальную прочность и эстетическую привлекательность.

Проблема реконструкции деревянных зданий особенно актуальна в контексте исторического и культурного наследия во многих странах, включая Россию, где деревянная архитектура имеет глубокие корни и играет важную роль в формировании национального самосознания. Однако, несмотря на значительный опыт в этой сфере, реконструкция деревянных зданий сталкивается с рядом трудностей, связанных с необходимостью соблюдения баланса между сохранением аутентичности объекта и внедрением современных технологий и материалов [1-3].

Цель данной статьи заключается в анализе основных проблем, возникающих при реконструкции деревянных зданий, поиске оптимальных решений для их преодоления. Соответственно, задачи состоят в выборе методов реставрации, оценки состояния конструкций, рассмотрении применяемых новых материалов и технологий, а также изучении правовых аспектов проведения работ по реконструкции объектов культурного наследия. Эта статья позволит понять важность сохранения памятников архитектуры, вызовет интерес к их истории и позволит проанализировать методы сохранения ОКН на примере г. Тамбова.

Рассмотрим основные проблемы реконструкции деревянных зданий.

1. Оценка технического состояния конструкции

Одним из ключевых этапов реконструкции является оценка текущего состояния деревянной конструкции. Дерево – это живой материал, который может подвергаться различным видам разрушения, таким как гниение, поражение грибами и насекомыми, растрескивание и деформация. Для точной диагностики используются современные методы неразрушающего контроля, такие как ультразвуковое исследование, рентгенография и тепловизионное обследование.

Например, дом купца Зворыкина в Тамбове нуждался в комплексной диагностике состояния деревянных элементов, но не было проведено оценивание состояния деревянной конструкции по причине отсутствия современных методов обследования, что повлияло на сохранность фасада здания.

2. Выбор методов реставрации

Выбор метода реставрации зависит от степени повреждений и целей проекта. Существуют различные подходы к восстановлению деревянных конструкций:

Консервативные методы предполагают минимальное вмешательство в структуру здания. Они включают укрепление существующих элементов, замену отдельных деталей и применение защитных покрытий.

Радикальные методы подразумевают полную или частичную замену поврежденных элементов новыми. Это может быть необходимо в случае серьезных разрушений, когда сохранение оригинальных частей невозможно.

Важно учитывать не только технические аспекты, но и историческую ценность объекта. Например, при реставрации усадьбы Асеевых в Тамбове изначально были использованы консервативные методы, которые не повлекли за собой глобальных положительных изменений. После чего были использованы традиционные методы ремонта деревянных конструкций, включая замену поврежденных элементов на аналогичные по структуре и внешнему виду. Это позволило сохранить исторический облик здания и подчеркнуть его архитектурную ценность [4, 5].

3. Применение новых материалов и технологий

Современные технологии предлагают широкий спектр решений для восстановления и укрепления деревянных конструкций. Одним из популярных подходов является использование композитных материалов, которые обладают высокой прочностью и долговечностью. Также активно применяются различные виды пропиток и антисептиков, защищающих древесину от биологических воздействий.

Однако следует помнить о совместимости новых материалов с оригинальными элементами здания. Неправильный выбор может привести к ускоренному износу конструкции или нарушению ее внешнего вида.

Данная проблема была выявлена при реконструкции дома купца Лапина в Тамбове, где в итоге были использованы современные теплоизоляционные материалы, что позволило улучшить энергосберегающие характеристики здания. Также были установлены современные системы отопления и вентиляции, соответствующие современным стандартам комфорта.

4. Экономические аспекты

Финансирование проектов по реконструкции деревянных зданий часто оказывается сложной задачей. Историческая ценность объекта может требовать значительных затрат на материалы и трудозатраты, что делает проекты дорогостоящими. Важно правильно планировать бюджет и искать источники финансирования, такие как государственные гранты, частные инвестиции или спонсорская помощь.

Так, дом-музей Г.В. Чичерина в Тамбове был отреставрирован с учетом сохранения исторического облика здания. Этот проект потребовал значительных инвестиций, включая закупку качественных материалов и оплату труда специалистов. Однако результат оправдал ожидания, так как музей стал популярным местом посещения среди туристов и горожан.

5. Необходимость правильного выбора новой функции, которая сможет приносить хороший доход. Это одна из главных задач, стоящих перед инвесторами и владельцами таких объектов. Ведь вложения в реконструкцию могут быть значительными, однако нет гарантии, что новая функция здания обеспечит достаточную финансовую отдачу. Выбор неправильной функции может привести к тому, что здание останется невостребованным или не будет генерировать ожидаемый поток доходов. Таким образом, успешная реконструкция деревянного здания зависит не только от технических аспектов восстановления, но и от грамотного планирования его дальнейшего использования.

В Тамбове есть множество старинных деревянных домов, многие из которых находятся в неудовлетворительном состоянии. Один из примеров – дом купца Горшкова на улице Советской. После проведения реконструкции здание могло бы стать музеем или галереей, привлекающим туристов и местных жителей. Однако отсутствие четкого плана по использованию здания может привести к тому, что инвестиции окажутся неэффективными.

В заключение можно отметить, что проблема реконструкции деревянных зданий остается актуальной и требует всестороннего анализа и систематического подхода. Сохранение исторического и культурного наследия через реконструкцию деревянных сооружений должно основываться на сочетании традиционных знаний и современных технологий. При этом важно соблюдать баланс между сохранением аутентичности объекта и применением инновационных решений, направленных на повышение долговечности и устойчивости конструкции.

Правильное планирование и выполнение работ, учет правовых аспектов и экономических реалий позволят успешно решать задачи по сохранению уникальных деревянных построек. Таким образом, реконструкция деревянных зданий становится важным инструментом в деле защиты и популяризации культурного наследия, способствуя сохранению исторической памяти и развитию национальной идентичности.

Список литературы

1. Чебан А.Н. Мячин А.П. Исторические и современные методы сохранения деревянного зодчества // Architecture and Modern Information Technologies. 2023 №4(65). С. 134-145
2. ГОСТ Р 55528-2013. Состав и содержание научно-проектной документации по сохранению объектов культурного наследия. Памятники истории и культуры Общие требования. Дата введения 2014-01-01
3. Федоров В.В Реконструкция и реставрация зданий. Учебник. - М.: ИНФРА-М, 2003. – 208 с.
4. Незвицкая Т.В., Nezvisckaya T. Руководящие принципы сохранения церкви Преображения господня Кижского погоста, объекта всемирного наследия ЮНЕСКО // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова – 2020 г. № 6 – С. 88 – 99
5. Шумилкин С.М. Реставрация культового деревянного зодчества [Электронный ресурс]: учеб.-метод. пос. / С.М. Шумилкин, М.С. Шумилкин; Нижегород. гос. архитектур.- строит. ун-т.- Н.Новгород: ННГАСУ, 2022. – 36 с

Вавренюк С.В., Рамазанов Р.Г. УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

Вавренюк Светлана Викторовна¹, Рамазанов Рустам Габтилфаритович²

¹Филиал ФГБУ "ЦНИИП Минстроя России «Дальневосточный научно - исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт по строительству»; Приморский край, г. Владивосток, ул. Бородинская, 14 690033

²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, 380012

Аннотация. Управление жизненным циклом объектов строительства - это комплексный подход к управлению всеми этапами существования объекта, от замысла до демонтажа и утилизации. Он включает в себя планирование, проектирование, строительство, эксплуатацию, ремонт, реконструкцию и снос. Цель управления жизненным циклом объектов строительства - оптимизация затрат, повышение качества, снижение рисков и обеспечение устойчивого развития. Эффективное управление позволяет значительно снизить общие затраты на протяжении всего жизненного цикла объекта, улучшить качество строительства и эксплуатации, а также минимизировать негативное воздействие на окружающую среду. Это особенно актуально в условиях растущих требований к устойчивому развитию и энергоэффективности.

Ключевые слова: управление, строительство, жизненный цикл, объект.

Строительная отрасль сталкивается со многими проблемами, включая перерасходы времени и средств, ограничения производительности и нехватку рабочей силы [1-2]. По сравнению с другими секторами она отстает в

цифровизации на каждом этапе проекта [3-4]. Искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение (МО) появились как преобразующие технологии, революционизирующие строительный сектор [5-6]. Жизненный цикл (ЖЦ) объекта капитального строительства (ОКС) рассматривается как интегрированная замкнутая система (рисунок 1) [7-8]. При этом рассматриваются все сферы жизнедеятельности населения, в том числе экологическую устойчивость, связанную с взаимовлиянием человека и окружающей среды [9-10].

4D-моделирование в строительстве - это добавление в 3D-моделирование ещё одного измерения - времени [11]. 4D-модель объединяет 3D-модель объекта и его календарный план строительства, обозначая существование тех или иных элементов в определённом отрезке времени. Визуально 4D-модель - это подробная анимация процесса строительства [12]. В ней учитывается используемая строительная техника, различные механизмы, места хранения материалов, пути движения техники и рабочих по стройплощадке и т.п. [13]



Рисунок 1 – Управление жизненным циклом объектов строительства

Основные преимущества использования 4D-технологии:

- проработка календарно-сетового графика с учётом проведения строительных работ во времени и пространстве;
- проработка различных сценариев развития событий и визуальное отображение всех монтажных процессов;
- возможность визуально определять открывающиеся фронты работ;
- оптимизация планирования приводит к сокращению сроков строительства и, как следствие, к снижению стоимости проекта;

- у заказчика и генподрядчика появляется возможность контролировать ход строительства в режиме реального времени.

Для внедрения 4D необходимо иметь минимальную базу в виде 3D-модели (разработанную самой компанией или полученную в качестве исходных данных). Помимо этого, потребуется график производства работ, к которому происходит привязка элементов 3D-модели [14-16].

Наиболее распространёнными программами для построения 4D являются SYNCHRO Pro и Autodesk Navisworks.

5D-технология в строительстве - это система планирования и управления строительными процессами. Она позволяет моделировать не только пространственное положение объектов (3D), но и учитывать время (4D), а также стоимость (5D) реализации проекта. 5D-модель позволяет прогнозировать финансовые потоки, выгружать объёмы материалов, работ и оборудования для формирования расходов, контролировать стоимость строительства. Преимущества 5D-технологии:

- ускоряет проектирование [17];
- сокращает количество ошибок [18];
- повышает точность бюджетирования и контроля стоимости проекта [19];
- способствует улучшению коммуникации между всеми участниками проекта, так как предоставляет полную и чёткую картину процесса строительства [20].

Для работы с 5D необходим арсенал специализированных программных комплексов и штат обученных опытных специалистов-инженеров.

Управление жизненным циклом объектов строительства находится в тесной взаимосвязи с комплексным обеспечением безопасности системы «человек - окружающая среда» [21].

В последнее время все чаще говорят о «шумовом загрязнении» [22]. Шумовое загрязнение относится к загрязнению окружающей среды, это раздражающий шум антропогенного характера, превышающий естественный уровень природного шумового фона [23]. К нему относится любой нежелательный для человека звук или его сочетание, имеющее разную интенсивность [24]. Его влияние оказывает на организм человека нежелательное воздействие, способное вызвать патологические нарушения структуры и функции определенного органа, системы органов, и всего организма в целом, а также мешает его спокойной жизнедеятельности [25].

При этом материалы для защиты от шумового загрязнения (звукопоглощающие, звукоизоляционные) имеют совершенно другой принцип в отличие от конструкционных строительных материалов [26]. Налицо необходимость системного проектирования материалов: как высокопрочных бетонов для несущих конструкций зданий и сооружений, так и изоляционных материалов (тепло-, звуко- и т.д.) [27].

Необходимым элементом, замыкающим жизненный цикл объекта капитального строительства, является повторное вовлечение фрагментов разрушенных строительных конструкций [28-30]. Много этих отходов образуется при вооруженных конфликтах.

Таким образом, применение эффективных строительных материалов, созданных и эксплуатирующихся по замкнутому циклу, позволит управлять комплексным обеспечением безопасности системы «человек - окружающая среда».

Список литературы

1. S. Dip Datta, M. Islam, Md. H. Rahman Sobuz, S. Ahmed, M. Kar, Artificial intelligence and machine learning applications in the project lifecycle of the construction industry: A comprehensive review, *Heliyon*, Volume 10, Issue 5, 2024, e26888, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26888>.

2. A. Waqar, M. Houda, M. Ahsan, S. Nisar, Enhancing project performance through sustainable supply chain management: A comprehensive analysis of residential construction practices, *Environmental Challenges*, Volume 18, 2025, 101075, <https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.101075>.

3. L. Yuan, B. Yang, W. Lu, Z. Peng, Carbon footprint accounting across the construction waste lifecycle: A critical review of research, *Environmental Impact Assessment Review*, Volume 107, 2024, 107551, <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2024.107551>.

4. L.P. León-Romero, M. Aguilar-Fernández, A. Luque-Sendra, F. Zamora-Polo, M. Francisco-Márquez, Characterization of the information system integrated to the construction project management systems, *Heliyon*, Volume 10, Issue 11, 2024, e31886, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31886>.

5. Y. Celik, I. Petri, Y. Rezgui, Integrating BIM and Blockchain across construction lifecycle and supply chains, *Computers in Industry*, Volume 148, 2023, 103886, <https://doi.org/10.1016/j.compind.2023.103886>.

6. J. Amo Larbi, L.C.M. Tang, R. Amo Larbi, D.A. Abankwa, R. Darko Danquah, Developing an integrated digital delivery framework and workflow guideline for construction safety management in a project delivery system, *Safety Science*, Volume 175, 2024, 106486, <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106486>.

7. J. Ninan, R. Yadav, Megaproject and the city: Theorizing social media discourses across the lifecycle of an infrastructure project, *City and Environment Interactions*, Volume 20, 2023, 100123, <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2023.100123>.

8. M. Awad Abuhussain, A. Waqar, A. Mateen Khan, I. Othman, B. Saad Alotaibi, F. Althoey, M. Abuhussain, Integrating Building Information Modeling (BIM) for optimal lifecycle management of complex structures, *Structures*, Volume 60, 2024, 105831, <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.105831>.

9. S. Mohamed Saradara, M.M. Ali Khalfan, S. Venu Jaya, V. Swarnakar, A. Rauf, M. El Fadel, Advancing building construction: A novel conceptual framework integrating circularity with modified lean project delivery systems, *Developments in the Built Environment*, Volume 20, 2024, 100531, <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100531>.

10. N.A.N. Adu-Amankwa, F. Pour Rahimian, N. Dawood, C. Park, Digital Twins and Blockchain technologies for building lifecycle management, *Automation in Construction*, Volume 155, 2023, 105064, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105064>.

11. G.E. Takyi-Annan, H. Zhang, Assessing the impact of overcoming BIM implementation barriers on BIM usage frequency and circular economy in the project lifecycle using Partial least Squares structural Equation modelling (PLS-SEM) analysis, *Energy and Buildings*, Volume 295, 2023, 113329, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113329>.
12. A. Alsehaimi, A. Waqar, K.A. Alrasheed, A.S. Bageis, H. Almujiabah, O. Benjeddou, A. Mateen Khan, Building a sustainable future: BIM's role in construction, logistics, and supply chain management, *Ain Shams Engineering Journal*, Volume 15, Issue 12, 2024, 103103, <https://doi.org/10.1016/j.asej.2024.103103>.
13. M. Martinsuo, M. Tilebein, G. Birollo, Lifecycles, processes, and practices in strategic projects and programs, *International Journal of Project Management*, Volume 42, Issue 8, 2024, 102653, <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2024.102653>.
14. S. Van-Tien Tran, T. Linh Nguyen, H.-L. Chi, D. Lee, C. Park, Generative planning for construction safety surveillance camera installation in 4D BIM environment, *Automation in Construction*, Volume 134, 2022, 104103, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.104103>.
15. A. Nekouvaght Tak, H. Taghaddos, A. Mousaei, A. Bolourani, U. Hermann, BIM-based 4D mobile crane simulation and onsite operation management, *Automation in Construction*, Volume 128, 2021, 103766, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103766>.
16. O. Hosseini, M. Maghrebi, Risk of fire emergency evacuation in complex construction sites: Integration of 4D-BIM, social force modeling, and fire quantitative risk assessment, *Advanced Engineering Informatics*, Volume 50, 2021, 101378, <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101378>.
17. A. Baldrich Aragó, J. Roig Hernando, F.J. Llovera Saez, J. Coll Bertran, Quantity surveying and BIM 5D. Its implementation and analysis based on a case study approach in Spain, *Journal of Building Engineering*, Volume 44, 2021, 103234, <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103234>.
18. A.A. Ranjbar, R. Ansari, R. Taherkhani, M.R. Hosseini, Developing a novel cash flow risk analysis framework for construction projects based on 5D BIM, *Journal of Building Engineering*, Volume 44, 2021, 103341, <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103341>.
19. Tefa, L. Integrated and comparative Structural-LCA analysis of unbound and cement-stabilized construction and demolition waste aggregate for subbase road pavement layers formation / L. Tefa, I. Bianco, M. Bassani // *Journal of Cleaner Production*. – 2022. – Vol. 352. – 131599.
20. J. Xu, Research on Application of BIM 5D Technology in Central Grand Project, *Procedia Engineering*, Volume 174, 2017, Pages 600-610, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.194>
21. Лесовик В.С. Геоника (геомиметика). Примеры реализации в строительном материаловедении. Монография. 2-е издание, дополненное. Белгород 2016г. 286 с.
22. A. Ritz-Radlinská, V. Barták, T. Kadlec, L. Říhová, P. Zasadil, Synergistic effect of light and noise pollution on dawn and dusk singing behavior of urban

European blackbird: Changes during nesting season, Applied Animal Behaviour Science, Volume 282, 2025, 106486, <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2024.106486>.

23. C. Yu, J. Xu, S. Xu, L. Tang, X. Zhang, W. Chen, T. Yu, The impacts of noise and air pollution on breast cancer risk in European and East Asian populations: Insights from genetic evidence, Public Health, Volume 238, 2025, Pages 197-205, <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2024.11.021>.

24. Z. Zhang, F. Yang, H. Zhang, C. Zhou, Y. Li, H. Liu, A probabilistic neural network assessment method for insulator pollution level based on discharge noise, Measurement, Volume 242, Part A, 2025, 115869, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2024.115869>. 9657.

25. J. Huang, M.-P. Kwan, Associations between individuals' daily carbon footprints and exposures to air pollution, noise, and greenspace in space and time, Geography and Sustainability, 2024, 100260, <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2024.100260>.

26. M. Grunst, A. Grunst, B. Thys, R. Pinxten, M. Eens. Anthropogenic noise and light pollution decrease the repeatability of activity patterns and dampen expression of chronotypes in a free-living songbird, Science of The Total Environment, Volume 954, 2024, 176552, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176552>.

27. Wu, X. Influencing factors and mechanism for the attenuation of the skid resistance for bauxite clinker-asphalt mixtures / X. Wu, N. Zheng, J. Lei // Construction and Building Materials. – 2021. – Vol. 283. – 122670.

28. Azari Jafari, H. Life cycle assessment of pavements: reviewing research challenges and opportunities / H. Azari Jafari, A. Yahia, M. Ben Amor // Journal of Cleaner Production. – 2016. – Vol. 112. – pp. 2187-2197.

29. Tang, Y. Natural gravel-recycled aggregate concrete applied in rural highway pavement: Material properties and life cycle assessment / Y. Tang, J. Xiao, W. Song // Journal of Cleaner Production. – 2021. – Vol. 334. – 130219.

30. Huang, Q. Investigation on the properties of aggregate-mastic interfacial transition zones (ITZs) in asphalt mixture containing recycled concrete aggregate / Q. Huang, Z. Qian, J. Yu // Construction and Building Materials. – 2020. – Vol. 269. – 121257.

Вавренюк С.В., Аюбов Н.А. КОМПОЗИЦИОННЫЕ СМЕСИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Вавренюк Светлана Викторовна¹, Аюбов Нарман Аюбович²

¹Филиал ФГБУ "ЦНИИП Минстроя России «Дальневосточный научно - исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт по строительству»; Приморский край, г. Владивосток, ул. Бородинская, 14 690033

²Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова, Российской академии наук; 364020, г. Грозный,

Аннотация. Ряд композиционных смесей используется в инновационных технологиях для получения строительных материалов: полистиролбетонные блоки (разновидность ячеистого лёгкого бетона), нанобетон (разновидность бетона, получаемого с добавлением наноинициаторов, которые улучшают физические свойства бетона, в частности, увеличивают его механическую прочность на 150%), углепластики (композиционный многослойный строительный материал, представляющий собой полотно из углеродных волокон в оболочке из термореактивных полимерных (чаще эпоксидных) смол), полимерно-волоконистые композиты (создаются на основе стекловолокна, базальтоволокна, углеродного волокна).

Ключевые слова: композит, строительство, инновации, бетон.

Постоянно развивающиеся с позиции трансдисциплинарных подходов технологии строительных композиционных смесей требуют уйти от старых шаблонов проектирования строительных материалов [1]. Применение знаний из различных областей наук - материаловедения, физики, химии, нанотехнологии, геологии и т.д. позволяет снижать сложность рецептов и стоимость компонентов, обеспечивая при этом совместную работу композита с обеспечением заданных эксплуатационных характеристик [2]. Оптимизируя рецептурно-технологические факторы и используя нетрадиционные виды природного и техногенного сырья, модифицированные современные композиты приобретают улучшенные физико-механические свойства, а также эксплуатационные, защитные и экологические характеристики [3]. Высокая технологичность этих строительных материалов идет в связке с экономической эффективностью. Полученные в этом ключе современные композиционные материалы имеют большие перспективы для промышленного и гражданского строительства, в том числе для уникальных объектов в различных условиях эксплуатации [4]. На этом пути выделяются две инновационные стратегии: рециклинг материалов для производства «зеленых материалов» [5] и разработка «умных» бетонов для мониторинга состояния строительных конструкций [6].

Первая стратегия включает в применение обогащенных отходов производства для замены традиционных ресурсов, применяемых для изготовления стеновых блоков [7], керамических изделий [8], а также растворных растворов [9] и бетонных [10] смесей. Другая стратегия нацелена на создание интеллектуальных клинкерных [11] и щелочеактивируемых бетонов (геополимеров) [12] с чувствительными свойствами к деформациям и повреждениям в ответ на растущие требования, связанные с увеличением долговечности конструкций.

Особые функциональные возможности достигаются при применении ультрадисперсных добавок и нанодобавок с высокой поверхностной активностью, обусловленной их супермалым размером [13].

Использование функционализированных наноматериалов на основе углерода позволяет получать интеллектуальный наноинженерный композит. Среди углеродсодержащих добавок типичный продукт на основе

нанотехнологий – это углеродные нанотрубки (УНТ) [14], обладают механическими [15], электрическими [16] и термическими [17] свойствами, применение которых в цементирующих композитах способствуют улучшению характеристик. В настоящее время для материаловедов доступно большое разнообразие аллотропных форм углерода (рисунок 1.1), такие как графен [18], фуллерен [19], углеродные нанотрубки [20] и др. [21-23].

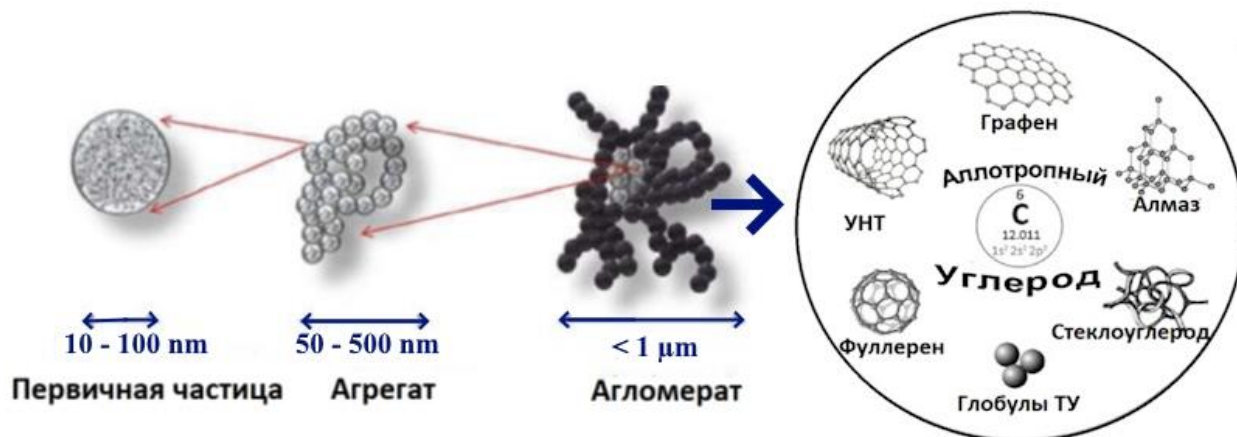


Рисунок 1.1 - Углеродные модификации углерода [24-25]

Однако, получение углерода зачастую является дорогостоящим мероприятием, снизить стоимость которого можно, например, путем комплексной переработки отслуживших шин [26-28]. Наибольшее применение среди материалов из этого вторичного сырья нашла резиновая крошка, которая используется, например, для покрытий спортивных площадок [29] и в бетонах для снижения ударных шумов [30]. Гораздо менее изучено использование технического углерода (ТУ), получаемого путем термолизной переработки шин [31] и фибры, получаемой резкой металлокорда [32].

Компактно расположенные элементарные кристаллиты ТУ образуют первичные углеродные частицы [33-34], прочно соединенные между собой с помощью ковалентных связей. Повышение количества частиц в каждом агрегате упорядочивает структурность технического углерода [35]. Объединяя взаимодействие слабых химических и физических связей (Ван-дер-Ваальса, электростатических сил и т.д.), агрегаты образуют агломераты [36].

Анализ современных исследований в области строительного материаловедения показал, что «интеллектуальные» композиты создаются, в том числе, путем использования различных углеродных добавок (разных полиморфных модификаций, линейных размеров и дисперсности) [37].

Фактически, технический углерод отрицательно сказывается на гидратации клинкерных материалов [38], разбавляя цементную систему и отрицательно влияя на прочностные свойства. С другой стороны, малая размерность (субмикро- и наноразмер) дает возможность коагулировать поры твердеющей системы [39], что снижает риск трещинообразования в консолидированных композитах [40]. Таким образом, являясь инертным микронаполнителем, углеродные компоненты способны эффективно управлять свойствами

строительного материала [41], снижая усадку, проницаемость, а значит - увеличивая долговечность бетонного композита [42].

Повысившиеся нормативные требования по энергетической эффективности вновь строящихся зданий расширяют номенклатуру применяющихся для ограждающих конструкций теплоизоляторов, в том числе минеральной ваты [43]. Производство этих материалов неуклонно растет год от года (к 2030 г. планируется 2,8 млн. т. [44]), а значит повышается и количество образующихся при ее изготовлении отходов. Номенклатура минерального волокна объединяет собой каменную вату, базальтовые утеплители, стекловату, минеральную вату и т.п. [45].

Отходы производства теплоизоляционных материалов представлены разноразмерными волокнами [46] и оплавленными шарообразными частицами - «корольками» [47]. Механоактивированные «корольки» характеризуются вяжущими свойствами за счет присутствующих аморфных силикатных фаз, поэтому имеют хороший потенциал для использования, как в составах традиционных цементобетонных смесей, так и для щелочеактивированных композитов [48-52].

Революцию в строительной отрасли произвела разработка альтернативных цементу вяжущих, например, геополимеров [53]. Геополимеры рассматриваются как устойчивое решение проблемы выбросов CO₂, который образуется при производстве цемента [54]. В то же время создание геополимерных вяжущих на основе техногенного сырья позволяет реализовать экологически безопасную утилизацию промышленных отходов, в том числе и техногенных волокнистых отходов (ТВО) [55], что положительно сказывается на ведении хозяйственной деятельности [56].

Таким образом, среди сырья для композиционных смесей, используемых в инновационных технологиях для получения строительных материалов и изделий с улучшенными характеристиками, выделяются перспективные, но малоисследованные продукты комплексной переработки отслуживших шин, а также техногенных волокнистых отходов производства минеральной ваты.

Список литературы

1. Лесовик В.С. Геоника (геомиметика). Примеры реализации в строительном материаловедении: монография / В.С. Лесовик // Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. 206 с.
2. G. Sebastiano Gondokusumo, A. Venkateshwaran, K.H. Tan, J.Y.R. Liew, Shear strength and ductility of novel steel fibre-reinforced concrete dowel connections for composite beams // Construction and Building Materials, Volume 447, 2024, 138159, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.138159>.
3. W. Ge, F. Zhang, Y. Wang, A. Ashour, L. Luo, L. Qiu, S. Fu, D. Cao, Machine learning predictions for bending capacity of ECC-concrete composite beams hybrid reinforced with steel and FRP bars // Case Studies in Construction Materials, Volume 21, 2024, e03670, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03670>.
4. Q. Chen, X. Luo, W. Luo, Z. Yang, D. Yang, Xu. Zheng, Y. He, Seismic performance of innovative precast concrete composite walls with embedded XPS

insulation layer // *Engineering Structures*, Volume 316, 2024, 118605, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2024.118605>.

5. X. Miao, J.-X. Zhu, W.-B. Zhu, Y. Wang, L. Peng, H.-L. Dong, L.-Y. Xu, Intelligent prediction of comprehensive mechanical properties of recycled aggregate concrete with supplementary cementitious materials using hybrid machine learning algorithms // *Case Studies in Construction Materials*, Volume 21, 2024, e03708, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03708>.

6. Q. Tian, J. Zhou, J. Hou, Z. Zhou, Z. Liang, M. Sun, J. Hu, J. Huang, Building the future: Smart concrete as a key element in next-generation construction // *Construction and Building Materials*, Volume 429, 2024, 136364, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136364>.

7. E. Kuoribo, H. Shokry, H. Mahmoud, Attaining material circularity in recycled construction waste to produce sustainable concrete blocks for residential building applications // *Journal of Building Engineering*, Volume 96, 2024, 110503, <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.110503>.

8. L. Yu, Y. Zhang, Z. Zhang, Jialong Yang, Conversion of recycled sludge waste into high value-added ceramics as engineering construction materials: Fabrication, characterization and performance evaluation // *Chemical Engineering Journal*. Volume 475, 2023, 146509, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.146509>.

9. A. Yaraş, M. Bayram, A. Ustaoglu, E. Erdoğmuş, G. Hekimoğlu, A. Sarı, O. Gencil, V.V. Tyagi, T. Ozbakkaloglu, Advancing thermal control in buildings with innovative cementitious mortar and recycled expanded glass/n-octadecane phase change material composites // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 202, 2024, 114680, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114680>.

10. X. Ying, X. Zhao, H. Cui, J. Zhao. Recycled glass concrete with cementitious materials: Study of mechanical prediction model and dry shrinkage mechanism // *Construction and Building Materials*, Volume 438, 2024, 137159, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.137159>

11. Y. Hao, C. Shi, W. Yao, G. Liang, J. Song, A. She, Electro-thermal actuation in recycled aggregate concrete with rapid self-reinforcement via smart cement-based composites // *Construction and Building Materials*, Volume 439, 2024, 137392, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.137392>

12. N. Asim, M. Badieli, N. Asma Samsudin, M. Mohammad, H. Razali, D. Hui, Clean technology option development for smart and multifunctional construction materials: Sustainable geopolymer composites // *Journal of Building Engineering*, Volume 94, 2024, 109932, <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.109932>

13. Z. Li, M.-E. Fei, C. Huyan, X. Shi, Nano-engineered, Fly Ash-Based Geopolymer Composites: An Overview // *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 168, 2021, 105334, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105334>

14. E.F. Barbosa Motta, A. Ribeiro de Carvalho, J.G. Duarte Barra, I. Oliveira Maciel, T. Mayra de Oliveira, Thermomechanical behavior of concretes with addition of non-functionalized and functionalized carbon nanotubes // *Journal of Building Engineering*, 2024, 110642, <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.110642>.

15. Y. Lin, W. Zheng, S. Liu, M. Yuan, X. Qin, Multi-ion erosion test and molecular dynamics simulation of carbon nanotube concrete under stray current and

salt brine environment // *Developments in the Built Environment*, Volume 17, 2024, 100335, <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100335>

16. H. Amer Algaifi, E. Adam Muhammad, S. Baharom, F. Alrshoudi, A. Syamsir, H.A. Salah, V. Anggraini, Optimizing polypropylene fiber and carbon nanotubes to reinforce concrete matrix: A response surface methodology // *Construction and Building Materials*, Volume 442, 2024, 137388, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.137388>

17. Y. Du, S. Lu, Z. Wang, H. Huang, T. Wang, J. Xu, W. Xia, Study on fragmentation characteristics of carbon nanotube-enhanced concrete and a comparative evaluation of the ZWT and ottosen constitutive model // *Construction and Building Materials*, Volume 445, 2024, 137910, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.137910>

18. A.H. Alateah, Graphene concrete: Recent advances in production methods, performance properties, environmental impact and economic viability // *Case Studies in Construction Materials*, Volume 19, 2023, e02653, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02653>

19. H.K. Avetissian, S. Sukiasyan, H.H. Matevosyan, G.F. Mkrtchian, Disorder-induced effects in high-harmonic generation process in fullerene molecules // *Results in Physics*, Volume 53, 2023, 106951, <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2023.106951>.

20. Y. Jing, J. Chai Lee, W. Chek Moon, J. Lin Ng, M. Kun Yew, M. Yen Chu, Mechanical properties, permeability and microstructural characterisation of rice husk ash sustainable concrete with the addition of carbon nanotubes // *Heliyon*, Volume 10, Issue 12, 2024, e32780, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32780>

21. J. Subedi, Y. Wu, M. Bazli, A. Rajabipour, R. Hassanli, R. Shahbazi, Bond performance between sand coated hybrid glass-carbon FRP tubes and seawater sea sand concrete after exposure to elevated temperatures // *Construction and Building Materials*, Volume 446, 2024, 137984, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.137984>

22. L. Marra Araujo, P. Borges Esteves, S. Fabbro, M. Kuffa, K. Wegener, Geometric-kinematic model for wear simulation of diamond-impregnated segments in concrete core drilling // *Procedia CIRP*, Volume 117, 2023, Pages 38-43, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.03.008>

23. F. Gao, W. Tian, X. Cheng, Evaluation of pore deterioration of carbon nanotubes reinforced concrete exposed to high temperatures based on CT technique // *Journal of Building Engineering*, Volume 61, 2022, 105300, <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105300>

24. Islam M., Lantada A.D., Mager D., Korvink J.G. Carbon-Based Materials for Articular Tissue Engineering: From Innovative Scaffolding Materials toward Engineered Living Carbon // *AdvHealthc Mater.* 2022 Vol. 11(1). e2101834 DOI: 10.1002/adhm.202101834

25. Khan, Z.U., Kausar, A., Ullah, H., Badshah, A., & Khan, W.U. A review of graphene oxide, graphenebuckypaper, and polymer/graphene composites: Properties and fabrication techniques // *Journal of Plastic Film & Sheeting*, 32(4). P. 336 – 379.

26. J. Shen, J. Shi, Experimental study on bond performance of interface between concrete and UHPFRC incorporating recycled tyre fibers // Journal of Building Engineering, Volume 96, 2024, 110589, <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2024.110589>.

27. A. Alsaif, A. Albidah, Production of rubberized concrete utilizing reclaimed asphalt pavement aggregates and recycled tire steel fibers, Structures, Volume 68, 2024, 107174, <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2024.107174>

28. D. Jin, S. Mohammadi, K. Xin, L. Yin, Zhanping You, Laboratory performance and field demonstration of asphalt overlay with recycled rubber and tire fabric fiber // Construction and Building Materials, Volume 438, 2024, 136941, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136941>

29. A. Yar Akhtar, H.-H. Tsang, Dynamic leaching assessment of recycled polyurethane-coated tire rubber for sustainable engineering applications // Chemical Engineering Journal, Volume 495, 2024, 153351, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.153351>

30. A. Yar Akhtar, H.-H. Tsang, A comparative life cycle assessment of recycled tire rubber applications in sustainable earthquake-resistant construction // Resources, Conservation and Recycling, Volume 211, 2024, 107860, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107860>.

Секция 2 - Основания и фундаменты, подземные сооружения

Галицкая Е.С. СПОСОБЫ ИСКУССТВЕННОГО ВМОРАЖИВАНИЯ СВАЙ В ВЕЧНОМЕРЗЛЫЕ ГРУНТЫ

Галицкая Елизавета Сергеевна

*ДВФУ, Политехнический институт (школа), Инженерный департамент,
Инженерно-строительное отделение.*

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Краснощек Б.В.

Аннотация. В работе рассматриваются вопросы по определению продолжительности вмораживания свай, погруженных в оттаянные и пробуренные скважины, и несущей способности свай, погруженных в мерзлые грунты. Приводится технология производства работ по погружению свай в мерзлый грунт, а также дается методика расчета свай в условиях распространения мерзлых грунтов.

Ключевые слова: вечномерзлые грунты, вмораживание свай, способы искусственное замораживание.

Вечная мерзлота занимает около 65% территории России. Это обширные районы Сибири, Дальнего Востока и Крайнего Севера, где грунт остаётся в мёрзлом состоянии на значительную глубину и на протяжении многих лет. Наиболее сложным этапом строительства в суровых климатических условиях Севера является возведение фундаментов. В современном строительстве,

особенно в условиях наличия вечной мерзлоты, наиболее эффективными являются свайные фундаменты [1, 2].

Технология устройства свайных фундаментов, на Крайнем Севере чаще всего включает в себя такой процесс, как временное нарушение мерзлого состояния грунта. Только восстановление такого состояния позволяет подготовить фундамент к восприятию полезной нагрузки от строящегося здания.

Процесс естественного восстановления мерзлоты у погруженных свай (вмерзания свай) может быть весьма продолжительным и зависит от таких факторов, как способ погружения свай; физико-механические и температурные характеристики грунта; сезон выполнения свайных работ. Сроки вмерзания свай могут составлять от нескольких дней до нескольких месяцев. Уменьшение этих сроков - важная задача, стоящая перед строителями. Она решается применением различных способов искусственного вмораживания свай.

При использовании метода искусственного вмораживания свай применяют следующие способы:

- вентиляции полости сваи холодным воздухом в зимних условиях;
- вентиляции полости скважины холодным воздухом в зимних условиях;
- охлаждения полости сваи комбинированной жидкостно-трубчатой установкой в летних условиях;
- охлаждения полости сваи комбинированной жидкостно-трубчатой установкой в зимних условиях;
- охлаждения полости сваи жидким хладагентом в любое время года;
- подачи холодного воздуха в зимних условиях в талый грунт по металлической игле;
- подачи холодного воздуха в зимних условиях в талый грунт по полости сваи.

Замораживание грунта вентиляцией полости сваи холодным воздухом в зимних условиях рекомендуется применять при температуре воздуха не выше минус 10 °С. В полость сваи опускают гофрированный шланг, верхний конец которого присоединяют к вентилятору, а нижний отстоит от дна полости на 20-30 см. Вентиляцию полости осуществляют путем отсоса воздуха из ее нижней части при непрерывном поступлении холодного воздуха в верхнюю часть. Проходя по полости, холодный воздух охлаждает стенки сваи и окружающий ее грунт. Этот способ вмораживания используют для железобетонных и металлических полых свай, закрытых снизу [3, 4].

Замораживание грунта вентиляцией полости скважины холодным воздухом в зимнее время рекомендуется применять для вмораживания свай, погружаемых в предварительно пробуренные скважины, железобетонных или металлических разных форм и конфигураций.

Охлаждать полость сваи комбинированной жидкостно-трубчатой установкой можно и в летнее, и зимнее время года. Данный способ рекомендуется применять для металлических полых свай. Полость сваи заполняют керосином, в который погружают трубчатый охладитель. Зимой по трубкам охладителя прокачивают холодный воздух с температурой не выше минус 10 °С. При производстве работ в летних условиях охладитель является

составной частью холодильной установки, по которой циркулирует раствор хлористого кальция с температурой от -20 °С до -25 °С (азот, аммиак, фреон и др)

Охлаждение полости сваи жидким хладагентом (раствором хлорида кальция, аммиаком, фреоном, азотом и др) применяют для вмораживания полых металлических свай как в зимних, так и летних условиях. Циркулируя по полости сваи и трубкам холодильной установки, хладагент отбирает тепло у талого грунта и замораживает его.

Замораживание окружающего сваю талого грунта подачей в него холодного воздуха позволяет достигнуть наибольшей скорости вмораживания сваи любой конфигурации с полостью и без нее. Холодный воздух нагнетается в грунт компрессором по полости и отверстиям в свае или по металлической игле под низ сваи, проходя через толщу талого грунта, холодный воздух охлаждает его и замораживает.

Замораживание грунта вентиляцией полости скважины холодным воздухом в зимних условиях применяют при наличии в свае полости, закрытой снизу, сваи могут быть железобетонные и металлические любой формы и конфигурации.

Заключение

Некоторые из перечисленных способов могут быть использованы и в случаях необходимого понижения температуры мерзлого грунта на контакте с погруженными сваями с целью восстановления или даже повышения их несущей способности. Это может оказаться целесообразным при изменении мерзлотно-грунтовых условий в период прогнозируемого глобального потепления.

Определение времени замораживания грунта основывается на применении уравнения теплового баланса. Методика расчетов зависит от способов погружения свай и способов охлаждения грунта. Создание такой методики или уточнение существующей являются задачами последующих исследований.

Список литературы

1. Петухова, М. В. Искусственное вмораживание свай / М. В. Петухова, Б. В. Краснощек // Вологдинские чтения. – 2009. – № 76. – С. 24-26. – EDN MSTHOT.
2. Метод охлаждения околосвайных многолетнемерзлых грунтов в зоне экстремального северного климата / А. С. Климов, Р. Т. Емельянов, Е. В. Чумакова, О. Л. Климова // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2021. – Т. 23, № 4. – С. 138-146. – DOI 10.31675/1607-1859-2021-23-4-138-146. – EDN FJSKTM.
3. Краснощек Б.В. Технологические процессы в строительстве. Свайные работы в особых условиях: учебно-методическое пособие / Инженерная школа ДВФУ. – Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2020 – 36 с.
4. Макаров, А. В. Особенности строительства фундаментов в вечноммерзлых грунтах / А. В. Макаров, В. Ю. Тянь, А. В. Журавлев // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 1(52). – С. 111. – EDN HVZKXB.

Федюк Г.Р. ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ УРБАНИЗАЦИИ

Федюк Герман Романович

*Дальневосточный федеральный университет; Политехнический институт;
Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, 690922
Научный руководитель: Федюк Роман Сергеевич, д. т. н.*

Аннотация. Тезисно обозначены проблемные вопросы, связанные со стремительным развитием урбанизации.

Ключевые слова: город, мегаполис, моногород, урбанизация

Стремительное развитие урбанизация в России привело к тому, что 75% населения России проживает в городах. При этом каждый шестой россиянин живет в городе-миллионере (всего насчитывается 16 городов).

В России имеется 320 моногородов (рис. 1), самым большим моногородом являлся Тольятти с населением в 718 тыс. человек.



Рисунок 1 - Плотность моногородов по регионам России

Таким образом, Россия считается высокоурбанизированной страной, а современные условия развития городов приводят к двум серьезным проблемам:

1. Недостаток свободных городских земель приводит к точечной застройке и созданию спальных и административных районов

2. Высокая концентрация населения на ограниченных территориях

Риски и перспективы урбанизации:

- Резкое увеличение плотности населения делает промышленные, научные и административные районы уязвимыми в случае военного конфликта

- Использование подземного пространства для защиты населения городов

Характеристики крупных городов

- Высокоплотная многоэтажная застройка
- Широкое развитие общественного транспорта и систем связи
- Превышение застроенной и замощенной части территории над садово-парковыми и озелененными пространствами
- Концентрация источников негативного воздействия на окружающую среду
- Высокая плотность населения.

Таким образом, установлен ряд проблемных вопросов, касающихся стремительной урбанизации. Необходим научно-проектный поиск путей решения этих задач.

Список литературы

1. de Oliveira L.B., Marvila M.T., Pereira E.C., Vieira C.M.F., de Azevedo A.R.G., Fediuk R. Durability of geopolymers with industrial waste. Case Studies in Construction Materials. 2022. Т. 16. С. e00839.
2. Толстова, Е.М. Мегалополис и городская среда. преимущества и недостатки мегалополиса / Е.М. Толстова // Аллея науки. - 2018. - Т. 3. № 10 (26). - С. 51-54.
3. Murali G., Abid S.R., Amran M., Fediuk R., Vatin N., Karelina M. Combined effect of multi-walled carbon nanotubes, steel fibre and glass fibre mesh on novel two-stage expanded clay aggregate concrete against impact loading. Crystals. 2021. Т. 11. № 7.
4. Пивоваров, Ю.Л. Основы геоурбанистики: Урбанизация и городские системы: учеб. пособ. / Ю.Л. Пивоваров - М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 1999. - 232 с.
5. Баженов Ю.М., Федюк Р.С., Лесовик В.С. Обзор современных высокоэффективных бетонов. Наукоемкие технологии и инновации. Электронный сборник докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. С. 45-49.
6. Боголюбов, В.С. Актуальные проблемы крупных городов / В.С. Боголюбов. - СПб: СПбГИЭА, 1997. - 194 с.
7. Федюк Р.С., Мочалов А.В., Лесовик В.С., Гридчин А.М., Фишер Х.Б. Композиционные вяжущие и самоуплотняющиеся фибробетоны для защитных сооружений. Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2018. № 7. С. 77-85.

Федюк Г.Р. ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАЩИТНЫХ ОБЪЕКТОВ

Федюк Герман Романович

*Дальневосточный федеральный университет; Политехнический институт;
Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, 690922
Научный руководитель: Федюк Роман Сергеевич, д. т. н.*

Аннотация. Тезисно изложены проблемы технического состояния защитных объектов в крупных городах.

Ключевые слова: город, конструкция, защита, объект.

Исследования в области освоения подземного пространства городов, проведенные учёными и специалистами в сфере подземного строительства, горных наук и геомеханики, касаются проектирования и строительства подземных сооружений [1–2]. Однако комплексные исследования технологических параметров подземных сооружений двойного назначения, обеспечивающих их техническую эффективность и защитные функции в угрожаемый период, изучены недостаточно.

По данным аудиторов Счётной палаты РФ [3], из 16 270 защитных сооружений, зарегистрированных в МЧС РФ как объекты гражданской обороны (ГО), 95 % непригодны для использования из-за износа.

Например, в Челябинске имеется 430 защитных сооружений гражданской обороны (бомбоубежищ), способных укрыть только 15% населения города. Согласно информации Управления МЧС по г. Санкт-Петербургу, в городе насчитывается 4 012 объектов гражданской обороны, рассчитанных на 1 миллион человек (при населении города более 5 миллионов). По данным МЧС РФ, Новосибирск располагает более чем 800 защитными сооружениями (включая метро), обеспечивающими защиту только 200 тысяч человек (16). Аналогичная ситуация наблюдается и в других крупных городах (табл. 1).

Таблица 1 – Обеспеченность городов России с населением более 1 млн чел. защитными сооружениями по состоянию на 2025 год

Город	Население, млн чел.	Количество защитных сооружений	Количество укрываемых	Процент укрываемых
Москва	12,70	5-7 тыс.	1,5 млн.	12
Санкт-Петербург	5,40	4012	1 млн.	18
Новосибирск	1,65	800	200 тыс.	12
Екатеринбург	1,50	1000	250 тыс.	17
Казань	1,30	345	118 тыс.	9
Нижний Новгород	1,25	505	199 208	16
Челябинск	1,20	430	180 тыс.	15
Самара	1,15	100	25 тыс.	2
Омск	1,15	12	3 тыс.	0,3
Ростов-на-Дону	1,15	15	4 тыс.	0,4
Уфа	1,15	300	113 тыс.	10
Красноярск	1,10	14	4 тыс.	0,3
Воронеж	1,05	677	68 тыс.	6
Пермь	1,05	250	50 тыс.	5
Волгоград	1,00	31	7 тыс.	0,7

Хотя некоторые стихийные бедствия обладают разрушительной силой, они случаются нечасто, а менее серьёзные природные явления не требуют

использования специальных защитных сооружений (рисунок. 1). Поэтому защитные сооружения предназначены для противодействия средствам поражения современного оружия.



Рисунок 1 - Классификация защитных сооружений ГО [1, 2, 5-10]

Все убежища должны быть способны снижать уровень проникающей радиации с помощью ограждающих конструкций с коэффициентом ослабления, равным 1000. Кроме того, они должны обеспечивать защиту от избыточного давления во фронте сейсмозрывной волны, равного 100 килопаскалей. Важно отметить, что стандартные городские подземные сооружения рассчитаны на разрушение при давлении 70 килопаскалей.

Таким образом, налицо необходимость восстановления технического состояния действующих защитных сооружений в Российской Федерации. В условиях современной геополитической обстановки это является важнейшей задачей

Список литературы:

1. Федюк Р.С., Мочалов А.В., Лесовик В.С., Гридчин А.М., Фишер Х.Б. Композиционные вяжущие и самоуплотняющиеся фибробетоны для защитных сооружений/ Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2018. № 7. С. 77-85.
2. Пивоваров, Ю.Л. Основы геоурбанистики: Урбанизация и городские системы: учеб. пособ. / Ю.Л. Пивоваров - М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 1999. - 232 с.
3. 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 14.01.2025)

4. Соловьёв, В.Г. Анализ дефектов и повреждений железобетонных конструкций, характерных для подземных сооружений, на примере защитных сооружений гражданской обороны / В.Г. Соловьёв, Е.А. Шувалова, А.Ю. Орехова, А.А. Тюрина // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. Т. 9. № 1 (28). С. 124-133.

5. Abdullah M.A.H., Rashid R.S.M., Amran M., Hejazii F., Azreen N.M., Fediuk R., Voo Ye.L., Vatin N.I., Idris M.I. Recent trends in advanced radiation shielding concrete for construction of facilities: materials and properties. *Polymers*. 2022. Т. 14. № 14. С. 2830.

Федюк Г.Р. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЗАЩИТНЫМ ОБЪЕКТАМ

Федюк Герман Романович

*Дальневосточный федеральный университет; Политехнический институт; Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, 690922
Научный руководитель: Федюк Роман Сергеевич, д. т. н.*

Аннотация. Тезисно изложены современные требования к проектированию защитных объектов.

Ключевые слова: город, конструкция, подземное пространство, строительство.

Для оценки технического состояния действующих защитных сооружений и проектирования новых объектов гражданской обороны необходимо отталкиваться от актуальных средств поражения, применяемых противником [1]. Все убежища согласно [2] должны иметь степень ослабления проникающей радиации ограждающими конструкциями, равную 1000, и обеспечивать защиту от воздействия избыточного давления во фронте сейсмозрывной волны, **равного 100 кПа** (1 кгс/см²). Системы жизнеобеспечения убежищ должны обеспечивать непрерывное пребывание в них расчетного количества укрываемых в течение двух суток. Убежища следует располагать в местах наибольшего сосредоточения укрываемых, как правило, в зданиях наименьшей этажности, при этом должны предусматривать технические решения для обеспечения возможности выхода укрываемых из убежища в условиях завала прилегающей территории обломками разрушенных наземных зданий и сооружений [3].

Согласно военной доктрине РФ, несмотря на снижение вероятности развязывания против Российской Федерации крупномасштабной войны с применением обычных средств поражения и ядерного оружия, многие региональные конфликты на ряде направлений остаются неурегулированными [4]. Сохраняется большая вероятность их силового разрешения, включая регионы, граничащие с Россией.

В случае возникновения военного конфликта с применением обычных средств поражения (крупномасштабной или региональной войны), ставящего под угрозу само существование государства, обладание ядерным оружием может привести к ядерному военному конфликту [5] с применением современных средств поражения.

Современные средства поражения подразделяются на обычные средства поражения и оружие массового поражения (ОМП) [6]. Обычные средства поражения обладают повышенной разрушительной силой, приближающих их к ядерным боеприпасам малой мощности и большой дальностью применения. К таким средствам можно отнести боеприпасы объемного взрыва (вакуумные), которые занимает промежуточное положение между ядерными малой мощности и обычными (фугасными) боеприпасами. Температура в зоне детонации за несколько десятков микросекунд может достигать 2500-3000°C. По мощности современные средства поражения (обычные и ядерные боеприпасы) условно подразделяются на малые – мощностью до 15 кт, средние – 15-100 кт, крупные – 100-500 кт, сверхкрупные – свыше 500 кт. Различают взрывы воздушные, наземные и приземные, подземные и подводные.

Отдельное место в составе обычных средств поражения занимает высокоточное оружие, которое является особым классом обычного управляемого оружия. Эти боеприпасы способны поражать малоразмерные наземные цели, высокозащищенные, заглубленные и подземные сооружения. Принципиальное отличие высокоточного оружия состоит в том, что оно дает высокую вероятность поражения цели за счет прямого попадания в широком диапазоне дальности, в любое время суток, в сложных метеорологических условиях и при интенсивном противодействии противника. Характер поражающих факторов и размеры зон поражения зависят от мощности заряда, вида взрыва и других факторов [7].

Таким образом, учет поражающих факторов оружия потенциального противника позволит адекватно оценивать технические требования к защитным объектам.

Список литературы

1. Abdullah M.A.H., Rashid R.S.M., Amran M., Hejazii F., Azreen N.M., Fediuk R., Voo Ye.L., Vatin N.I., Idris M.I. Recent trends in advanced radiation shielding concrete for construction of facilities: materials and properties. *Polymers*. 2022. Т. 14. № 14. С. 2830.
2. Объекты гражданской обороны [Электронный ресурс]. Адрес доступа: <https://tu34.rosim.ru/press/229010> (дата обращения: 24.01.2025)
3. Федюк Р.С., Мочалов А.В., Лесовик В.С., Гридчин А.М., Фишер Х.Б. Композиционные вяжущие и самоуплотняющиеся фибробетоны для защитных сооружений. *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2018. № 7. С. 77-85.

4. Каммерер, Ю.Ю. Защитные сооружения гражданской обороны. Устройство и эксплуатация / Ю.Ю. Каммерер, А.К. Кутырев, А.Е. Харкевич. - М: Энергоатомиздат, 1985. - 232 с.

5. Баженов Ю.М., Федюк Р.С., Лесовик В.С. Обзор современных высокоэффективных бетонов. Научно-технические технологии и инновации. Электронный сборник докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. С. 45-49.

6. Зуев, А.М. Сейсмическое воздействие - поражающий фактор ядерного взрыва / А.М. Зуев // ОБЖ: Основы безопасности жизни. - 2015. - № 11. - С. 18-21.

7. Золоторева, В.С. Поражающие факторы ядерного взрыва // Физика и медицина: создавая будущее. Сборник материалов / В.С. Золоторева. - 2017. - С. 84-92.

Секция 3 - Вибродиагностика и виброналадка

Андрюхина П.А., Плаксин Р.А. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БАЛАНСИРОВКИ ТУРБИН МЕТОДОМ ДКВ

*Андрюхина Полина Александровна, Плаксин Роман Александрович
Дальневосточный федеральный университет, Политехнический институт
(школа), 690922, г. Владивосток*

Научный руководитель Портнова Олеся Сергеевна, к.т.н., доцент

Аннотация. В статье представлен обзор исследований, направленных на повышение эффективности методик балансировки роторов. Выявлены существующие проблемы, встречающиеся при проведении балансировочных работ. Предложен способ улучшения классического метода балансировки по динамическим коэффициентам влияния (ДКВ).

Ключевые слова: вибрация, балансировка, ротор, турбина, динамический коэффициент влияния, методы балансировки.

Введение

Балансировка роторного оборудования является важным процессом, влияющим на его надежность, эффективность и производительность.

Снижение вибрации, как основополагающая цель проведения балансировки, может осуществляться путем проведения статической или динамической балансировки ротора.

Вибрации, возникающие в турбинах, могут быть вызваны множеством различных причин. Однако наиболее распространенной является их дисбаланс.

Учитывая сложность конструкции турбин и габариты, среди существующих способов приведения ротора в отбалансированное состояние, наиболее подходящим для турбин является проведение динамической балансировки в собственных опорах.

В настоящее время проведение балансировки турбоагрегатов в собственных опорах занимает значительные временные и энергетические ресурсы.

В связи с этим исследования, направленные на повышение эффективности методов балансировки турбин, являются актуальными.

Цель данного исследования заключается в снижении энергетических и временных затрат при проведении балансировочных операций.

Для формулировки задач работы проведен обзор научных источников в области проблематики повышения эффективности методик балансировки.

Проблематика и основные задачи

По результатам анализа литературы определены научные центры, занимающиеся исследованиями в области проблематики балансировки. К ним относятся: Поволжский государственный университет сервиса (г. Тольятти), Пермский национальный исследовательский политехнический университет (г. Пермь), Санкт-Петербургский государственный университет (г. Санкт-Петербург), Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева (г. Казань), а также Белорусский государственный университет транспорта (г. Гомель) и Уральский государственный технический университет – УПИ (г. Екатеринбург).

Анализ результатов обзора показывает, что в основном исследования направлены на решение следующих проблем:

- повышение эффективности существующих методик балансировки;
- повышение качества измеряемых при балансировке параметров.

Настоящая работа проводится в рамках решения первой проблемы.

Поскольку наиболее распространенным методом является балансировка по динамическим коэффициентам влияния (ДКВ), работа направлена на повышение эффективности этого метода.

Цифровые технологии

Одним из вариантов устранения недостатков классических методов балансировки должно стать применение новых подходов: в современном мире большую роль могут сыграть цифровые технологии.

Цифровая трансформация сегодня затрагивает все сферы жизни, науки и техники.

Применяются цифровые технологии и при расчетах динамики роторов и балансировки [5,6,8].

Применение цифровых моделей реальных объектов роторов, учитывающих все характеристики объекта, дает возможность заменить физический эксперимент на виртуальный. Без использования большого количества пусков турбины цифровые технологии могут позволить уменьшить недостатки балансировки методом ДКВ.

Дальнейшее исследование работы направлено на создание расчетной схемы турбин, по параметрам которой будут разработаны критерии подобия, определяющие конкретное значение динамических коэффициентов. На основании разработанной схемы будет создан цифровой двойник и проведен

численный эксперимент. Проверка адекватности полученных результатов будет осуществляться физическим экспериментом на реальных установках.

Практической значимостью работы станет инженерная методика определения теоретических ДКВ.

Список литературы

1. Вибрации в технике: Справочник: В 6 т. Т. 6: Защита от вибрации и ударов/ [В.К. Асташев, В.И. Бабицкий, И.И. Быховский и др.]. Москва: Машиностроение, 1981. 456 с.

2. Гольдин А.С. Вибрация роторных машин. Москва: 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. Москва: Наука, 1973. С. 99–103.

4. Диментберг Ф.М., Шаталов К.Т., Гусаров А.А. Колебания машин. Москва: Машиностроение, 1964. 220 с.

5. Портнова О.С., Грибиниченко М.В., Плаксин Р.А., Андрюхина П.А. Комплексная методика диагностики и наладки судового энергетического оборудования. Труды Крыловского государственного научного центра. 2024; 4(410): 132-136.

6. Терешко А.Г., Леонтьев М.К., Шапошников К.В., Дегтярев С.А. Перспективы использования цифрового двойника авиационного двигателя для расчетов динамики роторов. Перспективы развития двигателестроения: материалы международной научно-технической конференции имени Н.Д. Кузнецова, 21–23 июня 2023 г. В 2 томах, том 1. – Самара: Издательство Самарского университета, 2023. – С.144 - 146.

7. Шепетильников А.В. Балансировка машин и приборов. Москва: Машиностроение, 1979. 294 с.

8. Inozemtsev, A.A., Shaposhnikov, K.V., Degtyarev, S.A., Leontiev, M.K., Gladkiy, I.L. (2024). Investigation on Information Assessment for Vibration Sensor Locations Installed in Aero-Engine Based on Unbalance Response Analysis. In: Chu, F., Qin, Z. (eds) Proceedings of the 11th IFToMM International Conference on Rotordynamics. IFToMM 2023. Mechanisms and Machine Science, vol 140. Springer, Cham.

Ле Куй Вьет, Морковин А.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ОСНОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ПО КРИТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТЕ

Ле Куй Вьет, Морковин Андрей Витальевич

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

Научный руководитель: Грибиниченко Матвей Валерьевич, доцент, к.т.н.

Аннотация: В данной статье представлен методический подход к оценке жесткости оснований оборудования, основанный на критической скорости вращения. С помощью цифрового двойника создается сбалансированная модель вращения, в которой настраиваются параметры жесткости для соответствия критическим частотам. Для анализа и оптимизации прочности конструктивных элементов используется программное обеспечение Ansys. Результаты работы позволяют точно адаптировать модель, что способствует улучшению соответствия цифровой модели оригиналу.

Ключевые слова: модальный анализ, гармонический анализ, балансировка верификация модели, цифровой двойник.

1. Введение

Цифровые двойники представляют собой виртуальные модели, которые точно воспроизводят характеристики и поведение реальных систем. В контексте исследования методов цифровой балансировки роторных механизмов, применение цифровых двойников становится важным инструментом для анализа и оптимизации процесса балансировки. Эти модели позволяют прогнозировать поведение системы, проводить тестирование различных сценариев и вносить изменения в конструкцию до создания физического прототипа.

Данное исследование сосредоточено на разработке и улучшении методов цифровой балансировки роторных механизмов с использованием программного обеспечения ANSYS. ANSYS [1] предлагает мощные инструменты для создания и анализа цифровых двойников, что позволяет проверять и оптимизировать балансировку роторных систем в виртуальной среде.

Цель исследования заключается в подборе жесткости оснований оборудования на основе первой критической частоты вращения, чтобы обеспечить соответствие цифрового двойника реальным экспериментальным данным. Анализ соответствия между поведением виртуальной модели и реальной системой может значительно улучшить процесс балансировки роторных механизмов [2]. Это необходимо для достижения точного совпадения амплитуды и фазы колебаний в цифровом двойнике [3] с реальным объектом, что является ключевым для его практического применения.

2. Вращающаяся система для физических экспериментов

Лабораторный стенд (рис. 1) состоит составного ротора длиной 1940 мм и диаметром 26 мм, ротор состоит из трех валов длины которых соответственно равны 641мм, 643 мм и 651 мм, которые соединены полумуфтами диаметром 81мм. На роторе на расстояниях 317 мм, 985 мм, 1581 мм и 1885 мм от вала мотора установлены диски (плоскости коррекции) диаметром 250 мм и толщиной 15мм. На боковой поверхности каждого диска на расстоянии 115мм от центра расположены 48 отверстий диаметром 7мм, расстояние между отверстиями составляет 7,2 градуса

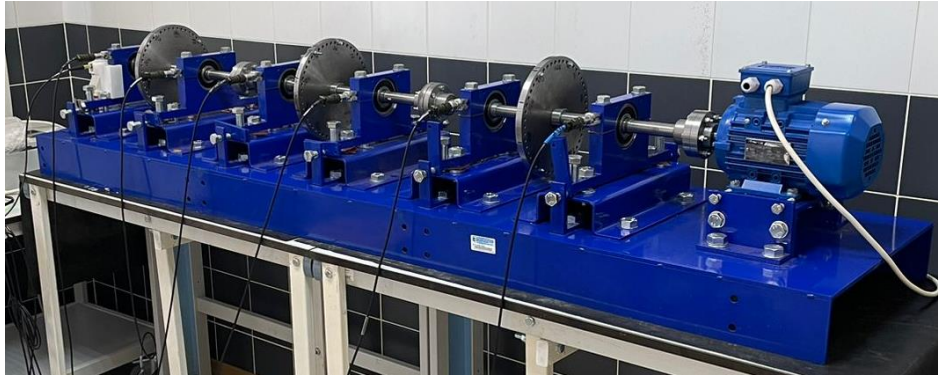


Рисунок 1. Модель экспериментальной установки.

На рис. 2 показана предложенная схема измерения вибрации, примененная в данном исследовании. В состав системы входят датчики вибрации установленные на опорах, направление измерения датчика горизонтальное. Таходатчик устанавливается на кронштейне, прикрепленном непосредственно к основанию системы магнитом. Таходатчик и акселерометр соединены измерителем СД ВАСТ-21 для измерения параметров. Грузы установлены на отверстиях дисков 1 и 3 системы.

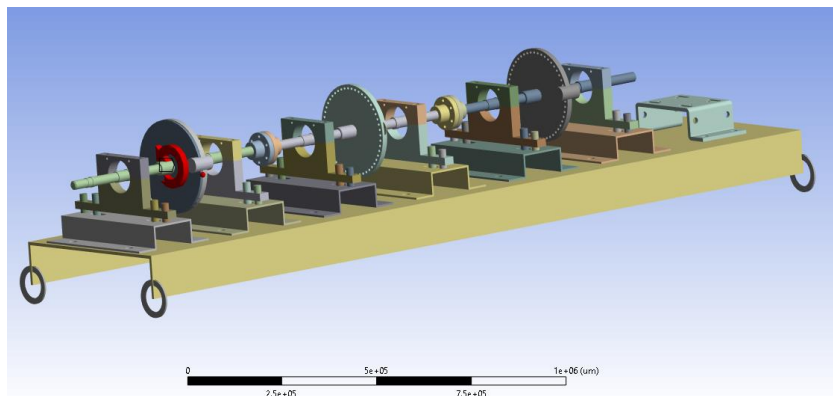


Рисунок 2. Цифровая модель.

Процесс проведения эксперимента:

1. Установка таходатчика. Необходимо обратить внимание на калибровку таходатчика, 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.

Для решения поставленной задачи, помимо основных компонентов колеблющейся системы, таких как электродвигатель, валы и диски, измерения проводились с использованием виброметра VAST СД – 21, который был подключен к коммутатору. К этому устройству также присоединялись вибропреобразователи, установленные на опорах, а также датчик оборотов, закрепленный на фундаменте. С помощью вибропреобразователей

фиксируются виброперемещения (как горизонтальные, так и вертикальные) и фазы. Сигнал от таходатчика, измеряющего скорость вращения вала, поступает в виброанализатор для последующей обработки собранных данных.

Снятие выбега установки

Результаты измерений показаны на рис. 3. В фазе колебаний результатов измерений видно, что фазы плавно поворачиваются на 180 градусов начиная с частоты 10 Гц заканчивая на частоте 12 Гц. Сравнение амплитуды колебаний отчетливо показывает резкий рост, а затем снижение. Следовательно, можно определить, что на частоте 10,8 Гц возник резонанс, что является свойством системы, состояние которой измеряется экспериментально.

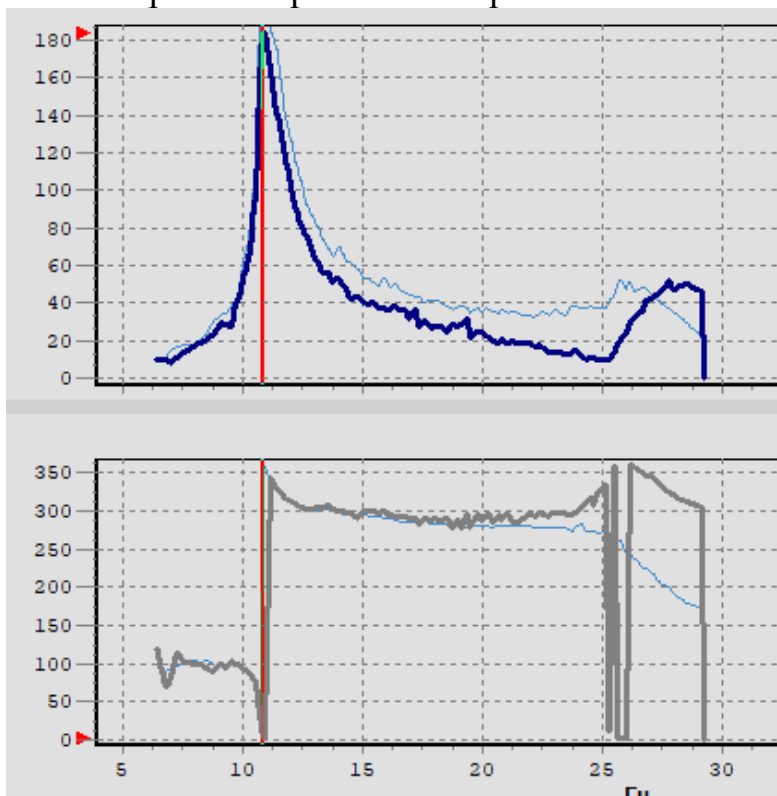


Рисунок 3. Результаты снятия выбега установки.

3. Моделирование в ANSYS

Модель строилась в решателе гармонических колебаний Harmonic Response, частота вращения ротора 7 Гц. Чтобы имитировать жесткость фундамента, два торца фундамента были выбраны в качестве центров через соединение Bearing to ground. Чтобы моделировать жесткость фундамента, два края фундамента были выбраны в качестве центров через соединение «опора на землю», а точки A,B,C,D — в качестве центров на двух концах двух краев. выбрать Их жесткость выбирается параметрами Stiffness K11(горизонтально) и Stiffness K12(вертикально).

После настройки всех параметров и установки ограничений на 3D-элементы вращающейся системы был выполнен модальный анализ в ANSYS. Этот анализ позволяет проверить, соответствует ли собственная частота системы, определенная после настройки жесткости опор, реальным условиям. Результаты показали, что смоделированная система соответствует реальной, и первая

резонансная частота составляет 10,8 Гц, вторая 27,8 Гц. Это подтверждает высокую точность моделирования и надежность выбранных параметров для достижения точного соответствия с экспериментальными данными.

В системе анализа Harmonic Response необходимо установить Rotating Force на двух дисках для подвешивания тяжелых предметов. Эти инструменты размещаются в соответствии с параметрами массы и угла установки. Анализ гармонического отклика является важным методом для определения реакций системы на периодические нагрузки. В Ansys данный анализ позволяет определить частотные характеристики системы, включая амплитуду и фазу отклика при различных частотах возбуждения. Это особенно важно при проектировании систем, где необходимо учитывать влияние резонансных частот, чтобы избежать возможных разрушительных вибраций. Результаты, касающиеся амплитуды и фазы колебаний на опоре, будут представлены в разделе "Частотный отклик".

4. Сравните результаты эксперимента и программу Ansys.

Результаты экспериментальных измерений и результаты моделирования в программе Ansys представлены на рис. 4. До и после резонанса имитационные модели часто имеют небольшие и более предсказуемые амплитуды колебаний, что помогает сравнить их с реальностью и убедиться в правильности. На частоте 7 Гц разница амплитуд составляет 1–2 мкм, а на частоте 12 Гц — 10 мкм. Таким образом, можно сказать, что мы получили адекватную модель.

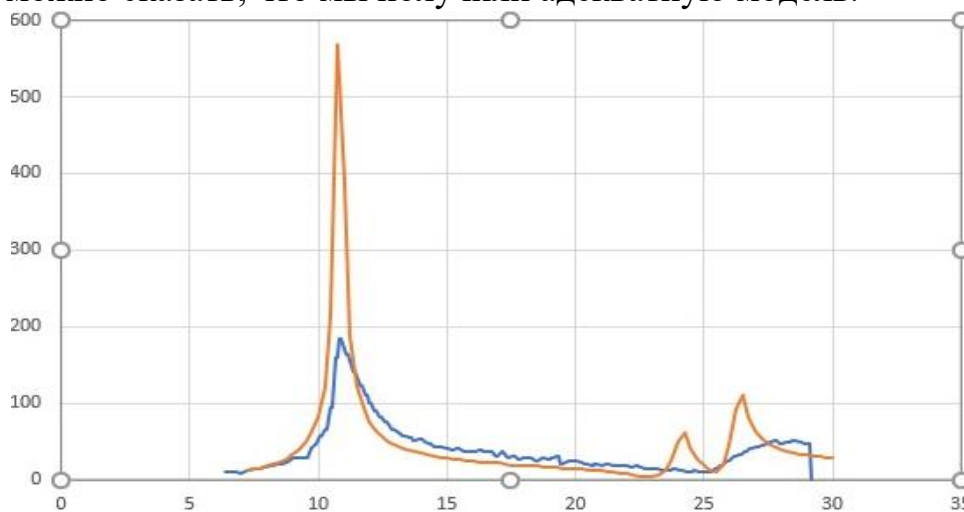


Рисунок 4. График распределения Амплитуд по частоте: синяя линия – эксперимент, оранжевая линия результат моделирования.

5. Заключение.

Выполнено исследование выбора жесткости оснований оборудования, основываясь на первой и второй критических частотах вращения. Средняя ошибка амплитуды на опорах модели по сравнению с экспериментальными данными составила 4 мкм, что не превышает амплитуду колебаний сбалансированной экспериментальной установки.

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. Миронов Д.А., Ламм А.К., Расулов Р.К. Обзор программных продуктов разработки цифровых двойников // Вестник Национального института бизнеса. 2022. Вып. № 4 (48). С. 12–27

Васютина А.А., Нестеренко И.А., Изотов Н.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ СТЕНДА ДЛЯ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Васютина Анастасия Александровна, Нестеренко Иван Алексеевич, Изотов Николай Владимирович

*ДВФУ, Политехнический институт (Школа), Инженерный департамент, отделение машиностроения, морской техники и транспорта
690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10
Научный руководитель Портнова Олеся Сергеевна к.т.н., доцент*

Аннотация. Разработан расчёт для получения собственных форм колебаний фундамента, опоры и роторов. В статье приведен литературный обзор по изгибным колебаниям и методы модального анализа. Модальный анализ проводится для разрабатываемого объекта – лабораторного стенда.

Ключевые слова: модальный анализ, критическая частота, цифровой двойник, форма колебания.

Введение.

На этапах проектирования роторных машин, важно определить критические частоты вращения. Критическая частота – частота колебаний системы, при достижении которой проявляется одна из собственных форм колебаний. [1]

Снизить потребность в вычислительных ресурсах при поиске критических частот ротора можно средствами модального анализа. Данный вид анализа применяется также при определении форм колебаний, соответствующих критическим частотам. В его основе лежат функции, содержащие только параметры системы. Модальный анализ способствует созданию приближенной к действительности модели исследуемого объекта. [2]

Использование модального анализа предоставляет возможность проводить балансировку роторов на критических частотах и преодолевать её с безопасными и стандартизированными амплитудами, избегая при этом возникновения повышенной вибрации и повышенных температур.

Модальный анализ

Одним из современных методов определения динамических параметров системы, таких как формы колебаний, является модальный анализ. Модальный

анализ применяется при аналитических исследованиях объектов и в ходе реальных экспериментов [3].

Цифровая модель стенда для изгибных колебаний

В целях исследования изгибных колебаний роторов, была разработана цифровая модель стенда (рис. 1). Для проведения запланированных экспериментов с его помощью необходимо, чтобы критические частоты ротора стенда были ниже критических частот системы: фундамент-опорная рама-опоры. В качестве фундамента используется жёсткая заделка в бетон.

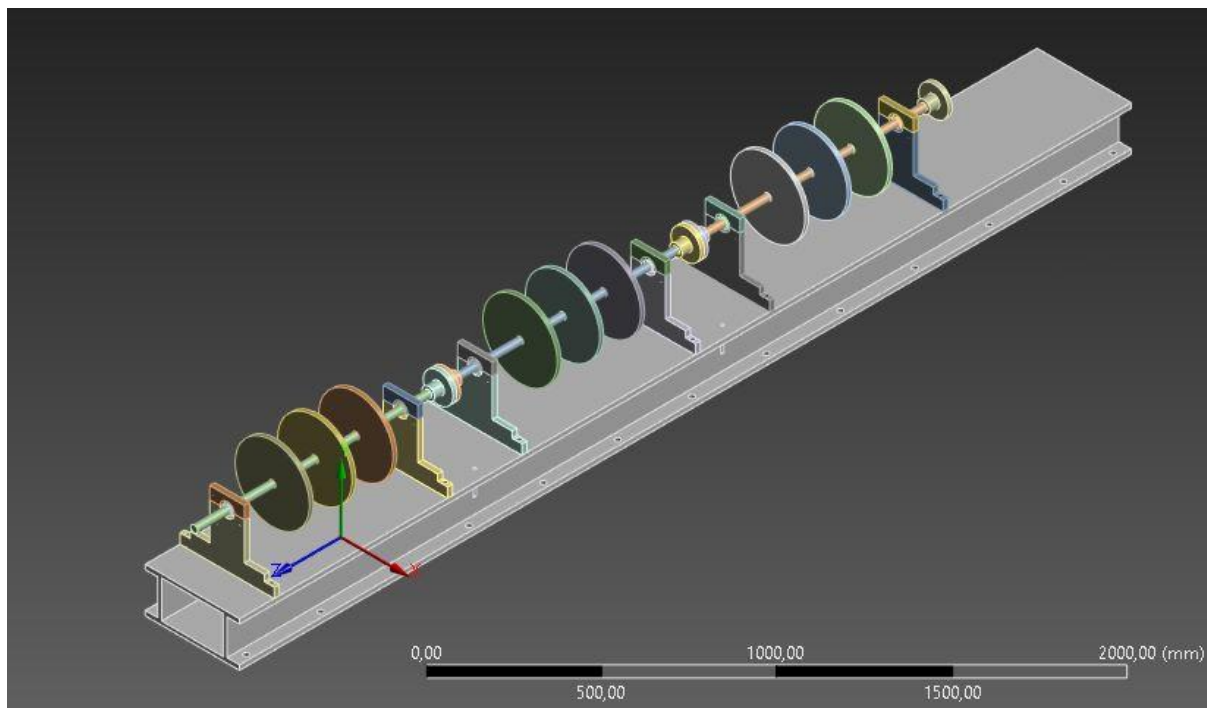
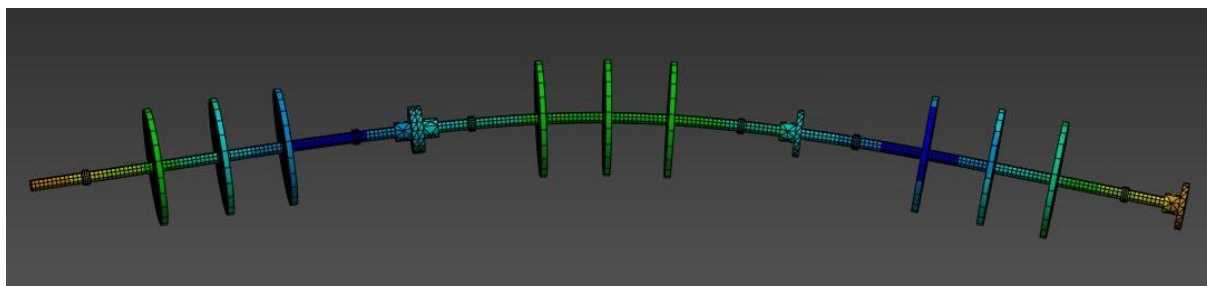


Рисунок 1. Цифровая модель стенда

Исследование ротора

Цифровая модель ротора была импортирована в Fidesys, заданы граничные условия и проведён анализ собственных частот колебаний. Результаты расчёта представлены ниже (рис. 2).

(A)



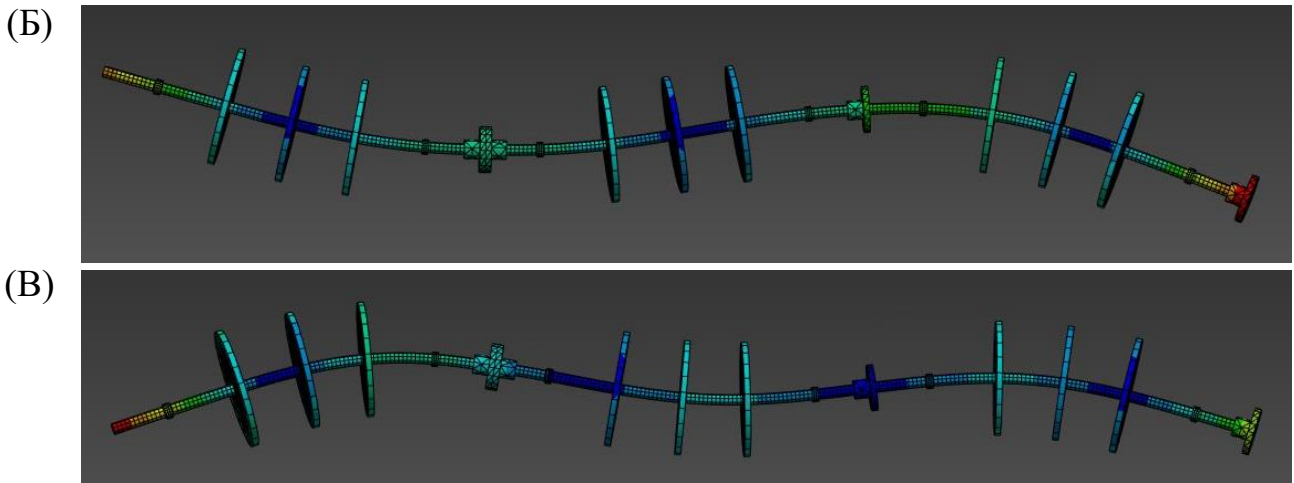


Рисунок 2. Формы собственных колебаний фундамента: А) Первая форма (7,75 Гц); Б) Вторая форма (21,18 Гц); В) Третья форма (31,93 Гц).

Исследование фундамента

Цифровая модель фундамента была импортирована в Fidesys, заданы граничные условия и проведён анализ собственных частот колебаний. Результаты расчёта представлены ниже (рис. 3).

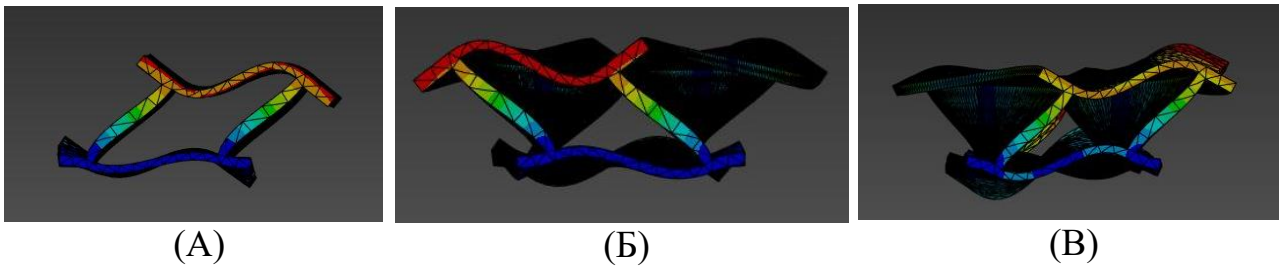


Рисунок 3. Формы собственных колебаний фундамента: А) Первая форма (299,95 Гц); Б) Вторая форма (357,81 Гц); В) Третья форма (490 Гц).

Исследование опор

Цифровая модель опоры была импортирована в Fidesys, заданы граничные условия и проведён анализ собственных частот колебаний. Результаты расчёта представлены ниже (рис. 4).

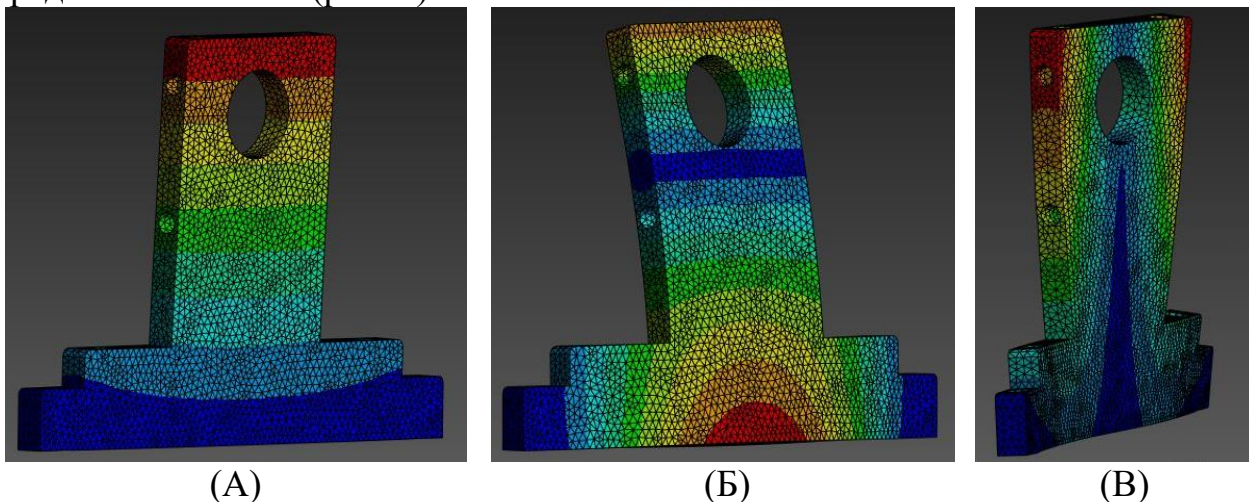


Рисунок 4. Формы собственных колебаний фундамента: А) Первая форма (122,39 Гц); Б) Вторая форма (601,75 Гц); В) Третья форма (850,83 Гц).

Заключение.

При исследовании цифровой модели стенда важными являются итоговые собственные частоты системы, состоящие из собственных частот элементов: ротора, фундамента и опор. Дальнейшие исследования изгибных колебаний в области модального анализа будут проведены с использованием вышеуказанной цифровой модели, с последующим изготовлением на основе имеющихся данных реального стенда.

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. К.Ю. Кравченко; С.С. Кугаевский; М.П. Журавлёв; Д.М. Элькинд Операционный модальный анализ для определения собственных частот колебаний / Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение – 2017
4. Портнова О.С., Изотов. Н. В., Васютина, А. А., Лапин, Ю. А. Разработка программного обеспечения для проведения модального анализа / Инженерное дело на Дальнем Востоке России Материалы конференции. – Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2024. – С. 506-512.
5. Гребенников М.Н. Расчет многопролетных неразрезных балок. Уравнение трех моментов: учеб. пособие / М. Н. Гребенников, А. Г. Дибир, Н. И. Пекельный. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2010. – 46 с
6. Сопротивление материалов [Электронный ресурс]: Методические указания к практическим занятиям и самостоятельной работе по направлению подготовки 08.03.01 Строительство / сост. Ж.Г. Могилюк ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, кафедра прикладной математики. — Электрон. дан. и прогр. (1,9 Мб). — Москва: Издательство МИСИ – МГСУ, 2020

Клименко Е.В., Комаров Д.А. РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ГЛАВНОГО ПРОПУЛЬСИВОВОГО КОМПЛЕКСА

*Клименко Екатерина Викторовна, Комаров Денис Андреевич
ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»
Политехнический институт (школа)*

Аннотация. В статье рассматривается процесс разработки стенда главного пропульсивного комплекса (ГПК), который предназначен для испытаний и исследований дефектов, возникающих в ходе эксплуатации. Основное внимание уделяется моделированию стенда, его функциональным возможностям. возможность создания данного стенда несет в себе перспективы развития диагностики и ускорению процесса выявления неполадок в будущем. в статье описаны ключевые этапы проектирования, включая выбор оборудования, разработку и обеспечение безопасности на испытаниях. главный акцент обращает внимание на важность создания универсального стенда, который сможет адаптироваться под различные типы задач. Результаты испытаний, проведенные на стенде, подчеркивают его эффективность и перспективность, что открывает новые горизонты для исследований в области диагностики крутильных колебаний и вибрации, а также дальнейшей оптимизации пропульсивных систем.

Ключевые слова: пропульсивный комплекс, морские суда, мощность, техническое обслуживание, диагностирование, методика, прототип

Диагностика работы судна. Диагностика способствует повышению эффективности, повышению безопасности использования, а также снижению затрат.

Актуальность разработки стенда главного пропульсивного комплекса заключается в возможности исследования основных дефектов, возникающих в системе, такие как: крутильные колебания, повышенная вибрация, дефекты винта, нарушение работы двигателя и так далее. стенд для диагностики включает в себя возможность создания решения этих проблем с наименьшими затратами.

Цель работы: Разработка стенда, для исследования крутильных колебаний и вибраций главного пропульсивного комплекса.

Задачами работы являются:

1. Провести анализ аналогов данных стендов.
2. Сформулировать перечень функциональных возможностей стенда.
3. Сформулировать перечень технических требований, которым должен соответствовать стенд.
5. Разработать техническое задание для создания стенда (компоновка, рама стенда)
6. Изготовление прототипа стенда.
7. Протестировать прототип.

Стенд должен обеспечивать исследование взаимного влияния элементов главного пропульсивного комплекса: главного двигателя (СДВС), редуктора, валопровода (валы и подшипники), гребного винта.

Главный двигатель:

- дефекты топливной аппаратуры;
- дефекты подшипников;

- дефекты механизма газораспределения;

Редуктор:

- дефекты зубьев;

- расцентровка редуктора;

Валопровод:

- дефекты подшипников;

- дефекты валов (расцентровка);

Гребной винт:

- дефекты лопастей

Также на стенд должна быть установлена система мониторинга технического состояния ГПК включающая:

- датчики вибрации, расхода топлива, крутящего момента (мощности на валу), частоты вращения валопровода, температуры подшипников, давления масла в системе.

Стенд для исследования ГПК включает в себя следующие элементы (рис. 1).

1. Силовая установка
2. Редуктор
3. Валопровод
4. Гребной винт
5. Цистерну с водой
6. Рама для установки стенда

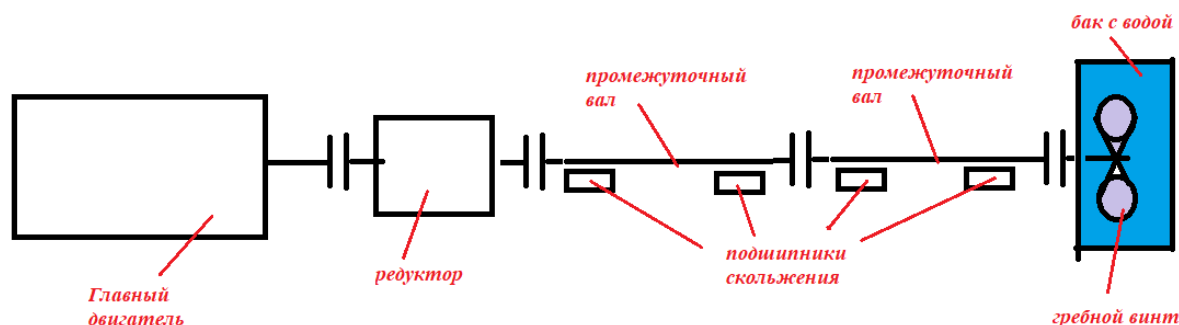


Рисунок 1. Схема стенда

Рама для установки стенда проектируется отдельно и должна учитывать габаритные размеры всех элементов, для правильной установки. Также рама должна обеспечить достаточную жесткость.

В качестве силовой установки используется автомобильный двигатель «2L» мощностью 96 л.с. на дизельном топливе и частотой вращения 2400 об/мин.

Для редуктора была выбрана МКПП подобранная к установленному двигателю.

В качестве валопровода и винта для стенда, используется валопровод с катерного судна.

Цистерна проектируется отдельно, с учетом высоты валопровода.

Выявление влияния крутильных колебаний на проектируемом стенде.

Первичная цель расчета крутильных колебаний судовых энергокомплексов – определение запретных зон и их допустимости. Так же в процессе расчета

вычисляются напряжения от крутильных колебаний на всем диапазоне рабочих частот, предусмотренных для данной установки.

Основной задачей расчета стэнда состояла в выявлении крутильных колебаний на будущем стэнде.

Для выполнения поставленной задачи, в качестве методики расчета использовался – «Метод цепных дробей (Таблица Терских)» [1, 2] (рис. 2).

$H_{11} := -\Theta_1 \cdot \Delta$	$H_{11} := H_1$	$a_1 := 1$
$E_{12} = 1$	$\frac{1}{H_{11}}$	$E_{12,1} := E_{12} + \frac{1}{H_{11}}$
		$\delta_{12} := a_1 \cdot H_{11} = -3 \times 10^{-4}$
$H_{22} := -\Theta_2 \cdot \Delta$	$H_{21} := H_2 + \frac{1}{E_{12,1}}$	$a_2 := \delta_{12} \cdot E_{12,1}$
$E_{23} = 0.619$	$\frac{1}{H_{21}}$	$E_{23,1} := E_{23} + \frac{1}{H_{21}}$
		$\delta_{23} := a_2 \cdot H_{21} = -3.216$
$H_{33} := -\Theta_3 \cdot \Delta$	$H_{31} := H_3 + \frac{1}{E_{23,1}}$	$a_3 := \delta_{23} \cdot E_{23,1}$
$E_{34} = 0.619$	$\frac{1}{H_{31}}$	$E_{34,1} := E_{34} + \frac{1}{H_{31}}$
		$\delta_{34} := a_3 \cdot H_{31} = 20.716$
$H_{44} := -\Theta_4 \cdot \Delta$	$H_{41} := H_4 + \frac{1}{E_{34,1}}$	$a_4 := \delta_{34} \cdot E_{34,1}$
$E_{45} = 0.619$	$\frac{1}{H_{41}}$	$E_{45,1} := E_{45} + \frac{1}{H_{41}}$
		$\delta_{45} := a_4 \cdot H_{41} = -17.363$
$H_{55} := -\Theta_5 \cdot \Delta$	$H_{51} := H_5 + \frac{1}{E_{45,1}}$	$a_5 := \delta_{45} \cdot E_{45,1}$
$E_{56} = 0.619$	$\frac{1}{H_{51}}$	$E_{56,1} := E_{56} + \frac{1}{H_{51}}$
		$\delta_{56} := a_5 \cdot H_{51} = -43.529$
$H_{66} := -\Theta_6 \cdot \Delta$	$H_{61} := H_6 + \frac{1}{E_{56,1}}$	$a_6 := \delta_{56} \cdot E_{56,1}$
$E_{67} = 0.619$	$\frac{1}{H_{61}}$	$E_{67,1} := E_{67} + \frac{1}{H_{61}}$
		$\delta_{67} := a_6 \cdot H_{61} = 39.7$

Рисунок 2. Таблица Терских

В качестве вспомогательного ПО использовались:

1. AutoCad;
2. MathCad;
3. SolidWorks;

Для постановления заключения о наличии запретных зон на проектируемом стэнде использовались правила Российского Морского Регистра Судоходства, для расчета допустимых напряжений на участках рассчитываемой системы (рис. 3).

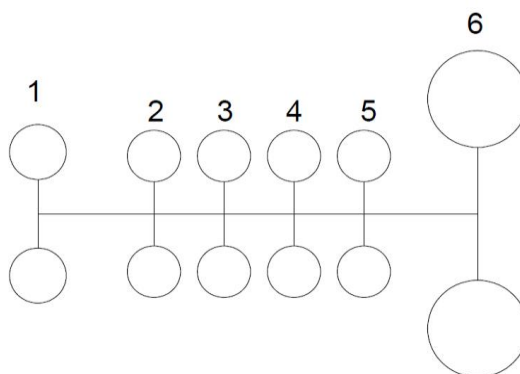


Рисунок 3. Дискретная схема двигателя 2L

В ходе расчета силовой установки двигателя была выявлена первая собственная форма колебаний на частоте 40 Гц (рис. 4)

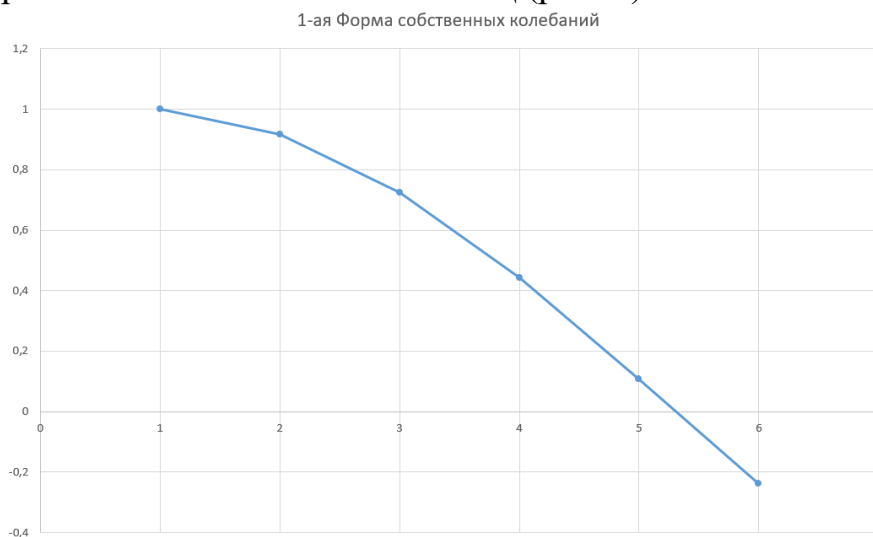


Рисунок 4. Форма колебаний на частоте 40 Гц

В данной работе был применен метод расчета крутильных колебаний для диагностики и анализа судовых главных пропульсивных комплексов. По результатам расчета на двигателе «2L» не было выявлено запретных зон.

Была проведена проектировка рамы для установки стенда исследований ГПК и расчет рамы на прочностные характеристики, для исправной работы стенда исследований ГПК, сформулирован перечень технических требований к стенду и перечень его функциональных возможностей.

Данная работа несомненно имеет перспективу, как средство по повышению эффективности, повышению безопасности использования судовых пропульсивных комплексов.

Список литературы

1. Истомин П.А. Крутильные колебания в судовых ДВС: учебное пособие. Ленинград, 1968. 303 с.
2. Ефремов Л.В. Теория и практика исследований крутильных колебаний силовых установок с применением компьютерных технологий. – СПб.: Наука, 2007. - 276с.

Лойко Д.В. ВЫДЕЛЕНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАЗНОЙ ПРИРОДЫ ИЗ СИГНАЛА ВИБРАЦИИ

Лойко Дмитрий Владимирович

ДВФУ, Политехнический институт, Департамент морской техники и транспорта, Приморский край, город Владивосток, остров Русский, п Аякс, д. 10, 690922

Научный руководитель: Куценко Наталья Владимировна, канд. техн. наук

Аннотация. Основная сложность при измерении вибрации любого механизма – составляющая случайной вибрации и фонового шума, через который определить значимую составляющую и сделать верное диагностическое заключение весьма непросто. И если выделить значимые составляющие вибрации методом предварительного расчета единичного исправного механизма не является выдающейся задачей, то для определения уровня дефекта по амплитуде вибрации, особенно если механизм сложного устройства, с большим количеством подвижных частей, или работает в связке с другими, необходимо убрать паразитные составляющие вибрации, не несущие необходимой диагностической информации.

В данной статье рассмотрено выявление прямого спектра вибрации крыльчатки охлаждения электродвигателя из временного сигнала, сравнение результатов влияния на электродвигатель при вибрационной диагностике.

Ключевые слова: вибрационная диагностика, вибрация, амплитуда, частота, спектр вибрации

Основная сложность при измерении вибрации любого механизма – составляющая случайной вибрации и фонового шума, через который определить значимую составляющую и сделать верное диагностическое заключение весьма непросто [1]. И если выделить значимые составляющие вибрации методом предварительного расчета единичного исправного механизма не является выдающейся задачей, то для определения уровня дефекта по амплитуде вибрации, особенно если механизм сложного устройства, с большим количеством подвижных частей, или работает в связке с другими, необходимо убрать составляющие вибрации, не несущие необходимой диагностической информации [2].

Исследование влияния крыльчатки охлаждения на вибрацию всего электродвигателя проводилось на лабораторной установке с асинхронным двигателем 5АИ 80А2 У2 мощностью 1,5 кВт, и скоростью вращения 2840 об/мин. Крыльчатка охлаждения выполнена из пластика с 6 лопатками [3].

Измерения вибрации проводились при помощи пьезо-датчиков с диапазоном от 0 до 10 кГц, запись сигнала с частотой дискретизации 25 кГц. Единицы измерения - ускорение м/с².

На временном спектре вибрационного сигнала (рис. 1), наблюдается повышение вертикальной вибрации относительно других направлений, в то время как с демонтированной крыльчаткой спектры примерно равны по уровню. Причиной такого поведения крыльчатки вероятнее всего является дефект изготовления крыльчатки и отклонения формы.

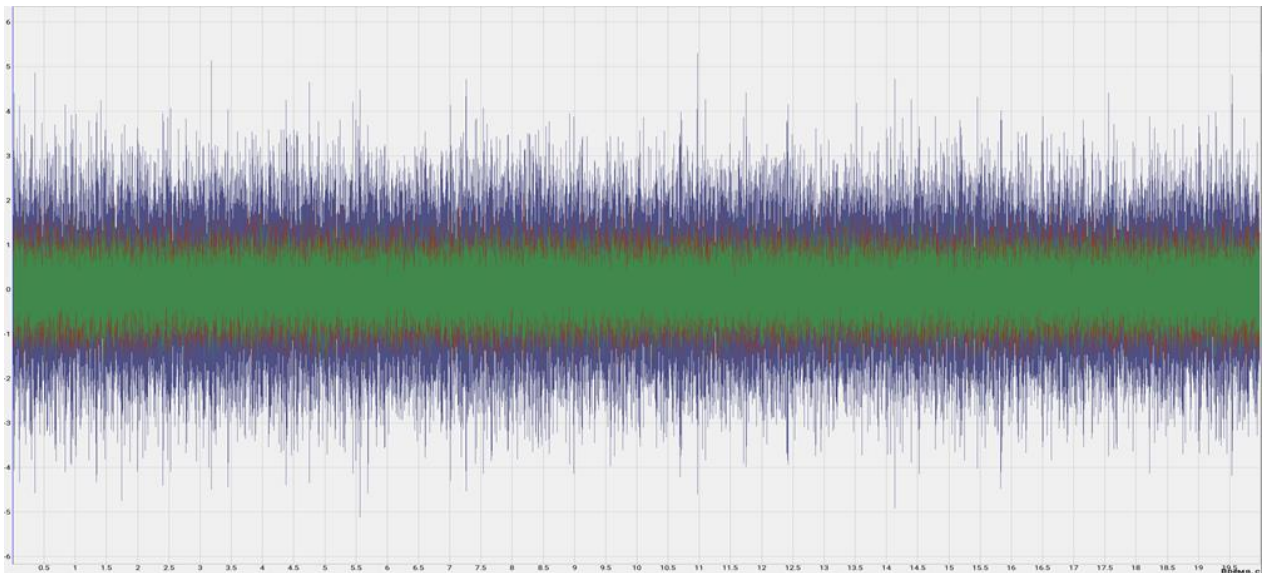


Рисунок 1. Временной сигнал вибрации электродвигателя:
 Синий – Вертикальное направление, Красный – горизонтальное направление,
 Зеленый – осевое направление

Временные спектры имеют единую частоту дискретизации и длину, что позволило провести математические преобразования над сигналом. Убрав вибрационный сигнал электродвигателя из временного спектра вибрации электродвигателя с крыльчаткой, получены автоспектры (прямые спектры) вибрации крыльчатки. В последствии сигнал крыльчатки может быть убран из временного сигнала повысив качество обнаружения дефектов электродвигателя.

Так как вибрация от крыльчатки может передаваться ротору и подшипникам с обратной стороны двигателя (точка 2), было проведено сравнение спектров.

На рис. 2 в частотном диапазоне наблюдаются составляющие на частотах около 100 Гц (вторая оборотная частоты вращения), 1000Гц, 4700Гц и 9100Гц. Уровни амплитуд общего фона практически не превышают 0,1 м/с².

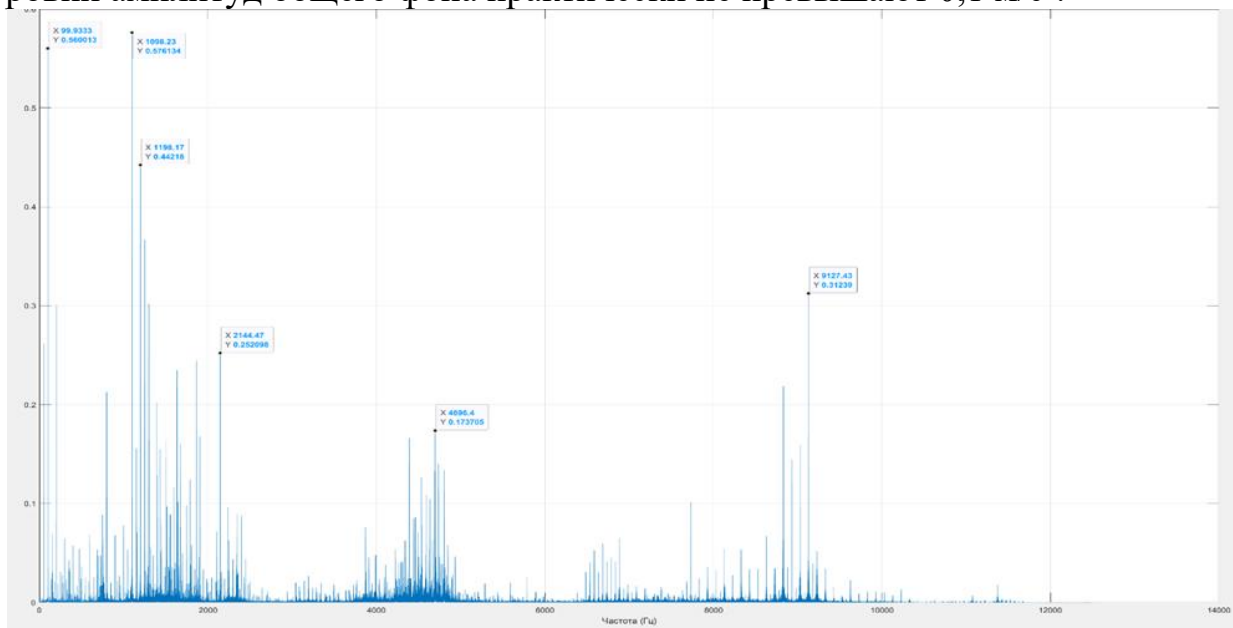


Рисунок 2. Спектр вибрации крыльчатки в точке 1 в вертикальном направлении

Отдельные пики достигают до $0,6 \text{ м/с}^2$, что может исказить диагностическую информацию при анализе спектра вибрации, например, подшипника качения, и дать неверный вывод о текущем состоянии механизма.

На рис. 3 в точке 2 наблюдаются аналогичные пики амплитуд в районах 2300 Гц , 4700 Гц , и 9000 Гц , однако на частоте 2300 Гц уровень амплитуды выше $0,8 \text{ м/с}^2$.

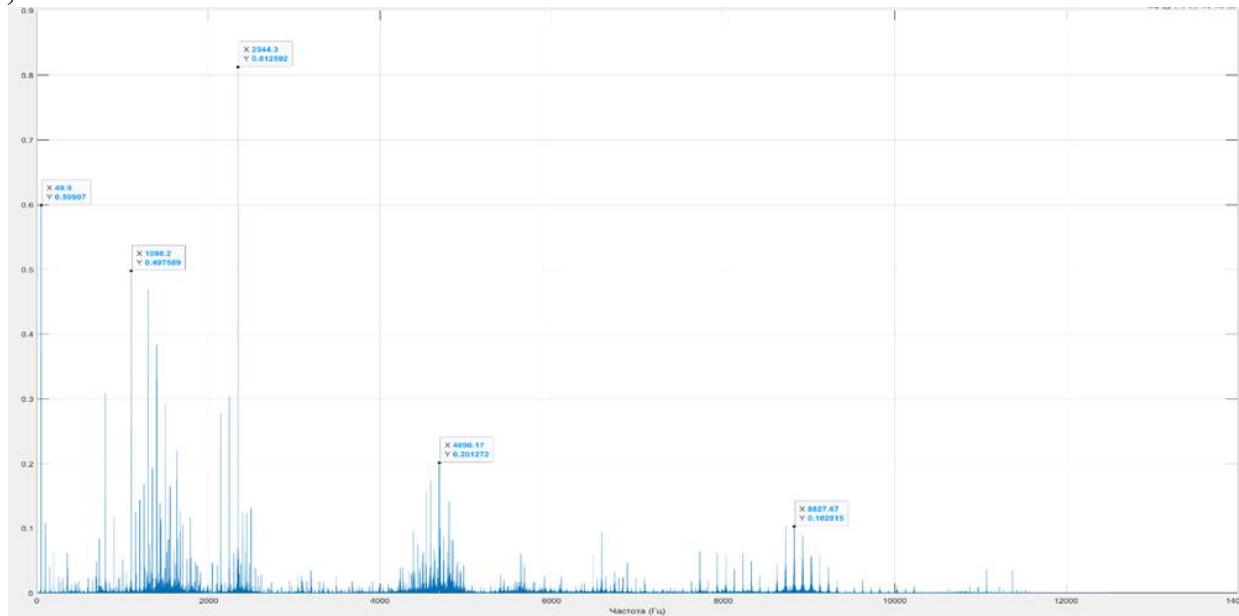


Рисунок 3. Спектр вибрации крыльчатки в точке 2 в вертикальном направлении

На рис. 4 в горизонтальном направлении уровень общего шума ниже, однако при этом наблюдается повышение амплитуд ускорения до $1,4 \text{ м/с}^2$ на частоте 200 Гц . Данное повышение в области частот вращения подшипников качения также может быть критичным для определения состояния механизма.

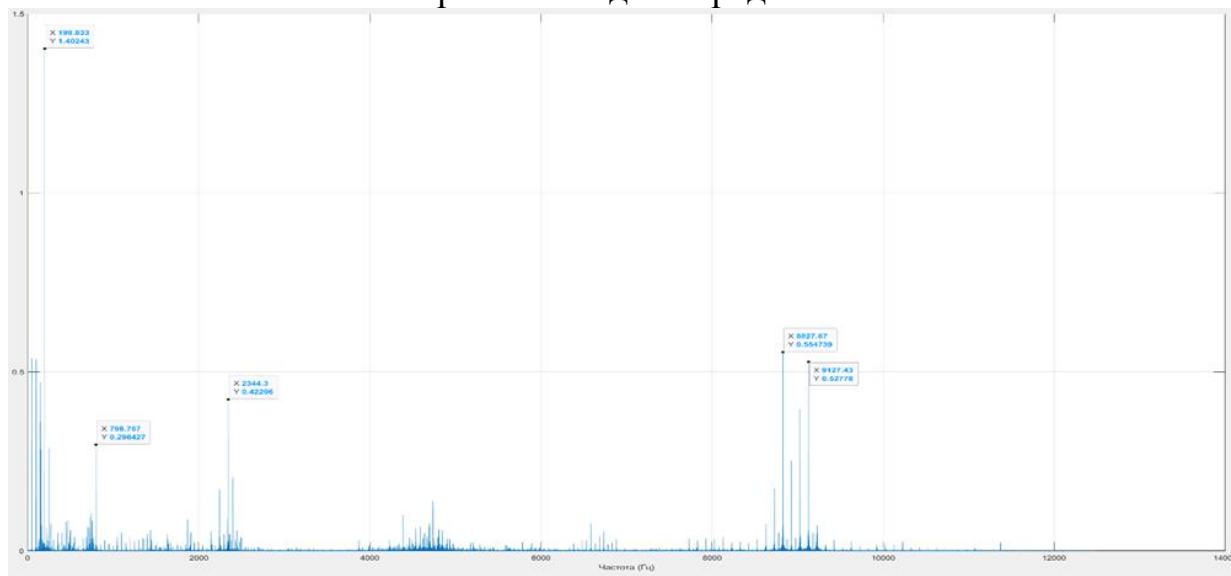


Рисунок 4. Спектр вибрации крыльчатки в точке 1 в горизонтальном направлении

С противоположной стороны электродвигателя в горизонтальном направлении уровни амплитуд не превышают $0,3 \text{ м/с}^2$, что ниже, чем в точке 1,

что позволяет сделать вывод о слабом влиянии крыльчатки на 2 точку в горизонтальном направлении (рис. 5).

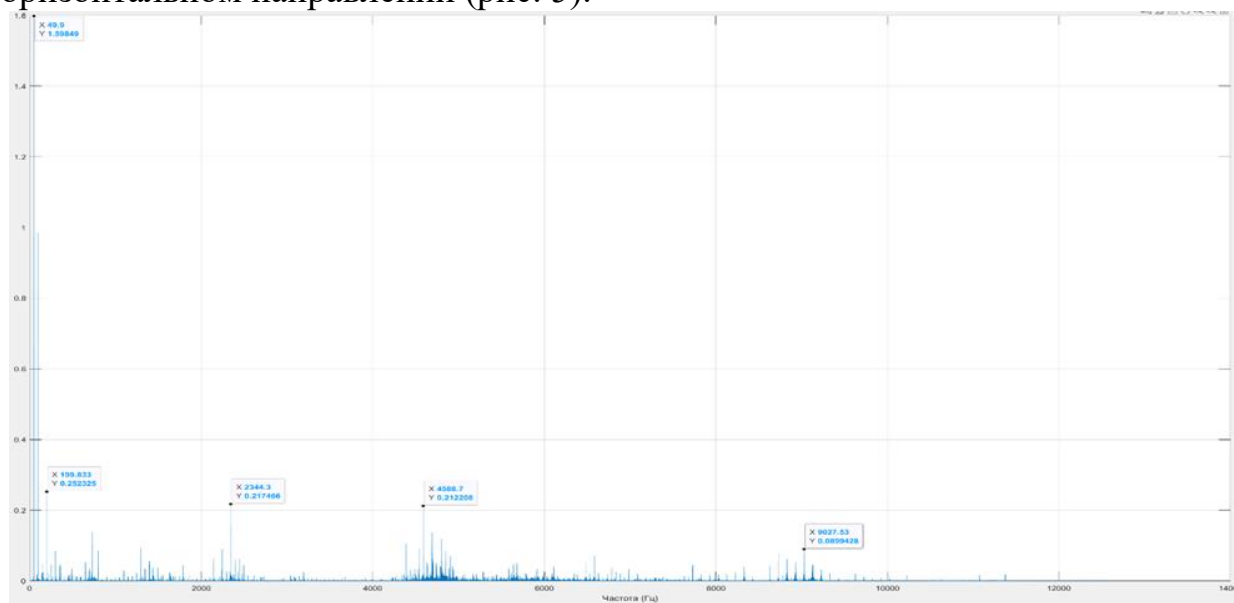


Рисунок 5. Спектр вибрации крыльчатки в точке 2 в горизонтальном направлении

В осевом направлении амплитуды вибрации общего фона не высоки, до $0,1 \text{ м/с}^2$, но при этом влияние амплитуды на частоте 200 Гц все еще велико и составляет около 1 м/с^2 (рис. 6).

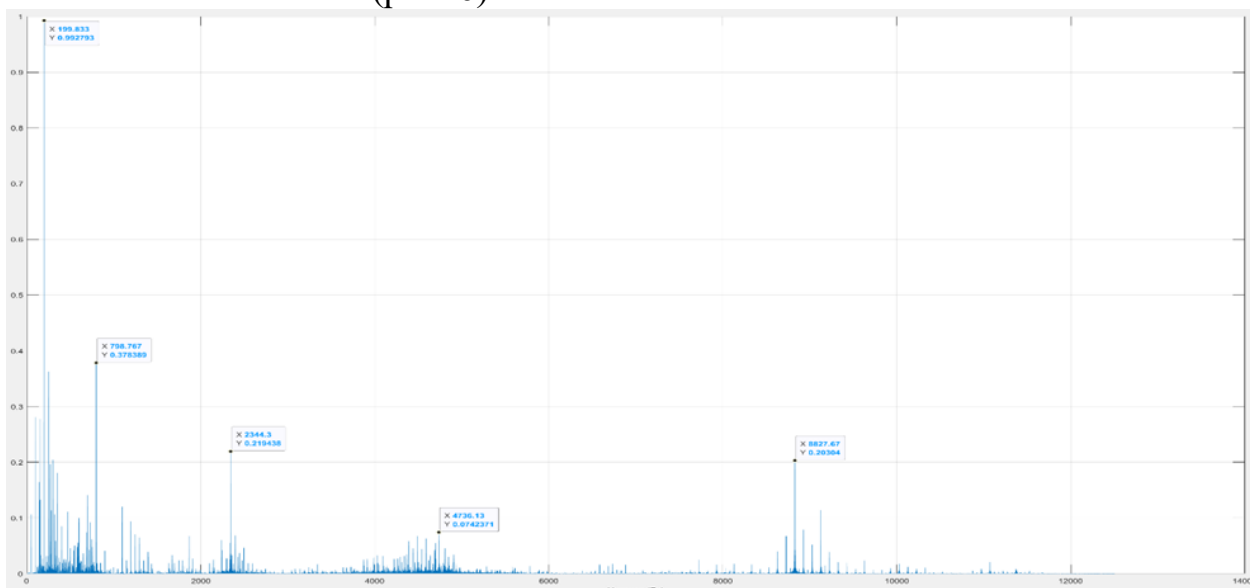


Рисунок 6. Спектр вибрации крыльчатки в точке 1 в осевом направлении

В точке 2, как и в предыдущих случаях влияние вибрации от крыльчатки будет ниже (рис. 7). Уровни амплитуд находятся в районе $0,05 \text{ м/с}^2$, что близко к уровню погрешности измерения приборов и датчиков.

Основные пики на аналогичных частотах в ВЧ зонах, от 1000 Гц и выше.

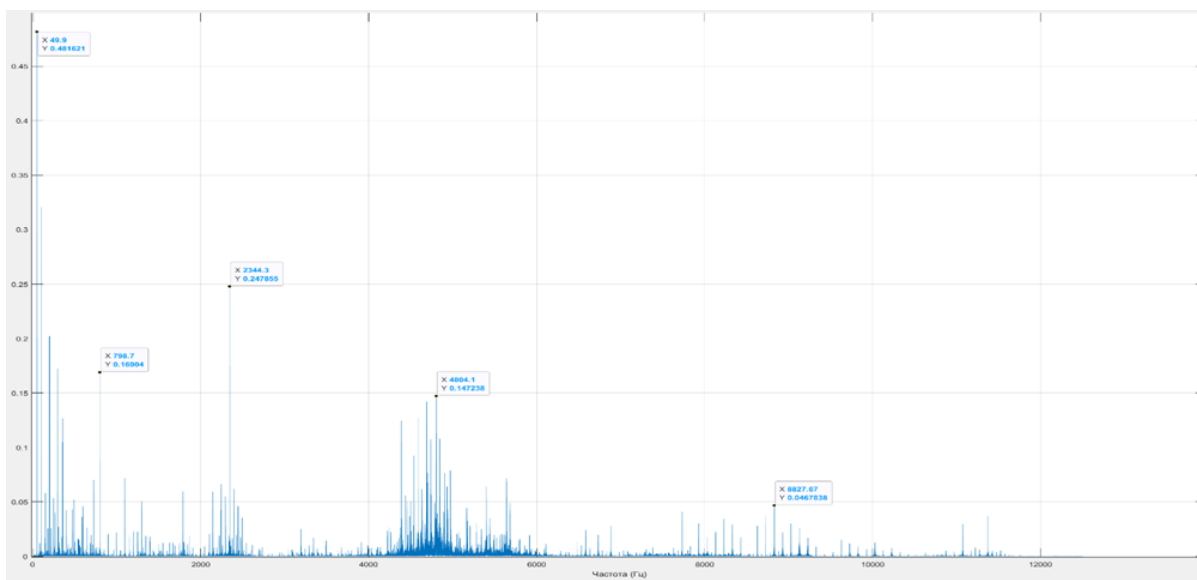


Рисунок 7. Спектр вибрации крыльчатки в точке 2 в осевом направлении

Заключение.

Проведя сравнение частотного диапазона и уровней амплитуд, можно сделать вывод о том, что вибрация такого элемента как крыльчатка охлаждения электродвигателя, обладающая низкой массой по отношению к механизму способна вызывать помехи в прямом спектре вибрации. Данное проявление добавляет сложности в определении дефекта электродвигателя, особенно в случаях, когда частота подшипников качения начинает совпадать с частотой крыльчатки, или в высокочастотной области может дать неверное представление о неисправности электрической части электродвигателя.

Удалив из общего сигнала посторонние шумы можно сделать диагностическое заключение о исправности механизма, или об уровне развития дефекта с большей точностью. Однако создание базы шумов является труднопреодолимой задачей, потому требуется разработка новых методов для устранения посторонних сигналов из спектров вибрации.

Список литературы

1. Колобов А.Б. Вибродиагностика: теория и практика: учебное пособие / А.Б. Колобов. – М.: Инфра-Инженерия, 2019. - 252 с.
2. Казаринов Л.С., Колосова З.А., Абдуллин В.В., Шнайдер Д.А. Подход к оценке частоты спектральной составляющей цифрового сигнала по спектру с низким разрешением // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2024. Т. 24, № 2. С. 56–64
3. Лойко, Д. В. Разработка методики повышения эффективности определения дефектов подшипников качения судового оборудования / Д. В. Лойко, Н. В. Куценко, М. В. Грибиниченко // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. – 2024. – № 2(59). – С. 28-38. – DOI 10.24866/2227-6858/2024-2/28-38. – EDN KUVTMD.

Секция 4 - Водоснабжение, канализация и гидротехника

Котовская Е.Е., Ангелюк И.П., Кириченко Д.Р., Белоус А.В. АНАЛИЗ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ВЕЛИЧИН УТЕЧЕК ПРИ НАРУШЕНИИ ЦЕЛОСТНОСТИ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

*Котовская Елена Евгеньевна, Ангелюк Илья Павлович, Кириченко
Данил Романович, Белоус Александра Викторовна
Институт «Академия строительства и архитектуры», ФГАОУ ВО
«КФУ им. В.И. Вернадского», Республика Крым, г. Симферополь,
ул. Киевская, 181*

Аннотация. В работе представлены сведения о проблемах потерь питьевой воды, вызванных как аварийными ситуациями, так и другими технологическими процессами. Выполнен обзор существующих методик определения объемов утечек при различных видах нарушения целостности трубопроводов, с оценкой параметров, входящих в выражение по определению величины утечки.

Ключевые слова: водопроводная сеть, аварии на водопроводной сети, методика оценки величины утечки, трещина трубопровода, свищ, стационарный и нестационарный процесс, методы численного моделирования, площадь отверстия.

Введение

Нарушения целостности системы водоснабжения приводят к колоссальным потерям воды из водопроводных сетей, а также электроэнергии (затраченной на работу насосного оборудования на этапах подъема воды из источника централизованного питьевого водоснабжения, подачи воды в распределительную сеть (в случае применения подкачивающих насосных станций). На рисунке 1, представлена гистограмма распределения подачи воды в населенный пункт (с численностью 40 000 жителей, расположенный на территории Южного федерального округа), совмещенная с гистограммой потерь воды из водопроводной сети рассматриваемого населенного пункта по месяцам 2023 года.

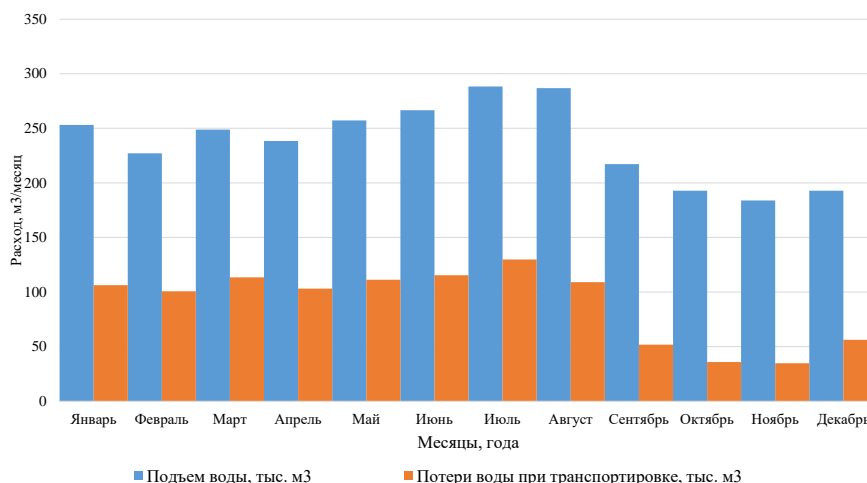


Рисунок 1 – Гистограмма распределения по месяцам забираемой воды из источников централизованного водоснабжения, и величины суммарных потерь по месяцам 2023 года

Анализ данных, представленных на рисунке 1, показал, что величина утечек достигает до 45,6 %, что соответственно несет огромные убытки для предприятия. Фотофиксация утечки, при открытом гидранте, установленном на водопроводной сети южного города (24.10.2024-дата аварийной ситуации), представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 - Фотофиксация утечки при открытом пожарном гидранте на водопроводной сети

Оценка величины утечек, с последующей разработкой мер по их уменьшению и исключению является одной из значимых проблем, для решения которой можно сформировать ряд задач:

- всеобъемлющая оценка величин потерь воды из водопроводной сети репрезентативного населенного пункта, с известными параметрами водоснабжения (полный перечень водопотребителей; сведения по оснащению приборами учета; характеристики распределительной сети; эксплуатационные параметры насосного оборудования, подающего воду в водопроводную сеть); сведения о технологических сбросах; полный перечень всех аварийных ситуаций с текущей оценкой объемов утечек;

- сравнение существующих методов оценки величины утечек с выявлением их недостатков и применимости;

- рассмотрение возможности использования методов численного моделирования для оценки величины утечек при возникновении аварийных ситуаций различного генезиса.

Материалы и методы

Расчёт потерь воды при нарушениях целостности трубопровода на эксплуатационных предприятиях выполняется по формулам, доведённым Приказом МИНЖКХ РФ №640 от 17.10.2014 года по выражению:

$$W = 9600 \cdot t_i \cdot \omega_i \cdot \sqrt{H_i} \tag{1}$$

где ω_i - площадь живого сечения i -го отверстия, м²;

H_i – принимается равным средней величине напора воды в трубопроводе на поврежденном участке; при переломах и разрывах трубопроводов H принимается равным средней глубине заложения трубопровода.

Для удобства оценки на эксплуатационном предприятии был сформирован электронный журнал фиксации утечек, пример которого представлен на рисунках 3-5. Определение частоты возникновения повреждений на определённом участке трубопровода с целью последующего анализа их причин предлагается выполнять путём выборки адресов с указанием характера повреждения, а также выполненных мероприятий.

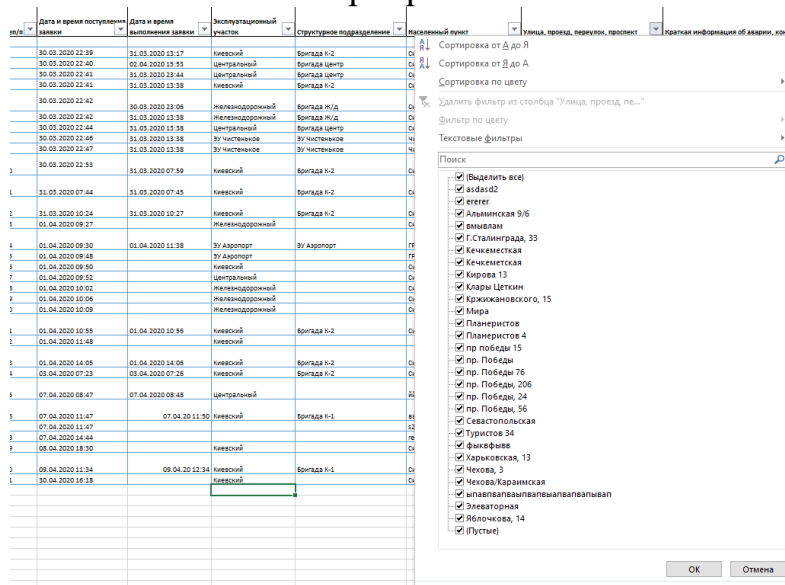


Рисунок 3 – Пример электронной базы данных по аварийным ситуациям

Материал трубопровода	Диаметр трубопровода, мм	Характер повреждения	Площадь(диаметр) повреждения, мм	Среднее давление в сети, Атм	История выполнения заявки
Асбест	100	Трещина		5	1 установили свёртнутую муфту
Чугун	150	Трещина		2	2 установили свёртнутую муфту

Рисунок 4 – Пример электронной базы данных по выполненным мероприятиям по устранению аварийных ситуаций

Давление, м.в.ст	Площадь сечения, м2	Вермя утечки, ч	Объём утечки, м3
10,00	0,000500	65,22	989,92
20,00	0,000200	25,05	215,09

Рисунок 5 – Пример электронной базы данных, по оценке объемов утечки

Таким образом журнал сведений аварийных ситуаций включает:

- дату и время поступления заявки; дату и время выполнения заявки;

- наименование эксплуатационного участка; структурное подразделение;
- населенный пункт; улица, проезд, переулок, проспект – адрес возникновения аварии;
- краткая информация об аварии, контактный телефон заявителя; диспетчер, принявший заявку. используемая спец. техника при выполнении аварийно-восстановительных работ;
- материал трубопровода в месте возникновения аварии;
- диаметр трубопровода, мм;
- характер повреждения;
- площадь(диаметр) повреждения, мм; среднее давление в сети, атм;
- история выполнения заявки; давление, м.в.ст.;
- площадь сечения, м²; время утечки, ч; объём утечки, м³.

Детальный анализ данных, зафиксированных в базе, определил основные вопросы и замечания:

- в программе фиксируется время поступления заявки, но не время возникновения аварийной ситуации. Событие могло наступить в ночное время (или темное время суток), и как следствие течь была обнаружена в утренние часы, что автоматически увеличивает продолжительность утечки и объем утечки может быть значительно выше.

- в выражениях для аналитического расчета не учитывается материал трубопровода и толщина стенки трубы, которая влияет на характер истечения через отверстие;

- давление выставлено у потребителя 4,5 атм, что возможно не является истиной, так как необходимо знать более точное давление в месте возникновения аварийной ситуации [1].

Аварийные ситуации и утечки на водопроводной сети могут быть вызваны следующими нарушениями целостности трубопровода: трещина, свищ, «переломы и разрывы», утечки через уплотнение сетевой арматуры, неисправность водоразборной арматуры (см. рисунок 2).

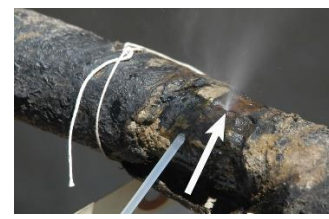
На рисунке 3 представлены фотофиксации некоторых аварийных ситуаций, приводящих к утечкам из водопроводной сети.



а)



б)



в)

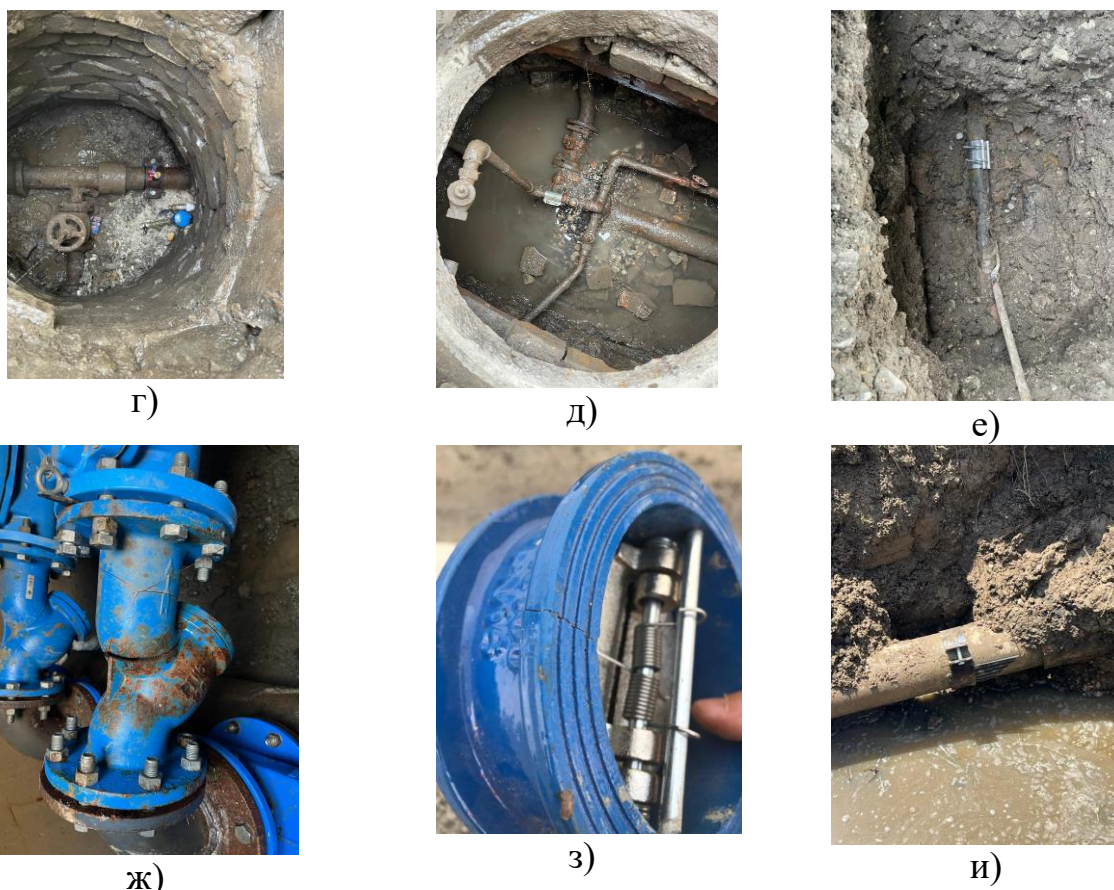


Рисунок 3 – Фотофиксация различных повреждений водопроводной сети: а, б – трещины на сварном шве трубопровода; в – трещина на стальном трубопроводе небольшого диаметра; г-е – устранение аварийной ситуации путем установки хомута; ж – трещина корпуса сетчатого фильтра; з – трещина корпуса межфланцевого обратного клапана; и – установка хомута на трубопроводе большего диаметра

Выражения по определению потерь воды при авариях и утечках из сети, определенных приказом МИНЖКХ РФ №640 от 17.10.2014 года. базируются на знании классических выражений гидродинамики:

Расход истечения из отверстия определяется по выражению (2):

$$Q = \mu \omega \sqrt{2g \cdot H_0} ; \quad (2)$$

где μ - коэффициент расхода; ω - площадь отверстия; H_0 - полный напор; H - геометрический напор над центром отверстия; p_0 - давление над свободной поверхностью жидкости; p_c - давление среды, в которую происходит истечение. Полный напор H_0 определяется по выражению:

$$H_0 = H + \frac{p_0}{\gamma} - \frac{p_c}{\gamma} , \quad (3)$$

В регламенте эксплуатационного предприятия для определения величины потерь в выражение включают средний расчетный напор, равный 45 м, в то время как данная величина зависит от гидравлического режима водопотребления и стационарности процесса. Методика определения давления в месте

возникновения аварийной ситуации аналитическим способом хорошо описана в работе [1] с применением программного комплекса «Zulu» [2].

Более корректное значение величины площади отверстия предлагается определять при помощи методов численного моделирования на базе портфеля инструментов Simulation расчетного комплекса SolidWorks [3]. С учетом материала трубопровода и его эксплуатационного периода, оказавшего влияние на текущую толщину стенки трубопровода, что в свою очередь вносит коррективы в величину расхода истечения через отверстия (площадь и периметр отверстия). На рисунке 4 представлены модели трещины в трубопроводе, полученные в расчетном комплексе SolidWorks. Планируется дальнейшее изучение расходов истечения при моделировании аварийных ситуаций на испытательном стенде с сопоставлением полученных экспериментальных данных с данными полученными методами численного моделирования.

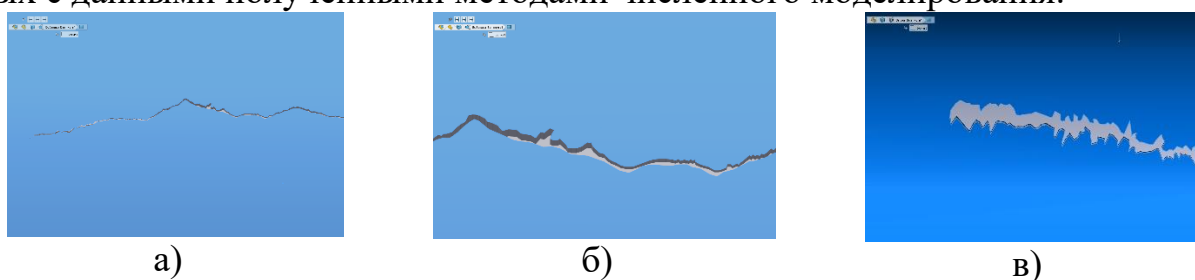


Рисунок 4 – Результаты численного моделирования продольной трещины чугунного трубопровода: а) длина $l=29$ мм, ширина $b=1-3$ мм; б) $l=29$ мм, $b= 1-3$ мм; в) $l= 195$ мм, $b= 3-15$ мм

Предполагается, что определение времени наступления утечек на рассматриваемых гидравлических режимах и определение свободного напора в местах повреждения, с определением уточненной площади отверстия позволит более корректно оценить объемы утечек из системы водоснабжения.

На рисунке 5 представлена схема-алгоритм определения фактического объема истечения из отверстия, с учетом корректирующих параметров.

Дальнейшие перспективы выбранного направления исследования заключаются в определении стационарности процесса движения воды в водопроводных сетях.

Так как очевидно, что при нестационарном процессе в разные фазы будет варьироваться величина давления в трубопроводе в месте возникновения аварийной ситуации, что приведет к неточности в оценке величины давления, вносимой в аналитическое выражение определения потерь воды при утечке.

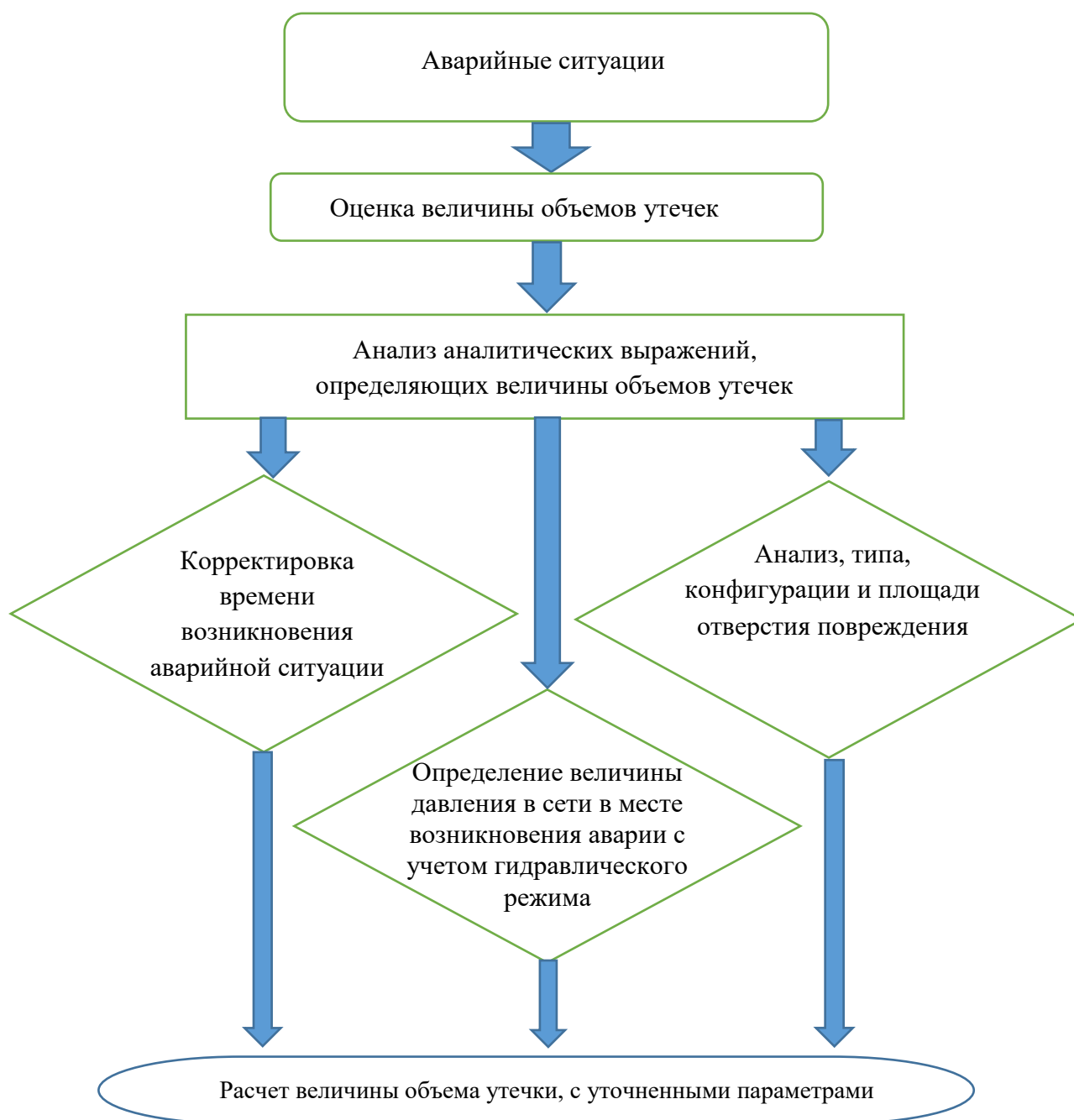


Рисунок 5 – Алгоритм оценки величины объема утечки, с уточнением входящих параметров

Заключение

Выполненный обзор существующих методов оценки величины объемов при утечке воды при нарушении целостности системы трубопроводов, позволил наметить план дальнейшей работы в данном направлении, заключающийся:

1. В выборе репрезентативного населенного пункта с полным доступом к сведениям по характеристике водопроводной сети, данным насосного оборудования, подающего воду в водопроводную сеть, сведениями по аварийным ситуациям.

2. Сравнение существующих методик оценки величины потерь воды при аварийных ситуациях.

3. Адаптация методов численного моделирования для оценки величины утраченных объемов воды с последующим сравнением на экспериментальных стендах.

4. Оценка характеристик стационарности процесса транспортировки воды в системах водоснабжения с определением параметров давления и скорости потока в разные периоды времени в зависимости от динамики водопотребления.

Список литературы

1. Котовская, Е. Е. Анализ влияния гидравлических характеристик водопроводной сети на показатели надежности эксплуатации / Е. Е. Котовская, А. А. Высоцкий // Инженерное дело на Дальнем Востоке России: Материалы конференции, Владивосток, 21–27 января 2024 года. – Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2024. – С. 174-183. – EDN VYHAZN.

2. 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.

3. Исследование влияния дефектов в материале трубы на прочность газопроводов методом численного моделирования / И. П. Ангелюк, В. М. Михайлюк, А. А. Голышев, С. С. Топорен // Строительство и техногенная безопасность. – 2023. – № S1. – С. 288-293. – EDN EPZLYQ.

Трусов М.А. РАЙОНИРОВАНИЕ КАРТЫ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ ПО ТОЛЩИНЕ ЛЬДА ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА PYTHON

Трусов Максим Андреевич

*Политехнический институт, Департамент морских арктических технологий
Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, п. Аякс, 10;*

Индекс: 690922

Аннотация: Шельфы мировых океанов, особенно в арктическом и дальневосточном бассейнах России, обладают богатыми углеводородными ресурсами. При проектировании морских платформ и портов важно учитывать суровые климатические условия и дрейфующий ледяной покров. Взаимодействие ледяных полей с гидротехническими сооружениями приводит к абразивному износу конструкций. Мониторинг изменения климатических

условий в арктической шельфе при помощи спутниковых систем помогают отслеживать изменения в толщине ледяного покрова на больших территориях. Важно регулярно проводить такие измерения, чтобы обеспечить безопасность и устойчивое использование природных ресурсов в северных регионах. Целью данной статьи является воспроизведение данных районирования моря Лаптевых по толщине льда в программном комплексе Python.

Ключевые слова: толщина льда, Арктический шельф, Python, скрипт, ледовая абразия, данные, netCDF.

Опыт эксплуатации гидротехнических сооружений в ледяных морях указывает, что дефекты бетона, вызываемые воздействием химической агрессии морской воды и циклов замораживания и оттаивания, становятся более серьезными из-за абразивного воздействия льдины. Такие процессы производятся вследствие вертикальных и горизонтальных движений льда, что является результатом течений, действия ветра, а также колебаний уровня воды. Вследствие таких процессов поверхность бетона, взаимодействующая с льдом, подвергается постоянному износу, что способствует сульфатной коррозии и дистрофии бетона. В последствии это ухудшает устойчивость бетона к морозным циклам, что может привести к деформации бетонных покрытий. Существуют специальные устройства, позволяющие установить глубину ледовой абразии. Существуют устройства, которые позволяют определять глубину ледовой абразии. Методики определения абразии велись Норвежским университетом естественных и технических наук и Российским Дальневосточным университетом естественных и технических наук. В России основные экспериментальные исследования сосредоточены в лаборатории МНОЦ «Арктика» Дальневосточного федерального университета [1].

Таблица 1 – Сравнительная таблица для методов измерения ледовой абразии

Устройство	Индикатор часового типа Гост 577-68	Mitutoyo Corp. 543-270B	3D оптический световой сканер ATOS III SO	Лазерный сканер
Метод	Механический	Механический	Автоматический	Автоматический
Дополнительное программное обеспечение	Не требуется (ручная обработка)	Не требуется (ручная обработка)	Требуется (ATOS, GOM Inspect)	Требуется (специально разработанное НТНУ)
Количество точек поверхности	168	110	Около 3 300 000	570 000

Точность прибора	0,005 мм	0,003 мм	0,05 мм	0,01 мм
------------------	----------	----------	---------	---------

Проблема сопротивления материалов ледовой абразии находится в стадии изучения, и явления, которые происходят в зоне контакта «лед-сооружение», не изучены и достаточно трудно моделируются в лабораторных условиях. К этим условиям можно отнести: состав модельного льда, изменчивость шероховатости поверхности испытуемого образца по мере износа и ее влияние на интенсивность абразии, обледенение поверхности образца на контакте со льдом, точность измерений образца до и после испытания [2 - 4]. Основным преимуществом методики Норвежского института науки и техники перед Дальневосточным федеральным университетом является лазерное сканирование испытуемого образца до и после испытаний. К существенным недостаткам норвежского метода стоит отнести малую горизонтальную амплитуду перемещения блока льда, что значительно увеличивает количество примерзаний в краевых точках по сравнению с методикой россиян. Состав и структура модельного льда методики ДВФУ более точно имитирует натуральный лед. Спектр контролируемых и регулируемых параметров испытания, также существенно выше в методике ДВФУ, что позволяет более точно смоделировать реальный процесс взаимодействия льда со строительным материалом.

Сбор данных о ледовом режиме производится при помощи баз данных, которые хранят информацию о замерзающих Арктических морей Российского шельфа и не только [5 - 6]. Есть достаточное количество баз данных, из которых можно выгрузить абсолютно любые данные, необходимые для анализа ледовых режимов на шельфе. Для обработки и визуализации данных мной была выбрана база данных NSIDC. Выбор пал на данную базу данных, так как в ней есть архив, который используется для анализа ледового режима и создания гидрологических карт. Это архив данных CryoSat-2 Уровень 4 высоты морского льда, надводного борта и толщины (RDEFT4). Этот набор данных включает оценки высоты морского льда, надводного борта и толщины в Арктике, полученные с помощью спутника CryoSat-2. Формат данных: NetCDF (.nc), XML (.xml) для метаданных за каждый день. Пространственный охват: Северный Ледовитый океан, от 55° до 90° с.ш., разрешение 25 на 25 км.

Временное покрытие: с 20 сентября 2010 г. по настоящее время с временной задержкой около 1,5 месяцев.

Алгоритм визуализации данных является процессом, состоящим из определенной последовательности шагов, благодаря которым сложные наборы данных преобразуются в визуальные форматы, удобные для анализа – данный подход упрощает интерпретацию данных. Поскольку данные играют все большую роль в принятии решений, важно знать, как их представлять таким образом, чтобы можно было быстро обнаружить закономерности или аномалии. Современные инструменты и библиотеки для визуализации данных, такие как

Matplotlib, Seaborn, Plotly и множество других, предоставляют разнообразные функции и инструменты для создания все возможных видов графиков.

Написание скрипта состоит из следующего алгоритма визуализации данных:

1. Импортировать необходимые библиотеки (netCDF4, numpy)
2. Открыть netCDF файл
3. Изучить структуру данных в файле
4. Выбрать переменную для визуализации данных
5. Извлечь данные переменной
6. Создать визуализацию данных
7. Отобразить карту при помощи подгруженных библиотек
8. Закрывать netCDF файл.

Сам скрипт представляет собой простой файл, который содержит последовательность команд, которые нужно выполнить. Перед началом написания скрипта нужно понимать, например, такие аспекты: как структурировать код, как работать с переменными, а также как использовать циклы и условные операторы. В Python скрипты представляют собой набор инструкций, которые выполняются последовательно, сверху вниз. Обычно скрипт начинается с импорта необходимых библиотек, затем могут объявляться функции, если они нужны, и в завершение идет основная часть кода, выполняющая необходимые действия.

Что касается переменных в Python, то они не требуют явного указания типа данных, поскольку язык использует динамическую типизацию. Это значит, что тип переменной определяется автоматически в зависимости от того, какое значение ей присвоено. На рисунке 1 представлен скрипт для визуализации данных.

```
2 import folium
3 from folium.plugins import HeatMap
4 import pandas as pd
5 import os
6
7 usage
8
9 def create_sea_ice_thickness_map(csv_file_path, html_file_path, scale_factor=1):
10     df = pd.read_csv(csv_file_path)
11
12     # Фильтрация данных для моря Лаптевых (примерные координаты)
13     df_laptev_sea = df[(df['lat'] >= 70) & (df['lat'] <= 85) & (df['lon'] >= 105) & (df['lon'] <= 140)]
14
15     # Создание карты с центром на море Лаптевых
16     laptev_sea_map = folium.Map(location=[75, 122.5], zoom_start=3 * scale_factor)
17
18     # Добавление данных о толщине льда в виде тепловой карты
19     heat_data = [[row['lat'], row['lon'], row['sea_ice_thickness']] for index, row in df_laptev_sea.iterrows()]
20     HeatMap(heat_data, radius=15 * scale_factor, max_zoom=13, blur=10, min_opacity=0.3).add_to(laptev_sea_map)
21
22     # Сохранение карты в HTML файл
23     laptev_sea_map.save(html_file_path)
24     ...
```

Рисунок 1 – Скрипт для визуализации данных

```

2 import netCDF4 as nc
3 import pandas as pd
4 import os
5
6 1 usage
7
8 def read_netcdf_to_dataframe(nc_file_path):
9     print(f"Чтение файла: {nc_file_path}")
10    ds = nc.Dataset(nc_file_path)
11    lat = ds.variables['lat'][:]
12    lon = ds.variables['lon'][:]
13    sea_ice_thickness = ds.variables['sea_ice_thickness'][:]
14    snow_depth = ds.variables['snow_depth'][:]
15    snow_density = ds.variables['snow_density'][:]
16    freeboard = ds.variables['freeboard'][:]
17    roughness = ds.variables['roughness'][:]
18    ice_con = ds.variables['ice_con'][:]
19
20    data = {
21        'lat': lat.flatten(),
22        'lon': lon.flatten(),
23        'sea_ice_thickness': sea_ice_thickness.flatten(),
24        'snow_depth': snow_depth.flatten(),
25        'snow_density': snow_density.flatten(),
26        'freeboard': freeboard.flatten(),
27        'roughness': roughness.flatten(),
28        'ice_con': ice_con.flatten()
29    }

```

Рисунок 2 – Скрипт для чтения данных netCDF файла

```

26    df = pd.DataFrame(data)
27    return df
28
29 1 usage
30
31 def write_dataframe_to_csv(df, csv_file_path):
32     print(f"Запись файла: {csv_file_path}")
33     df.to_csv(csv_file_path, index=False)
34
35 1 usage
36
37 def process_all_folders(base_folder_path):
38     for root, dirs, files in os.walk(base_folder_path):
39         for file in files:
40             if file.endswith('.nc'):
41                 nc_file_path = os.path.join(root, file)
42                 print(f"Обработка файла: {nc_file_path}")
43                 csv_file_path = os.path.splitext(nc_file_path)[0] + '.csv'
44                 df = read_netcdf_to_dataframe(nc_file_path)
45                 write_dataframe_to_csv(df, csv_file_path)
46
47 def main():
48     base_folder_path = r"C:\Users\Lenovo\Desktop\Данные"
49     process_all_folders(base_folder_path)
50
51 main()

```

Рисунок 3 – Продолжение скрипта

Получение карты районирования моря Лаптевых после написания скрипта позволит детально просмотреть карту распределения толщины льда. При создании карты районирования моря Лаптевых важно выбрать подходящий тип визуализации, который будет отображать необходимую информацию. Поэтому можно сказать, что скрипт на Python для чтения данных из netCDF, выгруженные из базы данных, служит нескольким важным целям, особенно в контексте работы с научными данными, метеорологией, океанографией и другими областями, где используются многомерные массивы данных, особенно в вопросе изучения влияние ледовой абразии на гидротехнические сооружения, находящиеся на шельфах России. Важно привести обзор назначения и преимуществ скрипта для чтения данных:

1. Стандарт для хранения многомерных данных (структурированное хранение и содержание метаданных)
2. Удобство работы с большими данными. Файлы netCDF поддерживают эффективное чтение и запись больших объемов данных.
3. Интеграция с научными библиотеками. Упрощение процесса чтения, обработки и визуализации данных.
4. Визуализация данных. Возможность представления данных в графическом виде, в виде карт или графиков. Что позволяет анализировать пространственные и временные особенности.
5. Научные исследования и анализ. Исследователи могут легко обмениваться данными между собой и воспроизводить результаты удобным способом.
6. Гибкость и расширяемость. netCDF поддерживает различные типы данных, поэтому это делает его универсальным для различных приложений.

Написание скрипта на Python для визуализации данных о толщине льда может быть полезен в различных областях: климатология, география, океанология, а также в расчетах для определения ледовой абразии гидротехнических сооружений и толщины ледяных образований. Написание такого скрипта помогут упростить задачу и сформировать данные о толщине льда с космических спутников в карту районирования по толщине льда моря Лаптевых для дальнейшего использования.

Анализ данных – скрипт позволяет загружать, очищать и обрабатывать данные о толщине льда, что позволяет исследовать их структуру и выявлять закономерности.

Визуализация изменений во времени - для этого создаются графики, диаграммы и карты, которые помогают отслеживать динамику изменения ледового покрова. Например, это может быть полезно для наблюдения за трендами, такими как уменьшение толщины льда вследствие глобального потепления, сезонные колебания уровня льда, его дрейф и прочие процессы.

Географическая визуализация – картографирование и интерактивные карты. Позволяет создать карту любого местоположения в мире, при этом нужно знать значения широты и долготы.

Принятие решений – визуализация данных играет важную роль в поддержке исследовательской деятельности ученых и специалистов, занимающихся изучением ледового покрова. Визуализация данных поможет лучше понять текущее состояние ледовой обстановки и получить объективную картину происходящих процессов, что способствует более правильных и обоснованных решений.

Документация и публикация - результаты визуализации могут использоваться в научных отчётах и публикациях. Они служат иллюстрацией ключевых выводов и облегчают восприятие важной информации. Благодаря этому исследователи могут наглядно представить свои открытия и поделиться ими с научным сообществом.

Таким образом скрипт для визуализации данных о толщине льда является мощным инструментом для анализа и представления информации. Пример визуализации карты районирования моря Лаптевых по толщине льда представлены на рисунках 4, 5.

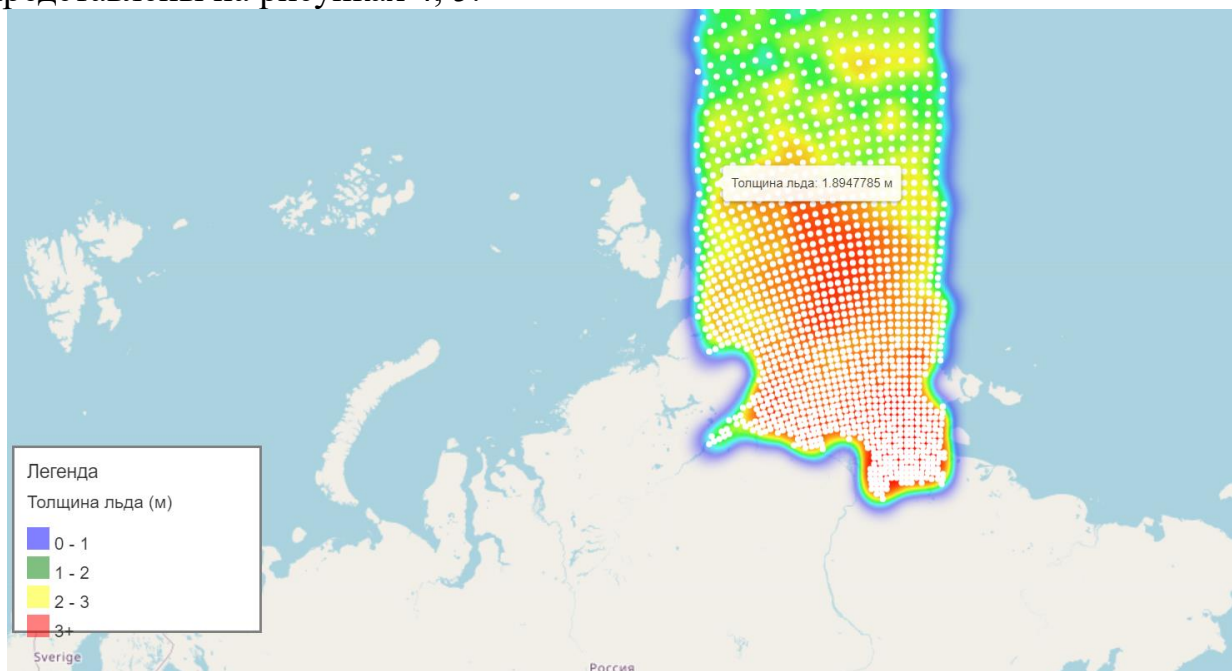


Рисунок 4 – Карта районирования моря Лаптевых по толщине льда и изображением легенды

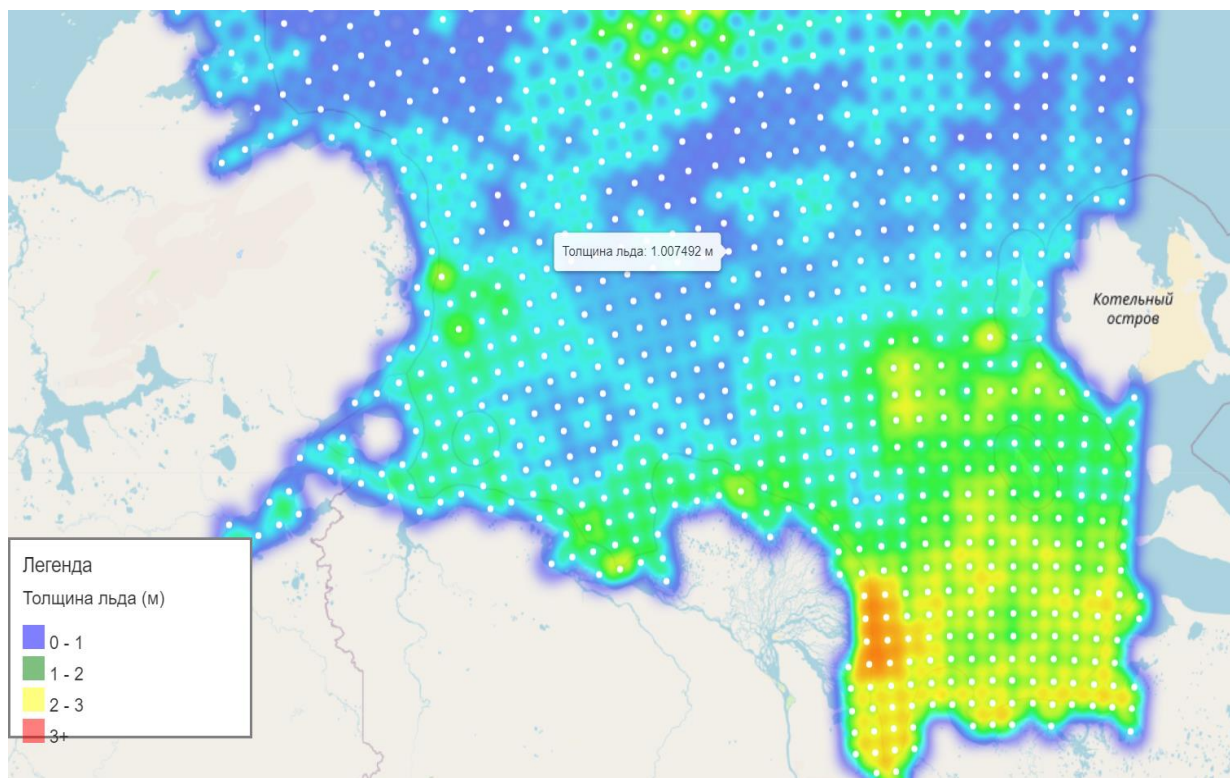


Рисунок 5 – Карта районирования моря Лаптевых с интерактивным изображением значения толщины льда в определенной точке

Список литературы

1. Методы измерения глубины ледовой абразии поверхности бетонных образцов / П. В. Анохин, А. Т. Беккер, Т. Э. Уварова [и др.] // International Journal of Advanced Studies. – 2021. – Т. 11, № 1. – С. 59-76.
2. Национальный центр данных по снегу и льду, входящий в состав CIRES при Университете Колорадо. URL: <https://nsidc.org/> / (дата обращения: 25.01.2025).
3. Арктический и антарктический научно-исследовательский институт. URL-адрес: <https://www.aari.ru/> (дата обращения: 25.01.2025).
4. URL-адрес: <https://docs.python.org/3/> (дата обращения 25.01.2025).
5. Т. А. Алексеева, С. В. Фролов, С. С. Сероветников. Обзор методов и основных результатов измерения толщины морского льда в Арктике // Российская Арктика. 2021. №1 (12).
6. Тимофеева А.Б., Шаратунова М.В. Многолетняя изменчивость толщины припая в море Лаптевых по данным полярных станций// Российская Арктика. 2021. № 12. С. 62-76.

Петров И.А., Афонский Н.И. ПЕРСПЕКТИВЫ СТРОИТЕЛЬСТВА МОСТА НА САХАЛИН

Петров Илья Алексеевич, Афонский Никита Игоревич

*Передовая инженерная школа (Базовая кафедра "Биоэкономики и продовольственной безопасности") и Юридическая школа (Кафедра гражданского права и процесса)
Дальневосточный федеральный университет, Приморский край,
г. Владивосток, остров Русский, п. Аякс, 10;
Индекс: 690922*

Аннотация: в работе рассматривается потенциал для укрепления российской экономики, туризма и перемещения жителей острова Сахалин посредством возведения переправы с материковой части России на остров. Цель исследования: доказать перспективу развития Дальневосточного региона. Задачи были поставлены следующие: изучение оптимального способа наведения переправы, опыт ее внедрения, поиск факторов, способных подтолкнуть к началу строительства и весомые преимущества в процессе реализации объекта.

Ключевые слова: Сахалин, мост, тоннель.

PROSPECTS FOR THE CONSTRUCTION OF A BRIDGE TO SAKHALIN

Petrov Ilya Alekseevich, Afonskii Nikita Igorevich

*Advanced Engineering School (Basic Department of Bioeconomics and Food Security) and Law School (Department of Civil Law and Procedure)
Far Eastern Federal University, Primorsky Krai, Vladivostok, Russky Island, Ajax settlement, 10;
Index: 690922*

Abstract: The paper examines the potential for strengthening the Russian economy, tourism, and displacement of Sakhalin Island residents through the construction of a ferry from the Russian mainland to the island. The purpose of the study is to prove the development prospects of the Far Eastern region. The tasks were set as follows: to study the optimal way to guide the crossing, the experience of its implementation, the search for factors that can prompt the start of construction and significant advantages in the process of implementing the facility.

Keywords: Sakhalin, bridge, tunnel.

Человечество всегда было способно принимать вызовы, которые бросала природа. Разведение огня – чтобы отпугнуть хищников, согреться, приготовить пищу. Добыча нефти – чтобы обеспечить себя тяжелой промышленностью и топливом для транспорта. Возведение моста или паромной переправы – чтобы преодолеть реку.

Остров Сахалин имеет особый географический статус в нашей стране. Суровая зима, затяжная весна, изолированность от материковой части страны – эти факторы не играли на руку Сахалинской области. Вместе с тем Сахалин невероятно богат полезными ископаемыми и является популярной туристической дестинацией для наших соотечественников [5]. Соединение

острова с материком могло бы стать большим толчком не только для развития области, но и для развития АТР в целом.

Первые соображения насчет соединения острова высказывались еще в 19 веке. Тогда, после присоединения Сахалина в 1875 году поступило предложение соединить его посредством насыпной дамбы [5]. В 1950 году, уже при советской власти, по личной инициативе Сталина началась реализация первого этапа плана по постройке тоннеля (остатки которого сохранились до сих пор), однако после смерти генерального секретаря строительство прекратили [5]. Обыденный способ перемещения на Сахалин – это переправа на пароме, либо авиалиниями. В 1973 году был открыт новый маршрут «Ванино - Холмск», который соединял посредством пролива Хабаровский край с Сахалинской областью [4]. В результате сроки доставки грузов с острова на материк и обратно сократились в 3 раза, высвободились 17 транспортных судов, работавших ранее на линиях Ванино – Холмск и Ванино – Корсаков, и в несколько раз увеличился поток пассажиров и туристов. Тем не менее, это были полумеры. В 90-х годах прошлого столетия вопрос вновь стал актуален, а в 1999 году, в ходе посещения Дальнего востока вице-премьером Н. Е. Аксёненко обсуждались перспективы не только соединения Сахалина с Хабаровским краем, но также и с островом Хоккайдо, что принадлежит Японии [4].

Самые популярные варианты соединения острова – посредством моста, либо тоннеля. К единому мнению проектировщики не пришли, по той причине, что у обоих вариантов есть свои преимущества и недостатки.

Мост способен меньше внести изменений в географический ландшафт, что будет способствовать меньшему неблагоприятному развитию со стороны тектонических сдвигов. Считается, что экономически мост будет построить выгоднее. Вместе с тем есть исследования, что наземные конструкции менее надежны, нежели подземные (в 2,5–3 раза) [3]. Также мост менее устойчив к погодным факторам и с ним способна случиться та же история, что и с мостом на остров Русский, когда пошел «ледяной дождь», вследствие чего движение по нему было полностью перекрыто [3].

Если говорить про строительство тоннеля, то такой конструкции не страшны штормы, что регулярны в области и не будет создано препятствий для перемещения водного транспорта по заливу. Присутствует и риск затопления тоннеля [3].

Следует выделить преимущества потенциального соединения острова с материковой частью:

1. Значительное облегчение перемещения жителей области

Более высокие цены на жизнь, вызванные далеко не самой надежной логистикой, оставляют сахалинцев в «шатком» положении. Мост позволит наконец почувствовать более тесную связь с регионом, создав возможности для снижения цен на продукты питания, командировочные поездки, поездки к родным и близким.

2. Развитие туристической отрасли

Черемшанский и Шуйский водопады, Пугачёвский вулкан, озеро Тунайча, Дагинские термальные источники, заповедники и заказники, маяк Анива и в

принципе уникальный климат региона – все это манит обывателя. Благодаря соединению с помощью моста можно будет создать устойчивое развитие туристической среды. В свою очередь, сахалинцы могут более свободно посещать близлежащие области Дальнего Востока и стран АТР.

3. Приток инвестиций посредством купли-продажи ресурсов

Не секрет, что на острове находится 50 видов минерального сырья, из которых нефть, газ, каменный и бурый уголь, строительные материалы, торф и подземные пресные воды широко разрабатываются нашими, а также зарубежными ТНК. Упрощение трансфера позволит твердо укрепить позиции Дальнего Востока не только в нашей стране, но и во всем регионе АТР, посредством более удобной продажи ресурсов и привлечения иностранных и отечественных специалистов на разработку сырья, что, в итоге, соответствует государственной стратегии сотрудничества со странами региона.

4. Перспектива нового формата отношений с Японией

Исторически сложилось, что Курилы вместе с Сахалином попеременно находились во владениях то России, то Японии. Японская сторона еще в первой половине 20-го века развивала область посредством строительства ж/д путей, а на сегодняшний момент посылает своих сотрудников на совместную разработку ископаемых. Проведение моста может подтолкнуть к реализации другого масштабного проекта – соединения Сахалина и Хоккайдо, что способно создать, во-первых, продуктивное сотрудничество со страной Восходящего солнца, а во-вторых: транспортный коридор от начала Азии до конца Европы [3]. Следовательно, открываются грандиозные перспективы для развития ВЭД и туристической индустрии.

Таким образом, строительство моста привлечет большой поток инвестиций и станет новым уверенным ростом Дальневосточного региона после Саммита АТЭС.

Что касается реализации постройки, то здесь также нет единого мнения. По прогнозам, срок возведения составит около 5 лет, а срок окупаемости – при объемах перевозок от 15 до 20 млн тонн различных грузов [2,4]. Из вероятных партнеров можно выделить зарубежные ТНК, а также: ООО «КАСТОДИАН», Инвестиционная компания QBF (ООО ИК «КьюБиЭф»), ООО «Открытие брокер», ООО УК «Альфа-Капитал» [1]. Мост стоит возводить в проливе Невельского, где максимальная глубина фарватера составляет 7 метров, а предполагаемая длина моста – 7,5 километра (12,4 километров для тоннеля) [2].

Отдельно стоит отметить, что для более продуктивного развития области стоит задуматься над совершенствованием путей ж/д сообщения, которые есть на Сахалине и созданием новых портов, которые целесообразно связать с конструированием моста.

В последние годы чиновники различных ведомств выражают уверенность в том, что перспектива строительства принесет плоды для развития региона и страны. Более того, в этом заинтересован лично президент [1].

Строительство путей сообщения на остров Сахалин – задача не сиюминутная, дорога в исполнении и вряд ли способна принести прибыль в первые годы. Однако, смотря в будущее, благодаря реализации этой задумки

можно серьезно укрепить позиции региона в различных областях. Важно дать возможность продумать проектировщикам все мелочи строительства и предоставить им доступ к запрашиваемым ресурсам и технологиям, чтобы добиться качественного результата. Успешный опыт строительства подобных проектов мы можем наблюдать, например, по Золотому, Русскому и Крымскому мостам, а также по тоннелю под Ла-Маншем, соединяющим Францию и Великобританию.

Список литературы

1. Гурбатова, О. Д. Популяризация и экономическая интеграция государственного проекта по строительству и реализации железнодорожного маршрута и Сахалинского моста с Дальнего Востока на О. Сахалин через пролив Невельского / О. Д. Гурбатова, И. В. Голов // Теория и практика стратегирования : Сборник избранных научных статей и материалов, Кемерово, 25–26 февраля 2021 года / Под научной редакцией В.Л. Квинта. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2021. – С. 177–180.

2. Кренин, М. Д. Масштабные транспортные проекты: переход на остров Сахалин / М. Д. Кренин, А. В. Савинов, А. С. Трифонов // Логистика в современном мире. Проблемы и решения: Материалы V Национальной мультиязычной научно-практической конференции с международным участием, Новосибирск, 18 мая 2022 года. – Новосибирск: Сибирский государственный университет путей сообщения, 2023. – С. 96–101.

3. Смаковский, В. Н. Мост или тоннель на Сахалине / В. Н. Смаковский, В. А. Нарский, Н. С. Нестеренко // Новый взгляд на систему образования: Сборник трудов III Международной научно-практической конференции, Прокопьевск, 14–15 апреля 2021 года. – Прокопьевск: Филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева" в г. Прокопьевске, 2021. – С. 277–280.

4. Феоктистова, Н. И. К вопросу о развитии транспортной инфраструктуры острова Сахалин / Н. И. Феоктистова // Инновационные подходы к управлению в экономических, технических и правовых системах: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Москва, 23 апреля 2024 года. – Чебоксары: ООО "Издательский дом "Среда", 2024. – С. 89–96.

5. Холин, А. С. Железнодорожный переход на остров Сахалин: целесообразность и перспективы осуществления проекта / А. С. Холин // География и природные ресурсы. – 2021. – Т. 42, № 2. – С. 161–166.

6. Генеральное консульство Японии в г. Южно-Сахалинске. Электронный ресурс: https://www.sakhalin.ru.emb-japan.go.jp/itpr_ru/info_r.html

References

1. Gurbatova, O. D. Popularization and economic integration of the state project for the construction and implementation of the railway route and the Sakhalin Bridge from the Far East to Sakhalin Island through the Nevelsky Strait / O. D. Gurbatova, I.

V. Golov // Theory and practice of strategizing: A collection of selected scientific articles and materials, Kemerovo, February 25-26, 2021 / Under the scientific editorship of V.L. Quint. Kemerovo: Kemerovo State University, 2021, pp. 177-180.

2. Krenev, M. D. Large-scale transport projects: the transition to Sakhalin Island / M. D. Krenev, A.V. Savinov, A. S. Trifonov // Logistics in the modern world. Problems and solutions: Proceedings of the V National Multilingual Scientific and Practical Conference with International Participation, Novosibirsk, May 18, 2022. Novosibirsk: Siberian State University of Railway Transport, 2023, pp. 96-101.

3. Smakovsky, V. N. Bridge or tunnel on Sakhalin / V. N. Smakovsky, V. A. Narsky, N. S. Nesterenko // A new look at the education system: Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference, Prokopyevsk, April 14-15, 2021. – Prokopyevsk: Branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Kuzbass State Technical University named after T. F. Gorbachev" in Prokopyevsk, 2021. – pp. 277-280.

4. Feoktistova, N. I. On the development of the transport infrastructure of Sakhalin Island / N. I. Feoktistova // Innovative approaches to management in economic, technical and legal systems: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation, Moscow, April 23, 2024. – Cheboksary: Wednesday Publishing House, LLC, 2024, pp. 89-96.

5. Kholin, A. S. Railway crossing to Sakhalin Island: feasibility and prospects of the project / A. S. Kholin // Geography and Natural Resources. – 2021. – Vol. 42, No. 2. – pp. 161-166.

6. The Consulate General of Japan in Yuzhno-Sakhalinsk. Electronic resource: https://www.sakhalin.ru.emb-japan.go.jp/itpr_ru/info_r.html

Секция 5 - Строительные материалы и изделия

Завадская Л.В. ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ АРМИРОВАННОГО ГАЗОГИПСА

Завадская Любовь Владимировна

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская 113

Аннотация. Газогипс — это строительный материал, который активно используется в современном строительстве благодаря своим уникальным свойствам. Он сочетается с легкостью, прочностью и хорошими теплоизоляционными характеристиками. Основные свойства газогипса можно оптимизировать за счет добавления армирующих наполнителей. В данной статье мы подробно рассмотрим, как именно вид армирующего наполнителя влияет на прочность при сжатии, плотность и теплопроводность газогипса.

Ключевые слова: армирующий наполнитель, газогипс, стеклянное волокно

При выборе армирующего наполнителя важно учитывать его свойства, такие как жесткость, плотность и адгезионные характеристики. Каждый вид наполнителя способен по-разному воздействовать на материальные характеристики газогипса. Армирование газогипса волокнистыми и наномодифицирующими добавками, направленное на повышение его прочности и устойчивости к внешним нагрузкам рассматривалось в работах [1, 2].

Материалы и методы

Для улучшения структуры и физико-механических свойств газогипса вводились совместно со строительным гипсом в сухом состоянии волокнистые добавки.

Процентное содержание волокон варьировалось в пределах 0,25-0,45 % мас. Зависимость свойств газогипса от содержания волокон представлена на рис. 1.

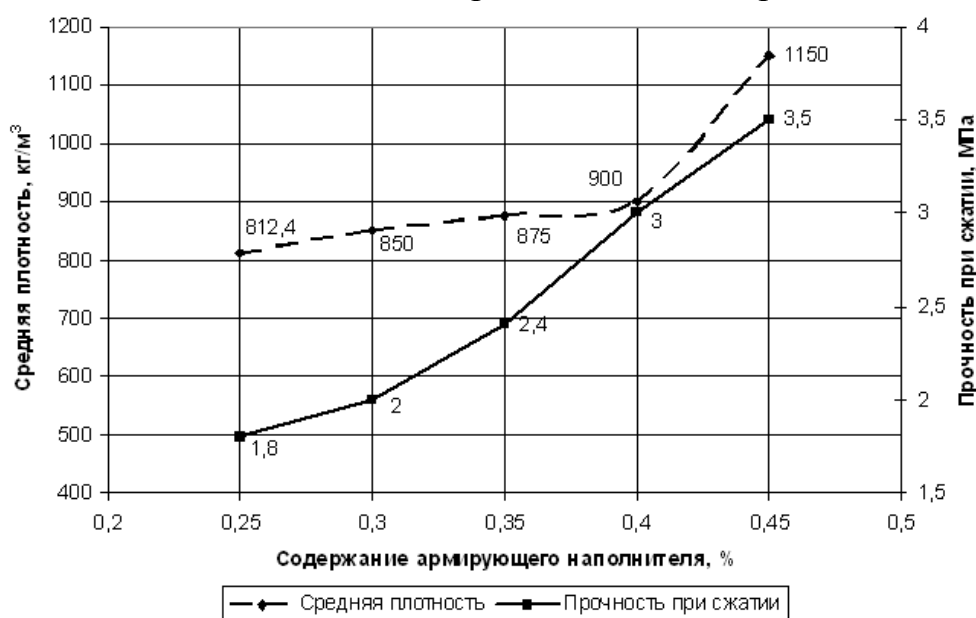


Рисунок 1 - Зависимость средней плотности и прочности при сжатии газогипса от содержания армирующего наполнителя.

При содержании армирующего наполнителя 0,4 % мас. прочность при сжатии газогипса составляет 3 МПа, средняя плотность 900 кг/м³. При содержании армирующего наполнителя 0,45 % мас. средняя плотность составляет 1150 кг/м³, то есть увеличивается на 22 %, прочность при сжатии составляет 3,5 МПа, то есть увеличивается на 14 %. При содержании армирующего наполнителя менее 0,4 % мас. средняя плотность и прочность при сжатии уменьшается на 3-10 % и на 20-67 % соответственно.

Оптимальное количество волокнистого наполнителя составляет 0,4 % массы гипса, так как при меньшем его количестве снижается прочность газогипсовых изделий на 20,3-40,2 %, а при большем его количестве средняя плотность увеличивается на 21,7 %.

Для изучения влияния вида армирующего наполнителя на прочность при сжатии, плотность и теплопроводность газогипса использовались полимерные, базальтовые и стеклянные волокна.

Зависимость средней плотности и прочности при сжатии от вида армирующей добавки в количестве 0,4 % представлена на рис. 2.

При получении газогипса с использованием полимерного волокна средняя плотность составляет 891 кг/м³, прочность при сжатии – 2 МПа.

При получении газогипса с использованием базальтового волокна прочность возрастает на 35%.

При получении газогипса с использованием стекловолокна прочность при сжатии увеличивается на 40% по сравнению с газогипсом с применением полимерного волокна. Во всех трех случаях средняя плотность изменяется незначительно.

На рис. 3 представлена зависимость теплопроводности и прочности при сжатии от вида армирующего наполнителя. Значение теплопроводности получено расчетным путем.

По диаграмме видно, что газогипсовые изделия на основе стеклянного волокна обладают наиболее низкой теплопроводностью.

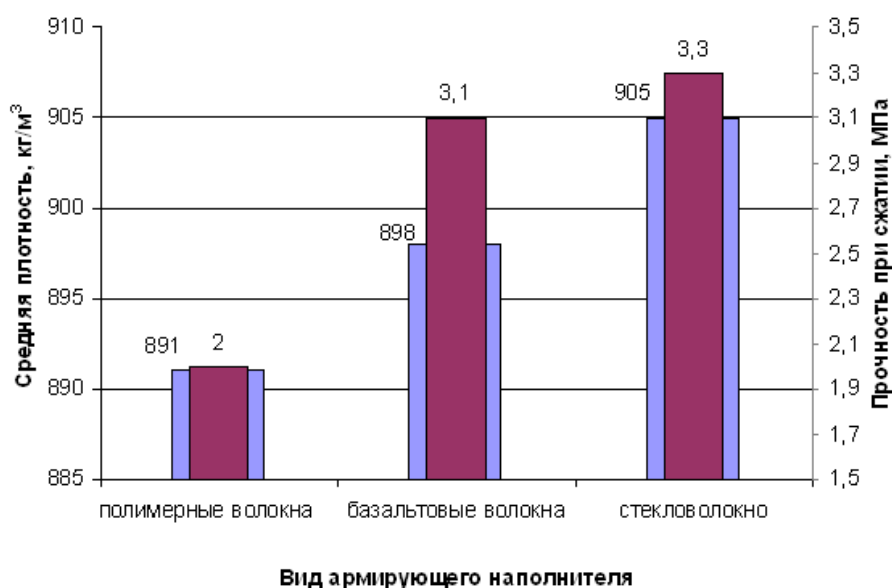


Рисунок 2 - Зависимость средней плотности и прочности на сжатие от вида армирующей добавки в количестве 0,4 %.

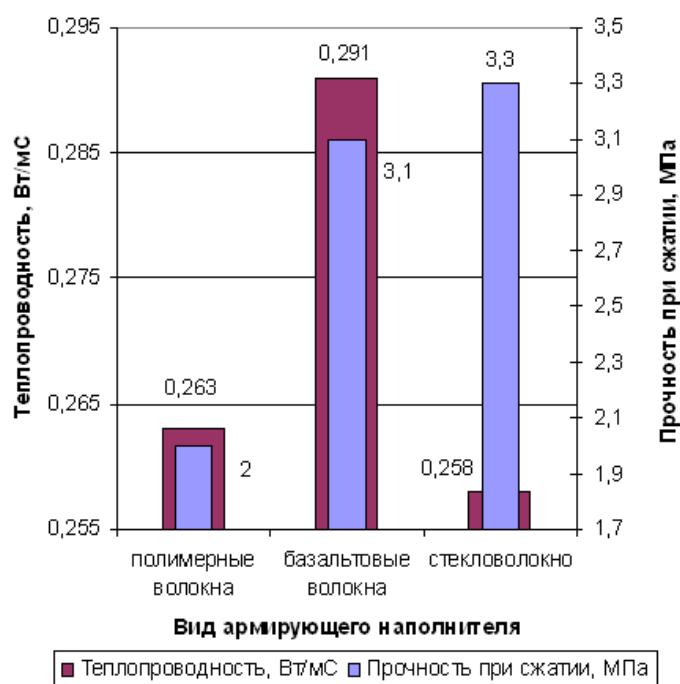


Рисунок 3 - Зависимость теплопроводности и прочности при сжатии от вида армирующей добавки в количестве 0,4 %.

Теплопроводность газогипсовых изделий с использованием стекловолокна ниже на 11,34 % по сравнению с изделием на базальтовом волокне.

Испытания показали, что при использовании в качестве армирующего материала супертонкого базальтового волокна, несмотря на различные способы введения его в состав газогипсовой смеси, достичь равномерного распределения их по объему газогипсовой смеси не представляется возможным.

При введении полимерных волокон газогипсовый материал обладает низкими прочностными характеристиками, при незначительном снижении плотности.

В свою очередь, стеклянные волокна равномерно распределяются по всему объему газогипсовой смеси и заметно стабилизируют процесс ее поризации.

Далее при изготовлении газогипсовых изделий стекловолокно предварительно измельчалось до удельной поверхности 190-240 м²/кг. Удельная поверхность определялась по методике определения удельной поверхности цемента на ПСХ-4 (прибор Соминского-Ходакова).

Исследуемые составы и свойства приведены в таблице 1.

При использовании дисперсного стекловолокна с удельной поверхностью до 190 м²/кг прочность при сжатии газогипса составляет 3,15 МПа.

При использовании стекловолокна с удельной поверхностью 220 м²/кг прочность при сжатии составляет 3,7 МПа, то есть увеличивается на 15 %.

Таблица 1 - Влияние дисперсности стекловолокна на плотность и прочность при сжатии

Удельная поверхность стекловолокна, м ² /кг	Прочность при сжатии, МПа	Плотность, кг/м ³	Общая пористость, %
190	3,15	902	66,6
220	3,7	890	67,04
240	3,4	884	67,3

При удельной поверхности стекловолокна 240 м²/кг прочность при сжатии составляет 3,4 МПа, то есть увеличивается на 7 %. При этом средняя плотность изменяется незначительно.

Снижение плотности и увеличение прочности газогипса достигается при введении в смесь стекловолокна, предварительно измельченного до удельной поверхности 220 м²/кг.

Заключение

Введение армирующей добавки в виде измельченного стеклянного волокна увеличивает прочность при сжатии газогипса на 48,6 % по сравнению с составом при введении полимерного волокна. По сравнению с составом на основе базальтового волокна прочность при сжатии увеличивается на 18,6 %, а теплопроводность снижается на 11,3%.

Получаемый таким образом газогипс может рассматриваться как стеновой материал, применяемый в межкомнатных перегородках в помещениях с относительной влажностью воздуха до 60% или как звукоизоляционный материал при устройстве полов.

Список литературы

1. Завадская, Л. В. Газогипсовые материалы, армированные волокнистыми добавками / Л. В. Завадская, Л. В. Ильина, Г. И. Бердов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2011. – № 7(631). – С. 16-20. – EDN OZNFIT.
2. Исследования газогипса с наномодифицирующими добавками / Л. Ю. Матвеева, Д. Н. Бочкова, Ю. А. Строгонов, Е. Д. Маркова // Жизненный цикл конструкционных материалов, Иркутск, 06 июня 2022 года. – Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2022. – С. 58-63. – EDN KTRSRH.

Макеев А.И., Кукина О.Б. СЕДИМЕНТАЦИОННАЯ СЕПАРАЦИЯ ПЫЛЕВИДНОЙ ФРАКЦИИ ГРАНИТНОГО ОТСЕВА

Макеев Алексей Иванович, Кукина Ольга Борисовна
 ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»,
 кафедра «Технологии строительных материалов, изделий и конструкций»,
 г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84, 394006

Аннотация. Доклад посвящен вопросам повышения эффективности строительно-технологической утилизации отходов камнедробления (отсевов) за счет использования их пылевидной фракции, которая при существующих способах обогащения отсевок выбрасывается. Цель исследований - оценка содержания в пылевидной фракции гранитного отсева наночастиц SiO_2 и возможностей их извлечения. Описана технология седиментационной сепарации пылевидной фракции отсева. Представлены результаты анализа продуктов сепарации. Установлено, что отдельный интерес как носитель наночастиц представляет вода осветления после использования ее в качестве дисперсионной среды для седиментации частиц.

Ключевые слова: отсев дробления, пылевидная фракция, седиментационная сепарация, наночастицы SiO_2 , коллоидные суспензии.

Принятая в России технология производства гранитного щебня сопровождается образованием отсева (частиц фракции менее 5 мм) в количестве до 25 % от объема исходной породы [1]. Сверхнормативное содержание в отсевах пылевидной фракции (микродисперсных частиц размером менее 0,16 мм) препятствует его использованию как эффективного заполнителя в бетонах [2, 3], поэтому отсев накапливается в отвалах, ухудшая экологическую обстановку в регионе. Для утилизации отсева в бетонах, по мнению ведущих ученых и специалистов [4-6], необходимо его обогащение, под которым понимается обеспыливание отсева. При этом отделяемая пылевидная фракция, как правило, в виде пульпы скачивается в пруд-осадитель. Туда же направляется пыль из аспирационной системы горно-обогажительного предприятия.

Между тем, указанная пылевидная фракция может являться носителем наноразмерных частиц SiO_2 (НРЧ SiO_2) [7], которые в настоящее время успешно используются как нанодобавки для модифицирования цементных систем твердения благодаря способности нанокремнезема выполнять каталитическую функцию центров кристаллизации новообразований и непосредственно влиять на кинетику гетерогенных процессов фазообразования гидратных соединений [8, 9]. В результате выполненных нами исследований установлено [10], что в пылевидной фракции отсева дробления гранита (продукта взрывных, ударных и истирающих воздействий) содержатся микро- и наноразмерные частицы, проявляющие физико-химическую активность в процессах структурообразования цементных композитов. Это подтверждается исследованиями зарубежных ученых, которые обнаружили в отходах резки гранита НРЧ SiO_2 размером от 19 до 162 нм [11], введение которых в бетонную смесь позволило повысить прочность бетона на 40 % по сравнению с контрольным составом.

Целью данного этапа исследований являлось изучение возможностей извлечения НРЧ SiO_2 из пылевидной фракции отсева. В качестве решения вопроса было решено использовать разработанную в лаборатории строительно-технологической утилизации техногенных отходов ВГТУ методику седиментационной сепарации пылевидной фракции отсева [12].

Исходным материалом (дисперсной фазой) для сепарации служила пылевидная фракция отсевок дробления гранита (рис. 1) Шкурлатовского

месторождения Воронежской области производства ОАО «Павловск-неруд». Минералогический состав исходной породы: полевые шпаты – 55 %, кварц - 15-39 %, биотит + хлорит - 10-15 % по массе. Химический состав (усредненный): SiO_2 – 65,5 %, Al_2O_3 – 14 %, Fe_2O_3 – 3,8 %, CaO – 2,3 %, MgO – 1,1 %, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ – 6,6 %, TiO_2 – 0,5 %, SO_3 – 0,5 %.

Седиментационная сепарация пылевидной фракции гранитного отсева основана на закономерностях осаждения твердофазовых дисперсных частиц в жидкой дисперсионной среде, при котором частицы одинаковой плотности, но разного размера и массы осаждаются под действием силы тяжести с разной скоростью, которую можно оценить по уравнению Стокса:

$$\omega_{oc} = \frac{d^2(\rho - \rho_c)g}{18\mu_c}, \quad (1)$$

где ω_{oc} – скорость осаждения, м/с, шарообразной частицы диаметром d , м; ρ и ρ_c – плотность частицы и дисперсионной среды соответственно, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; μ_c – динамический коэффициент вязкости среды, Па·с.

Следует указать, что уравнение (1) с высокой точностью описывает движение твердых частиц лишь в диапазоне их массовых концентраций в дисперсионной среде 0,75...2,25 % (бесконечно разбавленные суспензии) [13], когда соблюдаются условия свободного осаждения.

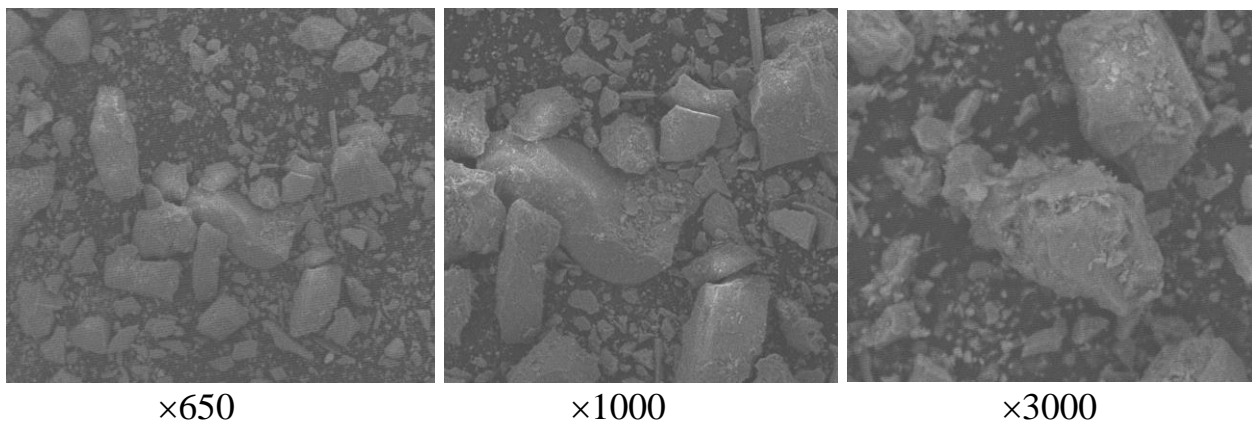


Рисунок 1 - Внешний вид исходной пылевидной фракции при разном увеличении (СЭМ, микроскоп Phenom XL)

Сепарация частиц осуществлялась следующим образом: высушенный порошок (дисперсную фазу) помещали в сосуд, заливали дисперсионной средой (водой), интенсивно взбалтывали, оставляли в покое и через 1 мин при помощи резиновой трубки сливали взвесь над осадком в другой сосуд (рис. 2). После отстаивания в течении 10 мин взвесь, таким же образом, перекачивали в третий сосуд и оставляли до полного осветления на 5...7 суток, и снова перекачивали. Далее осуществлялся один из двух вариантов. По первому варианту осветленную

воды выводили из оборота. Поскольку она, по сути, представляет собой взвесь с частицами коллоидных размеров, то получила название низкоконцентрированной коллоидной суспензии (НК, рис. 2). Другую часть многократно возвращали в цикл в качестве дисперсионной среды, и ее назвали высококонцентрированной суспензией (ВК, рис. 2), поскольку концентрация взвешенных частиц дисперсионной фазы в ней априори должна быть выше, чем в НК.

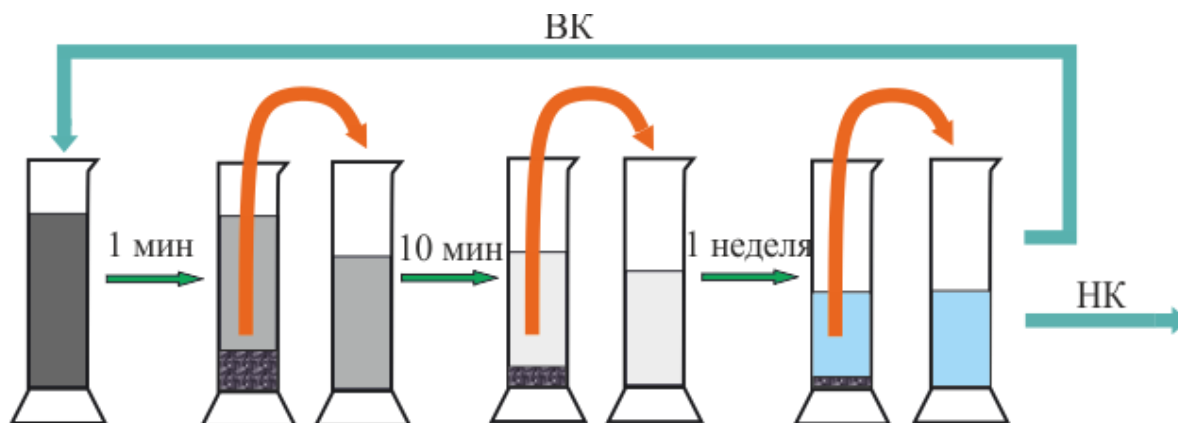


Рисунок 2 - Схема седиментационной сепарации тонкодисперсных фракций

Полученный в каждом сосуде осадок высушивали с получением трех фракций гранитного порошка разной дисперсности.

Исследования полученных продуктов сепарации проводили с использованием научного оборудования Центра коллективного пользования им. проф. Ю.М. Борисова Воронежского государственного технического университета и кафедры коллоидной химии и высокомолекулярных соединений Воронежского государственного университета. Исследование фазового состава продуктов сепарации осуществляли на дифрактометре ARL X'TRA методом порошковой рентгеновской дифрактометрии. Анализ зернового состава частиц продуктов сепарации выполнялся с помощью лазерного дифрактометра ANALYSETTE 22 Nano Тес фирмы Fritsh. Концентрацию взвешенных частиц по массовой доле в коллоидных суспензиях определяли гравиметрическим методом. Водородный показатель pH суспензий определяли на лабораторном иономере ИЛ 160. Размер наночастиц в суспензиях определяли с помощью модульного спектрометра динамического и статического рассеяния света Photocor Complex.

Согласно данным рентгенодифрактометрических исследований, все три фракции твердых продуктов седиментационной сепарации пылевидной фракции гранита характеризуются составом, совпадающим с исходной породой с небольшими колебаниями (рис. 3): более 50 % – альбит $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, 30...35 % – кварц SiO_2 , 5...10 % – хлорит $\text{Fe}_4\text{Al}_4\text{Si}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_8$. При этом, согласно интенсивности дифрактометрических линий, содержание альбита во фракции из осадка 1 недели больше, чем в других фракциях.

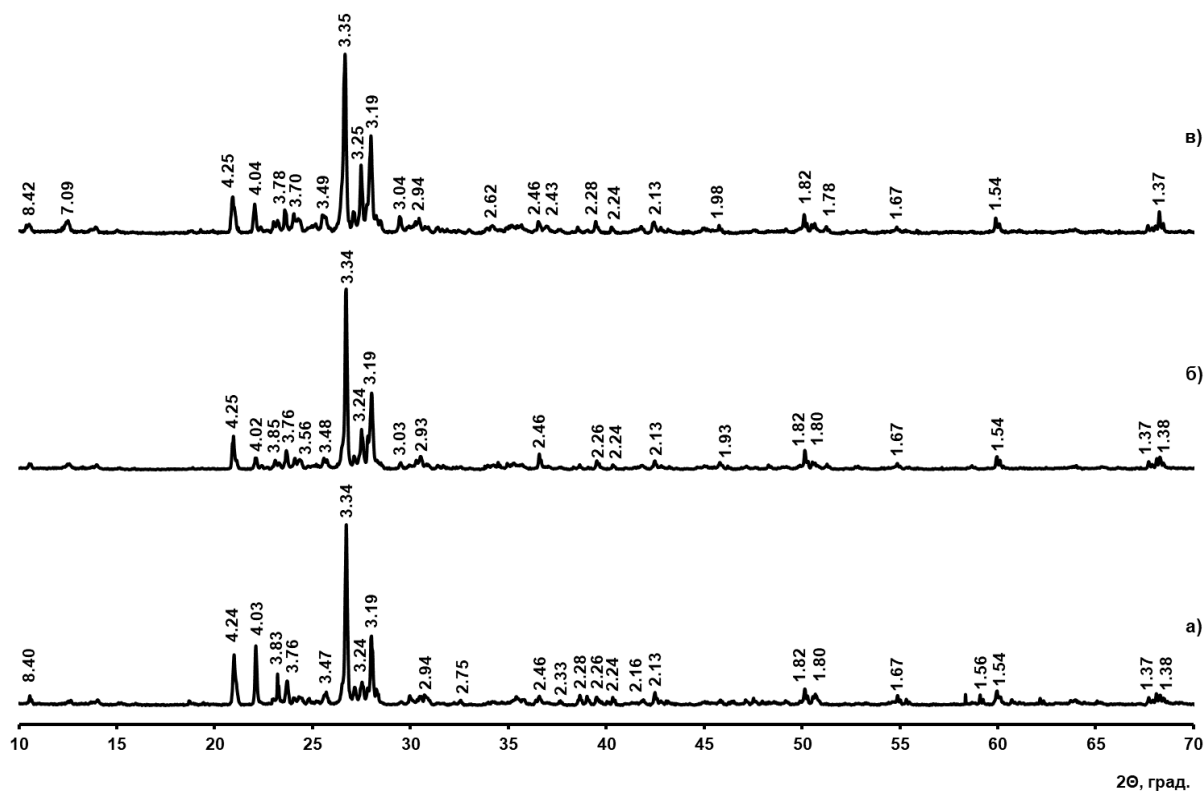


Рисунок 3 - Рентгенограммы фракций гранитного порошка из осадка:

а) 1 мин; б) 10 мин; в) 1 неделя

кварц SiO_2 ($d = 4.25; 3.35; 2.45; 1.82; 1.54; 1.38$); хлорит $\text{Fe}_4\text{Al}_4\text{Si}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ ($d = 3.48; 2.26; 1.55; 1.51; 1.39$); альбит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Na}_2\text{O} \cdot 6\text{SiO}_2$ ($d = 3.70; 3.21; 2.95; 2.45; 2.12; 1.82$)

Это подтверждается данными элементного анализа состава частиц с помощью электронной микроскопии (рис. 4). Установлено, что более крупные массивные частицы исходного гранитного порошка представлены преимущественно кварцем, а более мелкие частицы таблитчатой формы (см. рис. 1) – альбитом.

Результаты анализа зернового состава продуктов сепарации с помощью лазерного дифрактометра FRITISCH представлены на рис. 5 и в таблице. Полученные экспериментальные данные сравнивали с расчетными размерными границами фракций, определенными по преобразованной формуле (1):

$$d = \sqrt{\frac{18 \cdot \mu_c \cdot h}{(\rho - \rho_c) \cdot g \cdot \tau}}, \quad (2)$$

где h – высота осаждения, м; τ - время осаждения, с.

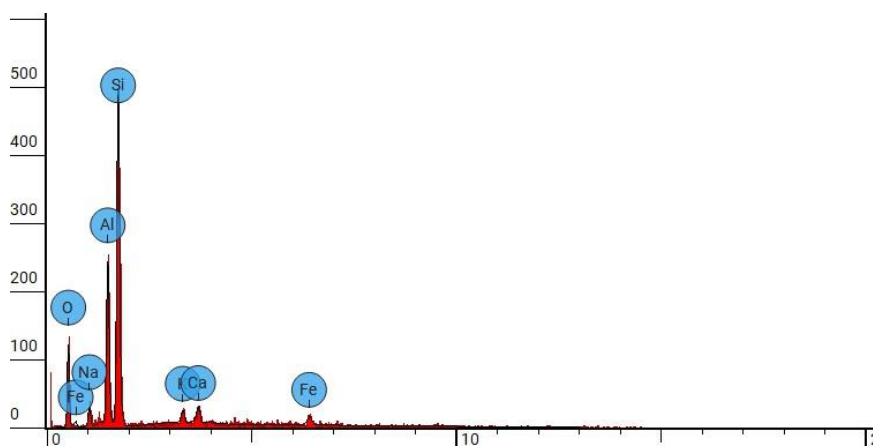


Рисунок 4 - Элементный состав пылевидной фракции (СЭМ, микроскоп Рhenom XL)

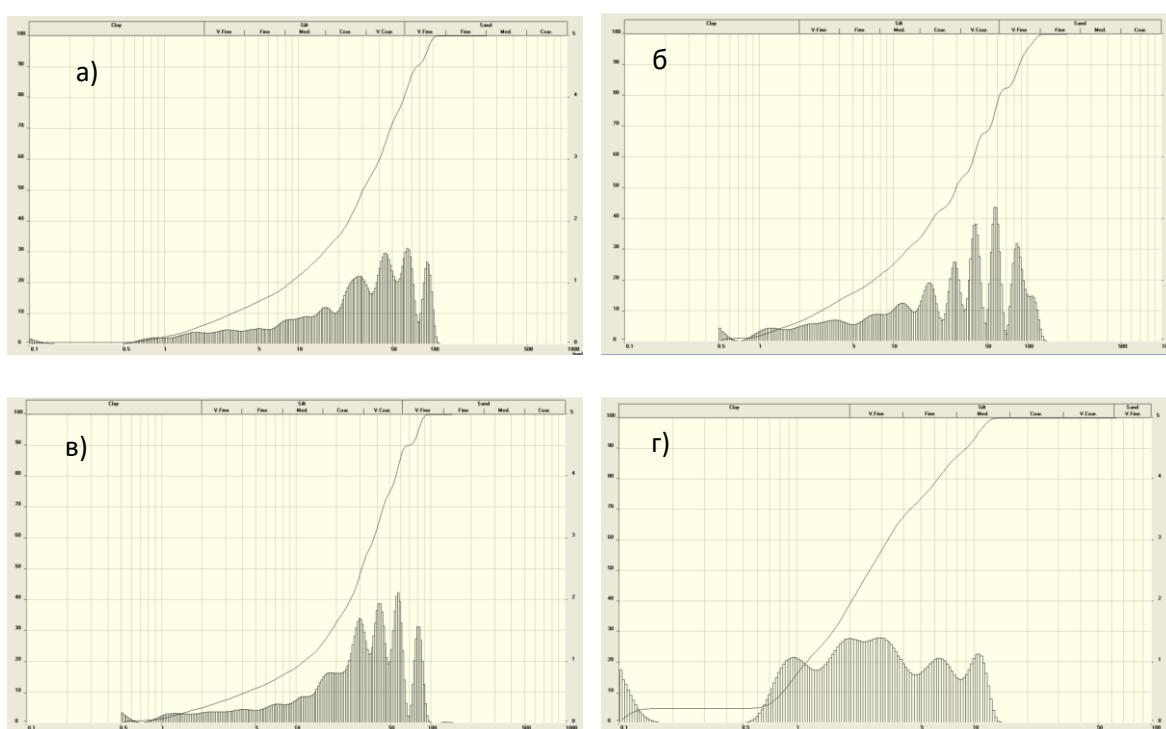


Рисунок 5 - Гранулометрический состав продуктов седиментационной сепарации пылевидной фракции:

а) исходная фракция, б) осадок 1 мин, в) 10 мин, г) 1 неделя

Таблица 1 - Характеристика твердофазных продуктов сепарации пылевидной фракции отсева дробления гранитного щебня Шкурлатовского месторождения

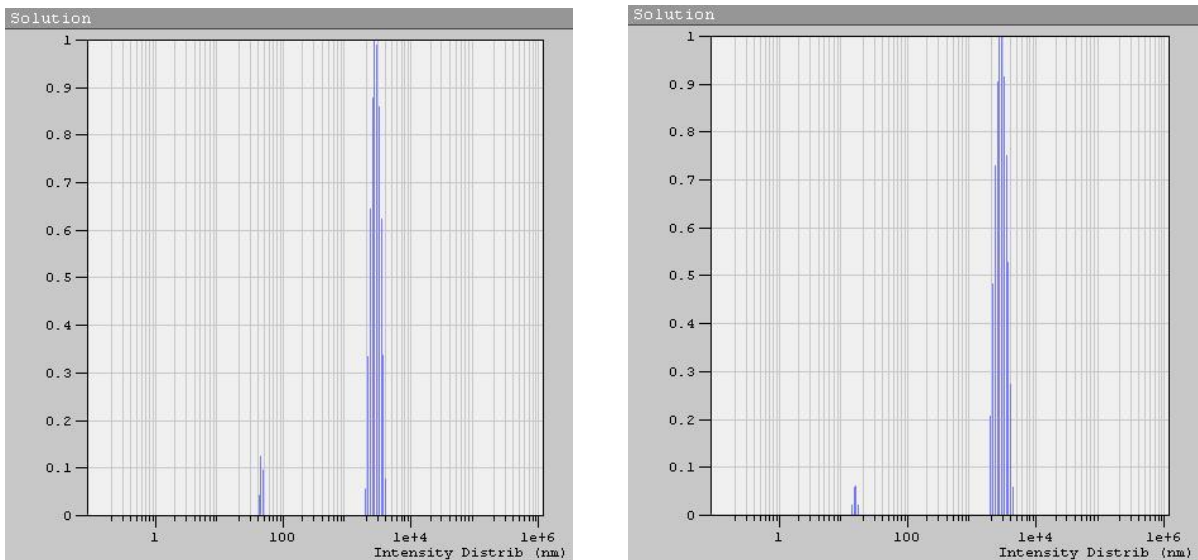
Показатель	Значение для фракции, полученной седиментацией в течении			
	0 мин	1 мин	10 мин	1 нед.
Содержание по массе, %	100	50,7	34,3	15,0
Размер частиц, мкм: по Стоксу (2) опытный (средний)	≤ 160	50...160	10...50	< 10
		29,5	37,8	28,5
Среднее соотношение	1,6	1,7	2,2	3,5

габаритных размеров частиц				
----------------------------	--	--	--	--

То, что средний размер частиц осадка, образовавшегося за 1 мин седиментации, оказался меньше расчетных значений, может быть связано с тем, что в начальные сроки осаждение происходило в стесненных условиях, когда частицы большего размера захватывали более мелкие частицы. Из этого следует, что для увеличения выхода более тонких продуктов сепарации необходима многократная седиментация (отмучивание) первоначального осадка.

В дальнейшем испытаниям подвергали полученные в результате сепарации суспензии. Выпаривали пробы суспензий на водяной бане, высушивали до постоянной массы и взвешивали сухой остаток на аналитических весах VIBRA с точностью $\pm 0,0002$ г. Установлено, что массовая доля взвешенных частиц в суспензии НК составляет 0,0366 %, при этом они имеют бимодальный характер распределения по размерам (рис. 6): 96 % (по массе) частиц находятся в диапазоне 2-4 мкм и 4 % представляют собой наночастицы размером 30-40 нм.

Концентрация взвешенных частиц в суспензии ВК составляет 0,0542 %, они имеют такой же бимодальный характер, но в ВК содержатся в основном частицы размером 2-4,5 мкм (97 %), а также 2-3 % наночастиц размером 15 нм (рис. 6).



НК

ВК

Рисунок 6 - Гранулометрический состав взвешенных частиц в суспензиях

Установлено, что по кислотности суспензия НК представляет собой нейтральную среду (водородный показатель $pH = 7$), а ВК имеет $pH = 8$, то есть демонстрирует слабоосновную реакцию. Возможно, это связано со щелочным химическим составом частиц взвеси гранитного отсева, которых в ВК содержится практически на 50 % больше.

Полученные экспериментальные данные позволяют сделать прогноз о возможной физико-химической активности гранитного отсева в цементных системах, исходя из наличия в их составе нано- и микроразмерных частиц. Отсюда следует, что продукты седиментационной сепарации пылевидной фракции гранитного отсева (которая при его обогащении выбрасывается) могут служить

источником дешёвого и эффективного модификатора структуры цементного камня. В соответствие с этим, программа дальнейших исследований включает в себя изучение влияния твердофазных продуктов сепарации разных фракций, вводимых в качестве минеральных добавок в цементные системы, на кинетику гидратации и прочность цементного камня. Такие же показатели предполагается определять для цементных систем, затворенных коллоидными суспензиями разных концентраций.

Список литературы

1. Капустин Ф.Л., Перепелицын В.А., Пономарев В.Б., Лошкарев А.Б. Повышение эффективности использования отсеков дробления скальных горных пород // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2017. № 3. С. 103-107.
2. Морозов Н.М., Авксентьев В.И., Боровских И.В., Хозин В.Г. Применение отсеков дробления щебня в самоуплотняющихся бетонах // Инженерно-строительный журнал. 2013. №7. С. 26-31
3. Демьянова В.С., Чумакова О.А. Комплексное использование материалов и отходов добычи камнедробления нерудных полезных ископаемых в мелкозернистых бетонах нового поколения // Региональная архитектура и строительство. 2014. № 4. С. 57-60.
4. Аликин А.В. Модифицирование и кондиционирование отсеков гранитного щебня // Записки Горного института. 2011. Т. 189. С. 274-276.
5. Батяновский Э.И., Смоляков А.В., Федорович П.Л. Обеспечение качества бетона при использовании цемента с гранитным отсеком и обогащении песка его крупными фракциями // Технологии бетонов. 2014. № 6. С. 37-39.
6. Бурба Д.В., Сафончик Д.И. К вопросу о применении гранитных отходов камнеобработки РУПП "Гранит" при создании эффективных строительных материалов // Архитектура, строительство, транспорт : материалы Международной научно-практической конференции (к 85-летию ФГБОУ ВПО "СибАДИ"). Омск. 2015. С. 467-471.
7. Макеев А.И., Чернышов Е.М. Пылевидная фракция отсеков дробления гранита как носитель микронаночастиц, участвующих в структурообразовании цементных бетонов // Нанотехнологии в строительстве. 2018. Том 10, № 4. С. 20–38.
8. Артамонова О.В., Шведова М.А. Нанодобавки как эффективные модификаторы структуры и свойств цементных систем твердения // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2020. № 9. С. 124-136.
9. Копаница Н.О., Демьяненко О.В., Куликова А.А. [и др.] Композиционные строительные материалы на основе наномодифицированных цементных систем // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2023. Т. 15, № 5. С. 443-452.
10. Макеев А.И. Отсевы дробления гранита как компонентный фактор формирования структуры бетона. Часть II: Экспериментальные исследования структурообразующего потенциала // Строительные материалы. 2024 год. № 1-2. С. 59–66.

11. Bakhoun E. S., Garas G. L., Auam M. E., Ezz H. The Role of Nano-Technology in Sustainable Construction: A Case Study of Using Nano Granite Waste Particles in Cement Mortar // Engineering journal. 2017. Vol. 21. I. 4.

12. Makeev A.I. Научно-техническое обоснование технологии глубокой переработки отсеков дробления гранитного щебня // Научный журнал строительства и архитектуры. 2011. № 3. С. 56-67.

13. Коузов П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов. Л.: Химия, 1987. 264 с.

Монастырев П.В., Ельчищева Т.Ф., Таскалиев А.Т. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ТЕРМОЛИТА И БЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

*Монастырев Павел Владиславович^{1,3}, Ельчищева Татьяна Федоровна^{1,4},
Таскалиев Азамат Тюленкалиевич^{2,5},*

*¹ Тамбовский государственный технический университет, ³ кафедра
«Конструкции зданий и сооружений», ⁴ кафедра «Архитектура и
градостроительство», г. Тамбов, ул. Советская 106/5, помещение 2, 392000*

*² Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет,
⁵ кафедра «Архитектура и строительство», Республика Казахстан,
г. Уральск, ул. Чапаева 69, 090000*

Аннотация. В статье отражены основные методы и способы изучения и использования в промышленности строительных материалов природного ископаемого, относящегося к кремнистым породам – опоки. Освещается природа происхождения опоки, ее месторождения, анализ запасов. Опока исследовалась как сырье для изготовления термолита, используемого в качестве легкого (крупного и мелкого) заполнителя при изготовлении бетонных изделий и конструкций. Термолит был получен путем высокотемпературного обжига опоки при 1150 °С в лабораторных и промышленных условиях. Лабораторные исследования термолита в аккредитованных испытательных лабораториях показали соответствие его химического состава, прочностных свойств и радиационной безопасности нормативным требованиям. На основе проведенных испытаний на термолит получен сертификат качества продукции.

Ключевые слова: опока, кремнистая порода, термолит, строительные материалы, заполнитель.

Кремнистые породы состоят из минералов группы оксидов кремния – опала – аморфного кремнезема. Одна из разновидностей кремнистых пород – опока. Опока состоит из микрозернистого опала, являющегося продуктом растворения и переотложения кремнистого вещества, прилипшего к скелетам диатомей (диатомеи, или диатомовые водоросли, представляют группу водорослей, отличающихся наличием у клеток «панциря» из диоксида кремния).

Основным материалом для панцирей диатомовых водорослей является кремнезем, который попадал в воду за счет выветривания горных пород или в результате последствий землетрясений [1].

В природе диатомовые водоросли в основном одноклеточные, они являются основой для морского планктона и создают до 25% органического вещества планеты. В клетки диатомовых водорослей кремний попадает через белки транспорта кремниевой кислоты.

Диатомовые водоросли встречаются практически во всех водоемах, почве, содержатся в большем количестве во льдах Арктики и Антарктики [2].

В основном месторождения опоки расположены возле подножий холмов. Одно из них находится около горы Большая Ичка Западно-Казахстанской области, высота горы составляет 259 м над уровнем моря, общая площадь, занимаемая горой – 175 га [3]. Подошва горы состоит глины, мела и опоки.

Месторождение опоки длиной до 1200 м, шириной около 400 м и мощностью слоя до 30 м находится восточнее г. Уральска на расстоянии 80 км. В настоящее время опока используется для строительства грунтовых дорог и возведения насыпей для дорог с твердым покрытием. Запасы месторождения опоки составляют 21619 тыс. м³ [4]. Способ добычи – открытый (рис. 1).



Рисунок 1 - Месторождение опоки

Месторождение находится в Прикаспийской впадине и располагается горизонтально в виде пластов палеоценового возраста вблизи железнодорожной станции Шипово в с. Таскала, расположена в северо-западной части Западно-Казахстанской области. Станция Шипово Казахстанских железных дорог построена в 1894 г. при строительстве линии «Покровская Слобода – Уральск» Рязанско-Уральской железной дороги, координаты станции: 51°06'29.4" с. ш. 50°17'46.8" в. д. / 51.108167° с. ш. 50.296333° в. д. Изучено Шиповское месторождение опоки, которое расположено в 1,7 – 2,8 км к Ю-В от станции Шипово, проведен отбор нескольких десятков проб с различной глубины и в

различных точках по периметру месторождения в соответствии с рекомендациями [5].

Изучение свойств опоки проводились в соответствии с ГОСТ 22263-76 «Щебень и песок из пористых горных пород. Технические условия». Физико-механические исследования опоки определялись в соответствии с ГОСТ 8269.0-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний».

Изучение физико-механических свойств опоки проводилось для фракций 5 – 10, 10 – 20, 20 – 40 мм, являющихся основными размерами заполнителя для производства бетонных изделий и конструкций.

Результаты лабораторных исследований по определению физико-механических свойств опоки представлены в табл. 1. Наибольшую насыпную плотность, составляющую 635 – 640 кг/м³, имеет фракция 5 – 10 мм, все фракции имеют водопоглощение 25 – 28 %, прочность выше у фракции 20 – 40 мм, она составляет 4,0 – 4,1 МПа. Самая низкая теплопроводность у фракции 20 – 40 мм, она составляет 0,06 – 0,07 Вт/м × К.

Таблица 1 – Физико-механические свойства опоки

Размер фракций, мм	Насыпная плотность, кг/м ³	Водопоглощение, %	Предел прочности при сжатии, МПа	Теплопроводность, Вт/м × К
5 – 10	635 – 640	27 – 28	3,4 – 3,5	0,11 – 0,12
10 – 20	620 – 625	26 – 27	3,8 – 3,9	0,08 – 0,09
20 – 40	585 – 590	25 – 26	4,0 – 4,1	0,06 – 0,07

По результатам минералого-петрографического анализа в соответствии с ГОСТ 33031-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Определение минералого-петрографического состава» определено содержание опаловой массы, имеющей наибольшее количество по сравнению с другими составляющими – до 69,55%. По уменьшению содержания в опоке минералы располагаются в следующем порядке: глинистые минералы – 15,56 %, цеолит – 3,2%, гидроксид железа – 2,73%, глауконит – 2,2%, полевошпат – 1,03 %, слюда – 2,19 %, кварц – 1,75%, кальцит – 0,9%, органика углефицированная – 0,75%.

Свойства термолита определялись согласно ГОСТ 9758-2012 «Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний».

Для изготовления термолита в лабораторных условиях использовалась электропечь камерная общепромышленная СНОЛ 80/12. Обжиг опоки фракций 5 – 10 мм, 10 – 20 мм и 20 – 40 мм производился при температуре 1150 °С.

Прочность термолита определялась на прессе ПГМ-50МГ4. Для определения морозостойкости использовалась камера тепла и холода КТХ-150, теплопроводность измерялась методом теплового зонда прибором ИТП-МГ4

«ЗОНД» (табл. 3) по ГОСТ 30256-94 «Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности цилиндрическим зондом».

В лаборатории инженерного профиля «ИРГЕТАС» Восточно-Казахстанского государственного технического университета имени Д. Серикбаева, был проведен анализ термолита в 5 спектрах с использованием растрового электронного микроскопа JSM 6390LV (ГОСТ Р 8.631-2007 «Государственная система обеспечения единства измерений. Микроскопы электронные растровые измерительные. Методика поверки» (рис. 2).

Получены следующие результаты химического состава (табл. 2): кислород O (54,43 – 61,40 %), натрий Na (0,63 – 2,52 %), магний (0,57 – 1,01 %), алюминий Al (3,73 – 4,82 %), кремний Si (19,92 – 30,94 %), сера S (0,46%), хлор (0,24 – 2,05 %), калий (0,29 – 1,68 %), кальций Ca (0,54 – 0,99 %), титан Ti (0,16 – 0,19 %), железо Fe (2,49 – 19,01 %).

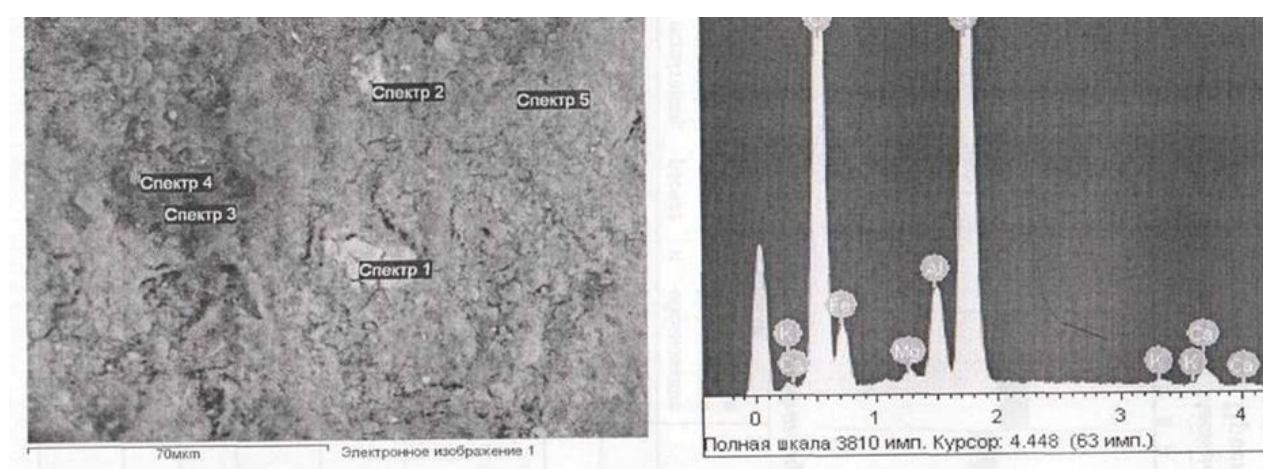


Рисунок 2 - Спектральный анализ термолита

Таблица 2 – Химический состав термолита

Спектр	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe
Спектр 1	55,07		0,57	4,15	19,92			0,29	0,99		19,01
Спектр 2	54,77		0,75	4,07	22,85			0,53	0,57	0,19	16,26
Спектр 3	54,43	2,52	0,73	3,73	30,94	0,46	2,05	1,68	0,98		2,49
Спектр 4	61,40	0,63	0,87	4,37	27,06		0,24	0,76	0,54	0,17	3,97
Спектр 5	58,85		1,01	4,82	28,19			0,67	0,58	0,16	5,71
Макс.	61,40	2,52	1,01	4,82	30,94	0,46	2,05	1,68	0,99	0,19	19,01
Мин.	54,43	0,63	0,57	3,73	19,92	0,46	0,24	0,29	0,54	0,16	2,49

По результатам измерений удельной эффективной активности ЕРН, проведенным отделом испытаний Западно-Казахстанского филиала АО «Национальный центр экспертизы и сертификации», выдан сертификат №1384 на пригодность полученного термолита в строительстве. Измерение проводилось согласно ГОСТ 30108-94 «Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов» и составило 48 ± 11 Бк/кг, что значительно ниже нормативного значения (не более 370 Бк/кг).

Материалу присвоен I класс, что позволяет применять термолит во всех видах строительства.

Основными технологическими операциями при производстве термолита [6] является измельчение (дробление) и высокотемпературный обжиг [7]. Согласно ГОСТ 22263-76 «Щебень и песок из пористых горных пород. Технические условия», термолит не должен содержать зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы более 35% по массе. Так как форма залежей опоки пластовая и линзовидная, то оптимальным способом дробления опоки является раскалывание. Указанный способ измельчения обеспечивается применением зубчатой двухвалковой дробилки.

Для обжига опоки оптимальным вариантом являются вращающиеся промышленные печи, обеспечивающие равномерный обжиг кусков опоки. Такие печи можно разделить на два технологических участка: в первом происходит сушка опоки; во втором – обжиг, расчетная длина печи составляет не менее 70 м. Наиболее подходящей из существующих технологий изготовления строительных материалов высокотемпературным обжигом для производства термолита является технологическая линия изготовления извести с применением зубчатой двухвалковой дробилки.

Опытно-промышленные испытания проводились на заводе по производству извести АО «Западно - Казахстанская корпорация строительных материалов». Для опытно-промышленного производства термолита была осуществлена добыча и транспортировка с месторождения 210 т опоки.

Термолит, полученный промышленным производством, получил от АО «Национальный центр экспертизы и сертификации» Республики Казахстан сертификат №1395435, подтверждающий его соответствие требованиям безопасности (качества) в строительстве. По результатам измерений удельной эффективной активности ЕРН, проведенным отделом испытаний Западно-Казахстанского филиала АО «Национальный центр экспертизы и сертификации», термолит, полученный промышленным способом, прошел сертификацию по ГОСТ 30108-94 на пригодность в строительстве (28 ± 6 Бк/кг).

В табл. 3 приведена сравнительная характеристика строительных материалов, таких, как природный щебень, керамзит и термолит.

Таблица 3. Характеристики строительных материалов

№	Показатель	Щебень	Керамзит	Термолит
1	Насыпная плотность, кг/м ³	1500 – 2950	350 – 600	850 – 950
2	Марка по дробимости	не ниже 1000	не ниже 250	не ниже 1000
3	Удельная эффективная активность ЕРН, Бк/кг	370 – 1500	< 370	28 – 30
4	Марка по морозостойкости	не ниже F50	не ниже F15	не ниже F25
5	Марка по истираемости	не ниже И1	-	не ниже И1
6	Теплопроводность, Вт/м×К	3,0 – 3,5	0,07 – 0,15	0,1 – 0,12

7	Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм опоки, не более 15%	не более 10	–	7,0
8	Содержание пылевидных и глинистых частиц, не более 0,5%	не более 0,5	–	0,2
9	Содержание зерен слабых пород, не более 5%	не более 2	–	3,1

Определение физико-механических свойств термолита (фракция 20 – 40 мм) проводились в испытательной аккредитованной лаборатории АО «Уральскдорстрой» согласно нормативным документам СТ РК 1284-2004 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия» (государственный стандарт Республики Казахстан) и СНиП РК 3.03-09-2006 «Автомобильные дороги» (протокол испытаний №34).

Марка по дробимости термолита не ниже 1000, что позволяет отнести термолит к прочным материалам. Марка по истираемости не ниже И1, что является хорошим показателем по истираемости поверхности.

Марка по морозостойкости не ниже F25, удельная эффективная активность радионуклидов – 28 – 30 Бк/кг, теплопроводность 0,12 – 0,14 Вт/м×К. Проведенные исследования показали, что содержание лещадной и игловатой форм – 0,24%, слабых пород – 3,1 %, глинистых частиц – не более 0,2%. Насыпная плотность составляет 850 – 950 кг/м³.

В результате проведения научно - исследовательских работ был запроектирован состав бетона на основе термолита, включающий: портландцемент М400 (ГОСТ 31108–2020 «Цементы общестроительные. Технические условия») производства «Вольский цементный завод» («Вольскцемент»), г. Вольск Саратовской области – 235 кг; термолит фракции 10 – 20 мм составил 655 кг; песок крупностью до 2 мм (ГОСТ 8736–2014 «Песок для строительных работ. Технические условия»), Желаевское месторождение Западно-Казахстанской области – 335 кг; вода (ГОСТ 23732-2011 «Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия») 10 – 80 л (в зависимости от влажности песка).

Из указанного состава на вибропрессе «Мастерок-Метеор», было организовано изготовление легобетонных блоков, тротуарной плитки и тротуарного бордюра.

В результате лабораторных исследований были определены физико-механические свойства бетонных изделий (табл. 4).

Таблица 4 - Физико-механические свойства бетонных изделий на основе термолита

Наименование изделий	Прочность при сжатии, МПа	Плотность, кг/м ³	Теплопроводность, Вт/м×К	Водопоглощение, %
Легкобетонный блок	11,5 – 12,0	890 – 895	0,75 – 0,8	22,8 – 23,5
Бордюр тротуарный	17,2 – 17,5	1130 – 1135	–	9,8 – 10,25
Тротуарная плитка	15,5 – 15,8	1120 – 1125	–	9,8 – 10,25

Выводы.

Термолит, полученный из опоки путем высокотемпературного обжига, является перспективным материалом для изготовления теплоизоляционно-конструкционных бетонных изделий и конструкций.

Результаты научно-исследовательских работ подтверждают соответствие физико-механических свойств термолита требованиям нормативных документов для использования в качестве мелкого и крупного заполнителя при изготовлении бетонных изделий.

Дальнейшая научно-исследовательская работа будет направлена на изучение использования опоки без обжига как легкого заполнителя при производстве бетонов (термиз, теплопорит); применения термолита в железобетонных изделиях и конструкциях с использованием модифицирующих добавок и разработки рациональных технологических способов изготовления строительных материалов на основе опоки.

Список литературы

1. Минералы и горные породы СССР / Т. Б. Здорик, Л. Г. Фельдман, И.Н. Тимофеев, В.В. Матиас. – М.: Мысль, 1970. – 488 с.
2. Recent decadal trends in global phytoplankton composition / Cecile S. Rousseaux, Watson W. Gregg // Journal of Global Biogeochemical Cycles. – 2015. – Vol. 29, No. 10. – Pp. 1674-1688. – DOI: 10.1002/2015GB005139.
3. Ахмеденов, К.М. Памятник природы «гора Большая Ичка» как уникальный объект солянокупольных ландшафтов Западного Казахстана / К.М. Ахмеденов, Д.М. Дудин // Молодой ученый. – 2016. – № 6(110). – С. 314–318.
4. Камалов С.М., Ли К.А. География размещения месторождений природных ископаемых Уральской области и их народнохозяйственное значение. – Уральск: Диалог, 1992. – 156 с.
5. Инструкция по применению классификации запасов к месторождениям кремнистых пород (диатомит, спонголит, трепел, опока). – М., 1984. – 36 с.
6. Тяпкин, В.А. Получение термолита из опочного гравия и бетона на его основе (Часть 1) / В.А. Тяпкин, В.И. Калашников, И.В. Ерофеева // Современные

научные исследования и инновации. – 2015. – № 4 (48). – Режим доступа: <https://web.snauka.ru/issues/2015/04/51697> (дата обращения 30.12.2024).

7. Макридин, Н.И. Влияние фазовых превращений в процессе обжига опоки на ее физико-механические свойства / Н.И. Макридин, И.Н. Максимова, Ю.В. Полубарова // Региональная архитектура и строительство. – 2020. – №1(42). – С. 77–85.

Ткач Е.В., Бурьянов А.Ф., Филимонова Ю.С., Шусев Г.А. МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ТЯЖЕЛЫЙ БЕТОН, РАБОТАЮЩИЙ В СУРОВЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Е.В. Ткач¹, А.Ф. Бурьянов¹, Ю.С. Филимонова², Г.А. Шусев³

¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия

²ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», г. Москва, Россия

³ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», г. Москва, Россия

Аннотация. К бетону для изготовления конструкций, работающих в суровых условиях эксплуатации, устанавливают требования, отличные от требований для бетонов, применяемых в промышленном и гражданском строительстве. Такие специальные требования обусловлены, прежде всего, сложными условиями эксплуатации, в частности для тоннельных конструкций. Под воздействием целого комплекса агрессивных факторов окружающей среды данный вид конструкций частично или полностью разрушается, что в свою очередь снижает их проектный срок службы. Поэтому необходимым условием для повышения их долговечности является создание модифицированной плотной структуры бетона с улучшенными гидрофизическими свойствами: низкие показатели водопоглощения, капиллярного подсоса, водонепроницаемости и высокие показатели морозостойкости. В настоящее время имеются разработки по усилению и защите таких конструкций материалами с повышенной степенью сопротивляемости агрессивным факторам, например, полимерными композициями. Однако, полимербетоны не нашли широкого распространения из-за их дефицитности и высокой стоимости, поэтому на сегодняшний день основным строительным материалом при возведении тоннельных конструкций остаются бетон и железобетон. Таким образом, получение тяжелых бетонов, работающих в суровых условиях с повышенными эксплуатационными свойствами путем модифицирования его структуры является актуальной задачей.

Ключевые слова: конструкции тоннелей, агрессивные факторы окружающей среды, комплексный модификатор, гидрофизические свойства, суровые условия эксплуатации.

Цель: установить положительное действие комплексного модифицирования совместно с микроармирующим компонентом на гидрофизические свойства тяжелого бетона.

Объект: тяжелый бетон с комплексным модификатором (суперпластификатор+полимер+метакаолин), армированный волластонитом для тоннельных конструкций.

Результаты исследования: Установлено положительное влияние комплексного модифицирования на свойства тяжелого бетона путем уменьшения содержания вяжущего (цемента) и замены его метакаолином, позволяющее повышать гидрофизические характеристики: водопоглощение – 1,8%; марка по водонепроницаемости – W14, с достаточным запасом прочности и морозостойкости (F более 600 циклов), что дает возможность применять данный состав на практике для получения строительных конструкций с заданными характеристиками, эксплуатирующихся в условиях повышенной нагрузки и агрессивной среды, в частности, для конструкций тоннелей.

Введение

Тяжелый бетон является ключевым материалом при возведении тоннелей, обеспечивая высокую надежность и длительный срок эксплуатации сооружений. Для достижения оптимальных эксплуатационных характеристик — таких как прочность от 50 МПа и выше, плотность до 2500 кг/м³, водонепроницаемость W10 и стойкость к агрессивным средам — применяют различные модификаторы, усиливающие структуру и долговечность бетона [1-3]. Одним из важнейших направлений совершенствования бетонных смесей является введение химико-минеральных добавок, которые позволяют улучшить физико-механические показатели бетона [4-7] и сократить расход ресурсов, что особенно актуально в современных технологических условиях.

Существенное внимание уделяется использованию активных минеральных добавок [7-12], таких как микрокремнезем, зола и метакаолин, которые способствуют формированию более плотной и устойчивой структуры бетона. Исследования показывают, что добавление метакаолина в количестве 10-15% от массы вяжущего улучшает характеристики бетона, ускоряя гидратацию и повышая его прочность. Современные разработки также акцентируют внимание на применении дисперсного армирования различными типами фибры [13-16], что дополнительно усиливает структуру и прочность бетона, делая его более устойчивым к механическим нагрузкам и износу.

Совместное использование активных минеральных добавок и суперпластификаторов представляет значительный научный интерес, так как оно позволяет заметно улучшить свойства тяжелого бетона. Такой подход к модификации состава способствует увеличению прочности бетона при сжатии до 150 МПа, а также повышает его водонепроницаемость и стойкость к образованию трещин.

Таким образом, улучшение качественных характеристик тяжелого бетона остаётся актуальной задачей, требующей дальнейшего развития с учетом современных технологических направлений. Эти направления предполагают

совместное использование цементного вяжущего с комплексными модификаторами для обеспечения долговечности и надежности конструкций.

Материалы и методы

Экспериментальные исследования проводились в строгом соответствии с общепринятыми стандартными методиками, образцы подготавливались посерийно с соблюдением всех параметров выдержки и хранения до испытания. Общая схема исследования включала в себя логически взаимосвязанные этапы современного научного метода, в частности, концептуального планирования эксперимента с выделением наиболее важных исследуемых характеристик, определения необходимых свойств исходных компонентов, расчёта требуемых дозировок каждого компонента.

Химический и минеральный состав цемента определяли при помощи рентгенофазового и рентгенофлуоресцентного анализов, результаты которых представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Химический и минеральный состав портландцемента

Марка цемента	Химический состав, мас. %						
	Na ₂ O	SO ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
ЦЕМ I 42,5Н	0,83	0,6	0,88	3,9	64,1	5,89	23,8
	Содержание кристаллических фаз в клинкере, мас. %						
	C ₄ AF (4CaO·Al ₂ O ₃ ·Fe ₂ O ₃)		C ₃ A (3CaO·Al ₂ O ₃)		C ₂ S (2CaO·SiO ₂)		C ₃ S (3CaO·SiO ₂)
	11,46		6,97		11,5		60,92

Дисперсный состав, технологические и прочностные характеристики цемента определяли с использованием ситового анализа, пикнометрического метода, определения прочности на изгиб и сжатие в соответствии со стандартными методиками. Для определения механической прочности изготавливали образцы-балочки размером 4×4×16см из цементно-песчаного раствора с водоцементным отношением В/Ц=0,4. После изготовления образцы в формах содержали 1 сутки в ванне с гидравлическим затвором, в которой обеспечивался режим: относительная влажность воздуха не менее 90% и температура среды (20±2)°С. Через сутки образцы расформовали и затем 27 суток хранили в ванне с водой, температуру в которой контролировали в пределах (20±2)°С. По истечении срока хранения образцы-балочки вынимали из ванны с водой и не позднее, чем через 30 мин испытывали на прочность. Полученные результаты приведены в таблице 2. По результатам испытаний установлено, что цемент соответствует требованиям стандарта по нормируемым показателям: тест на равномерность изменения объема, начало схватывания цементного теста, прочности при сжатии через 2 и 28 суток.

В качестве мелкого заполнителя использовали природный песок с модулем крупности 2,5 с размером частиц от 0,16 мм до 2,5 мм производства ООО «Агат», расположенного в Александровском районе Владимирской области.

В качестве крупного заполнителя использовали гранитный щебень производства ООО «ДорНерудРесурс», г. Саратов, соответствующий

требованиям по содержанию зерен пластинчатой и игловатой формы – 11,0 %; пылевидных, илистых и глинистых частиц – 0,8 %; марка щебня по дробимости – 1400; марка щебня по морозостойкости – 300; насыпная плотность – 1420 кг/м³; удельная эффективная активность радионуклидов ($A_{эфф}$) – 92 Бк/кг; марка щебня по истираемости И-1. Максимум в распределении щебня по размерам приходился на 20 мм. Исследуемый заполнитель относится к среднезернистому типу кристаллической структуры. Для затворения бетонной смеси использовалась вода. Вода не содержит сульфатов более 2700 мг/л (в пересчете на SO₄), всех солей более 5000 мг/л, нефтяной шлам и накипь, содержание органических веществ менее 15 мг/л, pH 7,8, цвет отсутствует.

В качестве пластифицирующей добавки использовалась добавка-суперпластификатор Sunbo PC-1021 производства Sunbo (Китай), расход которой составлял 0,4% от массы вяжущего вещества, рекомендованный производителем.

В качестве водорастворимой полимерной добавки использовали добавку «Полидон-А» производства ООО «Оргполимерсинтез», г. Санкт-Петербург, соответствующую требованиям ТУ 9365-002-46270704-2001. Расход данной добавки составлял 0,3 % от массы вяжущего. «Полидон-А» представляет собой водный раствор поливинилпирролидона C₆H₉NO, плотностью 1200 кг/м³, вязкостью от 3000 до 6000 МПа·с при 25 °С, температурой плавления: 150-180 °С.

В качестве активной минеральной добавки применялся метакаолин марки ВМК-45. Метакаолин был произведён ООО «СИНЕРГО», Челябинская обл., пос. Желтинский, ул. Степная.

Для дисперсного армирования бетонного камня был выбран волластонит, который представляет собой минерал из класса силикатов, природный силикат кальция подкласса пироксеноидов группы цепочечных силикатов с формулой Ca[SiO₂]. Цвет волластонита белый с сероватым или буроватым оттенком. Волластонит в зависимости от длины волокон делится на: длинно- и коротковолокнистый, обладающий микроармирующим эффектом.

В табл. 2 приведены составы тяжелого бетона на которых проводились дальнейшие исследования.

Таблица 2 – Исследуемые составы модифицированного тяжелого бетона

Материалы	Расход на 1 м ³ бетонной смеси, кг/м ³				
	1контр	2	3	4	5
ЦЕМ I 42,5Н	365	365	365	321	321
Метакаолин ВМК-45 (12%)	-	-	-	44	44
Вода	182	182	182	182	182
Щебень	987	987	987	987	987
Песок	756	756	756	756	756
Суперпластификатор Sunbo PC-1021 (0,4%)		1,46	1,46	1,46	1,46
Полидон-А (0,3 %)	-	-	1,09	1,09	1,09
Волластонит (2 %)	-	-	-	-	7,3

Результаты исследования

Для определения эффективности взаимодействия воды с матрицей разработанного бетона и, как следствие, эффективности диффузионных процессов внутри матрицы, влияющих на разрушение структуры бетонного камня, проводилось определение пористости бетона, его водопоглощение и водонепроницаемость. Для определения водопоглощения был применен метод последовательного насыщения образцов водой до постоянной массы согласно ГОСТ 12730.3-2020 "Бетоны. Метод определения водопоглощения". Использованные образцы-кубы имели ребро 100 мм, изготавливались из бетонных смесей разработанных составов. Образцы твердели в нормальных условиях на протяжении 28 суток. Серия образцов для испытания составляла 3 куба плюс контрольный для каждого из составов. Водопоглощение серии образцов каждого состава определялось как среднее арифметическое значений водопоглощений каждого образца серии. Пористость образцов разработанных составов определялась путем оценки кинетики водопоглощения методом дискретного взвешивания в соответствии с ГОСТ 12730.4-2020 «Бетоны. Методы определения параметров пористости». Образцы-кубы имели ребро 70 мм, серии испытаний включали в себя два образца каждого состава. Значение пористости рассчитывалось как среднее арифметическое. Водонепроницаемость разработанных бетонных изделий определялась при помощи метода «мокрого пятна» согласно требованиям ГОСТ 12730.5-2018 «Бетоны Методы определения водонепроницаемости». Для определения водонепроницаемости из разработанных составов изготавливались образцы-цилиндры диаметром 150 мм и высотой 150 мм. Было подготовлено по 6 образцов каждого состава в серии. Образцы до испытания выдерживались в камере нормального твердения в нормальных условиях в течение суток перед проведением испытаний. Определение водонепроницаемости проводилось при помощи установки Form+Test WE 6 MMZ (Германия). Образцы устанавливались в посадочные устройства установки, манжеты которой предварительно смазывались водонепроницаемой смазкой. Давление воды поднималось ступенчато с последующей выдержкой (0,2 МПа в течение 1-5 минут) и длительностью воздействия воды под давлением, равной 12 часам на каждой ступени. При появлении «мокрого пятна», равно как и иных признаков проникновения воды в различные места образца испытание прекращалось. Значение максимального давления воды, при котором не менее чем на четырех образцах из шести, не наблюдалась фильтрация воды, было принято показателем водонепроницаемости образца.

Для определения морозостойкости использовался первый базовый метод. Образцы для испытания представляли собой серию бетонных кубиков с ребром 100 мм, шесть из которых были приняты в качестве контрольных, а двенадцать имели в своем составе введенные добавки в соответствии с разработанным планом эксперимента. Время выдержки образцов составила 24 часа при погружении на 1/3 высоты образцов, 24 часа при погружении на 2/3 высоты образцов и 48 часов при полном погружении. Процесс испытания шел до появления структурных дефектов образцов – трещин, сколов и шелушения,

потери массы и потери прочности образцов более чем на 5% от требуемого значения.

Результаты испытаний на водопоглощение и водонепроницаемость бетона представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты испытаний на водопоглощение и водонепроницаемость

Маркировка образца	Плотность, кг/м ³ / Пористость, %	Водопоглощение по массе, %	Водонепроницаемость, МПа	Марка бетона по водонепроницаемости
Состав 1 контрольный	2290/12,2	4,6	0,6	W6
Состав 2 ПЦ + 0,4% Sunbo PC-1021	2292/11,3	3,2	0,8	W8
Состав 3 ПЦ + (0,4% Sunbo PC-1021 + 0,3% Полидон-А)	2293/10,3	2,2	1,2	W12
Состав 4 ПЦ + (0,4% Sunbo PC-1021 + 0,3% Полидон-А + 12% ВМК-45)	2293/10,1	1,9	1,4	W14
Состав 5 ПЦ + (0,4% Sunbo PC-1021 + 0,3% Полидон-А + 12% ВМК-45) + 2% Волластонит	2300/8,7	1,8	1,4	W14

Анализ полученных данных (табл.3) показывает, что введение комплексного модификатора совместно с волластонитом (состав 5, ПЦ+(0,4%SunboPC-1021+0,3% Полидон-А+12%ВМК-45)+2%Волластонит снизило показатель водопоглощения на – 57,8%; на 37,8% снизил 2 состав ПЦ+0,4% Sunbo PC-1021); на 48,9 % – 3 состав ПЦ+ (0,4%Sunbo PC-1021+ 0,3%Полидон-А); на 53,3% – 4 состав ПЦ+(0,4%SunboPC-1021+ 0,3% Полидон-А+12%ВМК-45) в сравнении с контрольным (состав 1). Водонепроницаемость модифицированного бетона в 4 составе ПЦ+(0,4%Sunbo PC-1021+0,3%Полидон-А+ 12%ВМК-45) повысилась на 4 ступени нагружения в сравнении с контрольным составом 1. При этом наличие в составе 5 волластонита ПЦ + (0,4% Sunbo PC-1021+0,3%Полидон-А + 12%ВМК-45)+2%Волластонит не повлияло на его водонепроницаемость.

На следующем этапе исследований определяли морозостойкость, которая зависит от структуры материала. Известно, что наличие открытых пор доступных для проникновения воды негативно сказывается на морозостойкости и долговечности строительных материалов [17-20]. Для проведения испытаний на морозостойкость применялся первый базовый метод по требованиям ГОСТ 10060-2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости»/ Результаты испытаний при циклическом попеременном замораживании и оттаивании отображены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты испытания бетонов при циклическом попеременном замораживании и оттаивании

Маркировка образца	Потеря массы образца, %, после циклов					K _{мрз} после циклов				
	200	300	400	500	600	200	300	400	500	600
Состав 1	1,19	2,2	4,36	-	-	0,95	0,92	0,68	-	-
Состав 2 ПЦ + 0,4% Sunbo PC-1021	0,36	1,09	2,1	3,3	4,88	1,02	0,98	0,95	0,87	0,84
Состав 3 ПЦ + (0,4%Sunbo PC-1021 + 0,3% Полидон-А)	0,25	0,99	1,87	3,1	3,9	1,02	1,00	0,97	0,93	0,87
Состав 4 ПЦ + (0,4%Sunbo PC-1021 + 0,3% Полидон-А + 12% ВМК-45)	0,15	0,97	1,5	1,7	1,82	1,01	1,04	0,93	0,92	0,9
Состав 5 ПЦ + (0,4% Sunbo PC-1021+ 0,3% Полидон-А + 12% ВМК-45) + 2% Волластонит	0,1	0,2	0,38	1,00	1,6	1,09	1,01	0,99	0,98	0,92
Примечание. K _{мрз} – отношение показателя прочности образца после испытания его морозостойкости к прочности образца материала в водонасыщенном состоянии до определения морозостойкости.										

Результаты испытаний при циклическом попеременном замораживании и оттаивании образцов-кубов из бетона различного состава, представленных в таблице 4 показали:

- максимальное снижение массы до 4,36% и кубиковой прочности на 32% в контрольном составе 1 после 400 циклов испытаний попеременного замораживания и оттаивания, что превышает установленные показатели требования ГОСТ10060-2012 (потеря массы и прочности бетона не более 2% и 15% соответственно).

- составы, содержащие комплексный модификатор, показали высокие характеристики морозостойкости, при 600 циклов испытаний потеря массы в составах 4 и 5 составила 1,82% и 1,6% при снижении прочности на 10% и 8% соответственно, что подтверждает достаточный запас прочности и морозостойкости предлагаемых составов модифицированного бетона.

ВЫВОДЫ

Предлагаемое модифицирование комплексной добавкой совместно с волластонитом (ПЦ + (0,4%SunboPC-1021+0,3% Полидон-А+12% ВМК-45)+2%Волластонит)) позволяет получить тяжелый бетон высокого качества с улучшенными гидрофизическими свойствами: водопоглощение, водонепроницаемость и морозостойкость, что дает возможность рекомендовать

его для производства строительных изделий и конструкций, работающих в суровых условиях эксплуатации.

Установлено улучшение гидрофизических свойств модифицированного бетона: водопоглощение снизилось на 60,9%; марка по водонепроницаемости повысилась на 4 ступени нагружения в сравнении с контрольным составом. После 600 циклов испытания на морозостойкость потеря массы составила только 1,5-1,8% и снижение прочности 9,1%-10,2%.

Список литературы

1. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Чилин И.А., Дондуков В.Г., Селютин Н. модифицированные бетоны: реальность и перспективы // Вестник НИЦ Строительство. 2024. № 1 (40). С. 92-104.

2. Крутских А.В., Петропавловская В.Б., Петропавловский К.С., Новиченкова Т.Б. Модифицированные цементные бетоны с дискретным армированием // Строительство и реконструкция. 2023. № 3 (107). -С. 131-139.

3. Петропавловская В.Б., Завадько М.Ю., Новиченкова Т.Б., Петропавловский К.С., Бурьянов А.Ф. Перспективы применения переработанных топливных золошлаковых отходов гидроудаления в сухих строительных смесях // часть 1 строительные материалы. 2023. № 4.- С. 73-79.

4. Isaeva YU.V., Velichko E.G., Kasumov A.SH. Structure optimization of ultra-light cement mortar with due regard for geometrical and physical and mechanical characteristics of components, Construction Materials, 8, 84-87(2015). doi.org/10.31659/0585-430X-2015-728-8-84-88.

5. Yakovlev G.I., Ginuchickaya YU.N., Kizinieich O., Kizinieich V., Gordina A.F. Influence of dispersions of multilayer carbon nano-tubes on physical-mechanical characteristics and structure of building ceramics, Construction Materials. 2016. № 8. С. 20-29.

6. Величко Е.Г., Шумилина Ю.С. К проблеме формирования дисперсного состава и свойств высокопрочного бетона // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 2. С. 235-243. doi.org/10.22227/1997-0935.2020.2.235-243.

7. Филимонова Ю.С., Величко Е.Г. Исследование комплексной модификации тяжелого бетона // Строительство и реконструкция. 2021. №4 (96). С.107-109. doi.org/10.33979/2073-7416-2021-96-4-107-112.

8. Ткач Е.В., Темирканов Р.И. Улучшение физико-механических свойства модифицированного бетона на основе применения химически активированного микрокремнезема с микроармирующим волокном // Строительство и реконструкция. 2020. №2 (88). С. 123-135.

9. Xu S.Q. The Comprehensive Utilization of Fly Ash. Applied Mechanics and Materials, 459, 82-86(2013) doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.459.82.

10. Feng N., Peng G. High Performance Concrete with High Volume Fly Ash. Key Engineering Materials. 302-303, (470-478) 2006. doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.302-303.470.

11. Nai-Qian Feng, Gai-Fei Peng A Development of the Research on High Performance Concrete Incorporated with High Volume Fly Ash. Key Engineering Materials. 302-302, 26-34(2006). doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.302-

303.26156.

12. Reiterman Comparative Investigations of some Properties Related to Durability of Cement Concretes Containing Different Fly Ashes. Advanced Materials Research. 1054, 154-161(2014). doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1054.154.

13. Урханова Л.А., Лхасаранов С.А., Иванов А.А. Оптимизация состава гидротехнического бетона с применением композиционных вяжущих // Техника и технология силикатов. –2023. Т. 30. № 4. С. 350-356.

14. Александрова О.В., Нгуен Д.В.К., Булгаков Б.И., Петропавловская В.Б. Влияние кварцевого порошка и минеральных добавок на свойства высокопрочных бетонов//Вестник поволжского государственного технологического университета. серия: материалы. конструкции. технологии. 2020. № 3. с. 7-15.

15. Урханова Л.А. Иванов А.А., Лхасаранов С.А. Исследование влияния тонкодисперсных добавок на свойства композиционных вяжущих для гидротехнического бетона// Вестник ВСГУТУ. – 2023.- №2 (89). – С. 80-89.

16. Урханова Л.А. Лхасаранов С.А., Данзанов Д.В. Синтез ультрадисперсной добавки, полученной при гидролизе портландцемента, для модификации цементного камня //Цемент и его применение. – 2022. -№4. С.52-56.

17. Рахимов М.А., Рахимова Г.М., Хан М.А., Тоимбаева Б.М. разработка состава комплексной добавки полифункционального действия сс-3тн // Фундаментальные исследования. 2017. № 1. С. 112-116.

18. Рахимов М.А., Рахимова Г.М., Рахимов А.М., Садирбаева А.М., Иманов Е.К. исследование влияния комплексных гидрофобизирующих органоминеральных модификаторов на эксплуатационные свойства тяжелого бетона // Фундаментальные исследования. 2016. № 2-2. С. 294-298.

19. Шестаков Н.И., Алексеева Д.С., Полосина Д.В. Применение фотокаталитических бетонов в дорожном строительстве. Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2021. № 12. С. 16-26.

20. Мухаметрахимов Р.Х. Роль активных минеральных добавок природного происхождения в формировании структуры и свойств гипсоцементно-пуццоланового вяжущего / Р.Х. Мухаметрахимов, А.Р. Галаутдинов // Вестник технологического университета. - 2017. № 6(20). - С. 60-63.

**Повелицин А.С. ЯМОЧНЫЙ РЕМОНТ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ВТОРСЫРЬЯ, ГРАНУЛЯТА АСФАЛЬТОБЕТОНА И
МОДИФИЦИРОВАННОГО ГРАНУЛЯТОМ ВТОРИЧНОГО
ПОЛИЭТИЛЕНА, ПОЛИПРОПИЛЕНА И ПЭТ, БИТУМА**

Повелицин Андрей Станиславович

ГАПОУ НСО Новосибирский колледж автосервиса и дорожного хозяйства

Новосибирская область, город Новосибирск, ул. Ватутина 61А, 630087

Научный руководитель: Воронцовская Вера Ивановна,

Богатырёва Юлия Валентиновна

Аннотация. В данной работе рассматривается применения вторсырья, в частности гранулята асфальтобетона, гранулы полиэтилена и мазут в ямочном ремонте. Актуальность исследования обусловлена необходимостью замены дорогостоящего битума в дорожных смесях, а также снижением негативного воздействия на окружающую среду за счет повторного использования отходов. Работа подчеркивает важность внедрения технологий вторичного использования материалов в дорожном строительстве, что не только способствует экономии ресурсов, но и отвечает современным экологическим стандартам.

Ключевые слова: асфальтобетон, вторсырьё, гранулят, полиэтилен

Актуальность исследования: наибольшее распространение при изготовлении различной пищевой тары и промышленных пленок получил полиэтилентерефталат (ПЭТ). Это объясняется наличием у него уникальных свойств, таких как химическая стойкость, инертность, возможность повторного использования, что дает ему высокие конкурентные преимущества по сравнению с другими крупнотоннажными полимерными материалами того же назначения.

В результате использования ПЭТ получаем возможность создания долговечного асфальтобетонного покрытия с наилучшими эксплуатационными свойствами, а также решение проблемы утилизации отходов. Так же большую часть пластикового мусора составляет полиэтилен.

Цель исследовательской работы: подобрать условия для утилизации полиэтилена, и добавления его к битуму, как модификатора вяжущего.

Практическая значимость и новизна: предлагаемый состав для ямочного ремонта, срок службы которого один сезон, будет способствовать экономии готового асфальтобетона. Пока добавка составляет не более 3% в горячий асфальтобетон, мы предлагаем использовать только вторсырьё, гранулят асфальтобетона и вторичный пластик.

Введение

Краткий анализ изученной литературы.

Переработанный пластик имеет множество сфер применения, одна из них – создание дорожных покрытий. На планете около 40 млн км дорог, на расширение этой сети и создания новых магистралей ежегодно тратится 1,6 трлн тонн асфальта. Одним из основных компонентов асфальтобетонной смеси является битум, содержание которого варьируется от 3 до 11%.

Частичная замена этого материала переработанным пластиком позволит решить проблему загрязнения окружающей среды и улучшит практические характеристики дорожного покрытия.

В 2002 году инженеры индийской компании KK Plastic Waste Management Ltd запатентовали технологию использования пластиковых отходов при асфальтировании дорог. Этой фирме принадлежит завод в Бангалоре, перерабатывающий сегодня до 30 метрических тонн пластмасс в сутки.

На разработку технологии переработки PET бутылок, пластиковых стаканов и пакетов в компонент асфальтовой смеси в Индии ушло 5 лет. Компания создала

полимерную смесь КК Poly Blend, которая замещает 8% битума в составе асфальтобетонной смеси и улучшает характеристики дорожного покрытия.

Срок эксплуатации дорог, созданных на базе этого материала, увеличен в два раза. В своем штате КК Plastic Waste Management Ltd построили 2000 км дорог и переработали 8000 тонн пластиковых отходов. Модифицированная асфальтобетонная смесь становится прочнее на 60%, а полотно на ее основе служит в 10 раз дольше.

Технологии применения переработанных полимерных материалов в дорожном строительстве в России разрабатывала компания ОАО «Роснано». Была создана программа «Инновационная дорога», в рамках которой новые покрытия должны были использоваться при строительстве магистралей в Татарстане, Москве, Рязанской области.

Проект остался на стадии разработки, столкнувшись с необходимостью корректировки ГОСТов, СНиПов, технических регламентов.

Российские специалисты проанализировали потенциал этой системы и пришли к выводу, что подобное дорожное покрытие из пластика можно использовать в климатических условиях нашей страны только для строительства тротуаров и парковых дорожек.

Среди преимуществ дорожного покрытия с пластиком:

- увеличенная прочность;
- высокая водостойкость;
- увеличение интервалов между ремонтными работами;
- снижение эксплуатационных затрат;
- высокая прочность на растяжение;
- эксплуатация при температурах в диапазоне от -40 до +80°C;
- хорошее сцепление с колесами автомобилей;
- повышенная устойчивость к воздействию машинного масла и топлива;
- снижение деформации покрытия и отсутствие колеи;
- минимальное количество трещин, благодаря пластичности пластика;
- продолжительный срок эксплуатации.

Внешне покрытие не отличается от традиционного асфальтобетона.

Модифицирующие добавки действуют как армирующий элемент. При этом химическое взаимодействие отсутствует, но в системе битум-полимер образуются независимые пространственные структуры. Структурирующие добавки существенно повышают механические свойства и температурную устойчивость вяжущего.

Недостаточное сопротивление повышенным температурным воздействиям приводит к тому, что образцы разрушаются, и в пределах рабочих температур резко отличается прочность асфальтобетона. Такой эффект в асфальтобетоне происходит из-за использования в качестве вяжущего битума. Поэтому изменяя свойства битума с целью повышения его теплостойкости, можно добиться необходимых свойств готовой асфальтобетонной смеси. Именно эту проблему мы и пытались решить, вводя в битум РЕТ.

Введение в структуру вяжущего различных модифицирующих и полимерных добавок способствует значительному изменению физико-механических свойств и изменяет структуру вяжущего, оказывая пластифицирующее воздействие на дисперсионную среду. При этом компоненты системы битум-полимер вступают между собой в химическое взаимодействие. В результате образуется единая пространственная структура полимерно-битумного вяжущего.

Основная сложность возникла в процессе введения пластика в битум. Если вводить полиэтилентерефталат непосредственно в битум, то длительное нагревание при высоких температурах полученной смеси способствует ускорению процесса старения битума и ухудшению эксплуатационных свойств уже готовой асфальтобетонной смеси. Мы пошли по пути растворения предварительно измельченного пластика в подходящем растворителе, который, в свою очередь, хорошо совмещается с битумом. Так что при температуре 130°C было получено полное растворение, при этом растворитель выделялся в виде не токсичных паров [1].

При этом процесс получения асфальтобетонной смеси с частичной заменой битума практически ничем не отличается от стандартного метода.

Получение такого строительного материала идет в несколько этапов:

- сбор, сортировка и очистка пластиковых отходов;
- измельчение полимерных материалов;
- добавление измельченного и расплавленного пластика в битум;
- нагрев смеси и нанесение ее на заполнитель (при температуре 160°C);
- обработка битумом;
- добавление смеси с пластиком для улучшения сцепления.

Полученная асфальтобетонная смесь, укладывается классическим способом, без использования какой-либо дополнительной техники. По заявлениям специалистов компании, такая технология увеличивает срок службы дорожного покрытия практически в 10 раз и повышает его прочность на 60% [2].

Физико-механические свойства пластика ПЭТ (ПЭТФ) характеризуются высокой стабильностью в интервале температур от -50°C до 200°C. Вводя его в битум, можно понизить температуру хрупкости, повысить температуру размягчения, а, следовательно, повысить трещиностойкость и сдвигоустойчивость асфальтобетона.

Главная трудность в применении ПЭТ (ПЭТФ) возникла на этапе введения пластика в битум. Если вводить его непосредственно в битум, то потребуются длительное нагревание при высоких температурах, что приводит к старению битума уже на этапе его модифицирования.

При модификации битума полимерами обеспечивается надежное сцепление вяжущего с каменным материалом, поднимается температура размягчения битума, препятствуя образованию колея на асфальтобетонном покрытии в процессе эксплуатации, появляется возможность увеличить дальность транспортирования асфальтобетонных смесей и продления сезона дорожных

работ, в связи с тем, что появляется возможность уплотнения асфальтобетонных смеси при более низкой температуре. Разработанный состав и технология способствуют повышению прочностных характеристик дорожных покрытий на 7–9%. Немаловажным фактором, является то, что не требуется дополнительное оборудования для введения модификатора в вяжущее [3].

В данной работе были изучены различные варианты введения вторичного ПЭТ в нефтяной битум. Исследования показали, что непосредственное введение ПЭТ в битум сопряжено с рядом проблем: необходимость использования высоких температур при смешении ПЭТ с битумом способствует ускорению окисления углеводородов нефтяного битума, низкая совместимость ПЭТ с мальтеновой частью битума не позволяет получить однородное вяжущее. В связи с этим, создание стабильных ПЭТ-битумных композиций возможно при использовании растворителей или предварительной химической, или термической переработке ПЭТ-отходов (рис. 1).

Анализ возможных схем получения ПЭТ-битумных вяжущих показал, что одним из эффективных и малозатратных способов введения вторичного ПЭТ в нефтяной битум является использование растворителей и добавок, улучшающих совместимость полимерного модификатора с нефтяным битумом.



Рисунок 1 – Способы подготовки ПЭТ-отходов перед использованием для модификации битумов

Для приготовления полимерно-битумных вяжущих измельченные ПЭТ-отходы смешивали с низкотоксичным органическим растворителем в течение 5 мин при температуре 130-150°C в соотношении от 1 : 1 до 1 : 3, вводили полученную смесь в пластификаторе и смешивали с нефтяным битумом.

Установлено, что предложенный способ введения ПЭТ-отходов в нефтяной битум позволяет получать однородные и стабильные при хранении полимерно-битумные вяжущие. По своим эксплуатационным характеристикам модифицированные битумы соответствуют требованиям действующих стандартов [4].

В дорожной промышленности наиболее подходящими классами полимеров для модификации битумов являются термоэластопласты и термопласты. Термопластичные пластмассы составляют около 80% от всех произведенных пластмасс. Поэтому, основную часть отходов составляют пластиковые отходы на основе полиэтилентерефталата (ПЭТ) и они находят применение в качестве добавок при дорожном производстве, т.к. состоят в основном из сложного полиэфира.

Установлено, что добавление ПЭТ в диапазоне 2–10% эффективно воздействовало на деформативные характеристики битума. Данное исследование рекомендовано как новый способ вторичного использования ПЭТ-отходов для их применения в составе битумного вяжущего.

Полимеры должны образовывать в битуме структурную сетку, сохраняющую эластичность при температуре до минус 60°C и прочность при температурах не ниже 60°C.

Навеска битума составляла в среднем 200 г. Перед проведением процесса модификации образец битума расплавляли до подвижного состояния (при температуре не выше 105 °C) и медленно добавляли полимерные отходы, готовый полимер и пластификатор в виде моторного масла марки Shell. Температура процесса поддерживалась в пределах 175 – 180 °C в течение 180 мин.

В качестве модификатора использовали готовый высокоэластичный полимер СБС-01-10 (стирол-бутадиен-стирол) для предотвращения расслаивания полимербитумных вяжущих. При введении данного модификатора в битум полимер-битумная смесь становится мягкой и более пластичной при низкой температуре и более вязкой при высокой. Соответственно адгезия модифицированного битума увеличивается.

Одним из основных свойств, которым должно обладать полимербитумное вяжущее –однородность распределения качественных характеристик во всем объеме вяжущего. В ходе транспортировки на длительные расстояния, при производстве асфальтобетонной смеси полимербитумное вяжущее не надлежащего качества может расслаиваться, образуя неоднородную коллоидную систему, а распределение полимерных конгломератов или вовсе отслоение полимера от битума. В этом случае асфальтобетон, изготовленный на таком вяжущем не будет обладать прогнозируемой надежностью в местах разрыва полимера и битума, и укладывая участок дороги, подрядчик изначально не сможет гарантировать расчетную прочность асфальтобетона, а при эксплуатации дороги неизбежно будут возникать локальные «слабые» зоны, которые приведут к преждевременному разрушению дорожного покрытия.

Наиболее часто используемыми полимерами для модификации битума, а также утвержденными к использованию казахстанским стандартам являются стирол-бутадиен-стирольные каучуки.

Полимербитумное вяжущее рассматривается как композиционный материал, в котором матрицей (средой) служит битум, а дисперсной фазой является полимер. Такие вяжущие по свойствам превосходят свойства битумов и полимеров, взятых в отдельности. Электронно-микроскопические исследования ПБВ показывают, что при небольших количествах полимерного отхода (1–2%помассе) в ПБВ он способен растворяться в низкомолекулярной части битума–маслах. При больших добавках полимер распределяется в битуме виде отдельных, несвязанных между собой частиц [5].

Практическая часть

На первом этапе обработали пластик ацетоном, хотели наблюдать набухание – не

было набухания. Просеяли, песчано-щебеночную смесь, удалили крупные фракции 10-20 мм фракции. Провели попытку прогреть при 200 градусах битум и полимер, смесь не плавилась и даже пластик не очень размягчался (фото 1).



Фото 1

Смешали и ПЭТ и песчано-щебеночную смесь и битум в соотношении 40 г ПЭТ, 500 г щебня и песка и 60 г битума, и прогрели при 250 °С в сушильном шкафу. Получилась масса похожая на песочное тесто, рассыпающаяся, но, слепить образец для имитации ямочного ремонта, получилось (фото 2, 3, 4).



Фото 2



Фото 3



Фото 4

Попробовали смешать битум и полиэтилен, полиэтилен просто растворился в горячем битуме. Смешали битум и полипропилен, аналогично, легко растворился в горячем битуме. На следующем этапе, подготовили материал гранулят, битум марки 60/90, полиэтилен, в пропорции, указанной в таблица 1, грели в сушильном шкафу.

Таблица 1 - Исследуемые факторы

состав	Добавляем к щебню, щебень берём за 100%	масса вещества	Состав получившегося вещества в %
Гранулят		10000,00	86,21%
Битум	6,00%	600,00	5,17%
полиэтилен	10,00%	1000,00	8,62%
Итого		11600,00	100,00%

Далее, после подготовки ямы, уплотнили основание ямы виброплитой. Досыпали щебень до краев ямы, оставив примерно 3 см. Затем нагрели горелкой нижний слой щебня. Высыпали сухой горячий гранулят, затем горячий битум, и всё перемешали вручную. Затем сверху высыпали полиэтилен. Сверху грели горелкой, полиэтилен вспыхнул и начал кипеть, сделали вывод, нужно битум и полиэтилен соединять на первичном этапе в горячем состоянии и затем, вводить в гранулят. Грели от центра, полиэтилен растекался в стороны к кромке ямы, и поэтому хорошо соединился с краями ямы. Сверху ничем не уплотняли. Посыпали песком. Через 2 часа визуально оценили. Края ямы хорошо соединены, смесь лежит плотно. В дальнейшем в планах высчитать рецептуру смеси, проверить на физико-механические свойства, визуально оценить после зимнего и весеннего периода (фото 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11).



Фото 5



Фото 6



Фото 7



Фото 8



Фото 9



Фото 10



Фото 11

Рецепт с пластиком и мазутом вместо битума 10% мазут это 213 г и 200 г пластика, минеральный материал 2130 г на 3 образца

Приготовили образцы по этому рецепту и в лаборатории «Дорэксперт» отформовали образцы, цилиндрических пресс-формах с вкладышами (ГОСТ 12801-98) (фото 12,13,14,15). На следующие сутки провели испытания.



Фото 12



Фото 13



Фото 14



Фото 15

Мы проводили испытания на среднюю плотность и водонасыщение. Были изготовлены образцы с помощью пресса и форм, после они были вынуты с помощью выталкивателя. Были проведены замеры: вес, вес в воде, вес после часа насыщения водой. Выводы были занесены в таблицу 2.

Таблица 2 – Характеристики образцов полимерасфальтобетона

№ п/п	Масса образца на воздухе m0	Масса образца после 30 минут выдержки в воде, г		После насыщения водой	% водонасыщение	плотность
		На воздухе	В воде	На воздухе		
		m 1	m 2	m3		
пластик	648,17	350,27	649,49	599,34	1,5	1,97
	654,06	354,70	654,87	567,10	1,35	1,99
	648,45	355,80	549,07	574,07	1,5	1,96

Близко к ГОСТУ холодного асфальтобетона, который чаще всего применяют для ямочного ремонта.

Заключение

В современных условиях ямочный ремонт является актуальной и необходимой процедурой для поддержания состояния дорожного полотна. Применение гранулята и битум-полиэтилена является одним из наиболее эффективных и экономически выгодных способов проведения таких работ.

В нашей работе нам удалось совсем отказаться от битума, для создания опытных образцов. Гранулят битум-полиэтилен обеспечивает высокую адгезию с асфальтом, что гарантирует долговечность и качество ремонта. Благодаря своим уникальным свойствам, этот материал позволяет проводить ремонт в короткие сроки, при любых погодных условиях и без специального оборудования.

В связи с этим, применение гранулята битум-полиэтилена является перспективным направлением в области дорожного ремонта, которое заслуживает дальнейшего изучения и внедрения. Данную смесь возможно использовать не только для ямочного ремонта, а, после отработки рецептуры и последующих испытаний - для верхнего слоя асфальтобетона в связи с низким водопоглощением. Для экологического состояний окружающей среды это будет большим облегчением, так как очень много пластика можно утилизировать, а в дальнейшем развивать рецептуру с другими видами пластика.

Список литературы

1. Проваторова Г.В., Лебедев В.В. Повышение качества асфальтобетона путем модификации битума полимерами. Умные композиты в строительстве SMARTCOMPOSITEINCONSTRUCTION // Том 2, Выпуск 1, 2021.
2. Статья «Дорожное покрытие из пластика-качественные дороги и

забота о природе» Интернет издание «Rcycle.net» // [Электронный ресурс] – URL:

<https://rcycle.net/plastmassy/dorozhnoe-pokrytie-iz-plastika-kachestvennye-dorogi-i-zabota-o-prirode>.

3. Рябина К.М., Проваторова Г.В. «Исследование свойств асфальтобетона на модифицированном полимерами битуме» журнал «Строительные материалы» // том 5 №4, 2022 г., С. 19–29.

4. Хаппи Вако, Б. Ж. Модификация битумов вторичным полиэтилентерефталатом / Б. Ж. Хаппи Вако, А. О. Шрубок // НЕФТЕХИМИЯ - 2020 : материалы III Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, Минск, 02–03 декабря 2020 года. – Минск: Белорусский государственный технологический университет, 2020. – С. 29-31. – EDN EGRWKX.

5. Иманбаев Е.И. Модификация нефтяных битумов бытовыми полимерными отходами. / Е.И. Иманбаев, А.Ч. Бусурманова, А.Ш. Аккенжеева, Е.К. Онгарбаев, А.К. Серикбаева, М.М. Абдибаттаева, Е.В. Солодова, С.Т. Зайтова // НЕФТЬ И ГАЗ, 2022 5 (131), С. 145 - 158

Покидов Д.С. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРАНУЛЯТА, ВТОРИЧНЫХ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ПЛАСТИКОВ И МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ

Покидов Данил Сергеевич

ГАПОУ НСО Новосибирский колледж автосервиса и дорожного хозяйства

Новосибирская область, г. Новосибирск, улица Ватутина 61А, 630087

Научный руководитель: Воронцовская Вера Ивановна,

Богатырёва Юлия Валентиновна.

Аннотация. В данной работе рассматривается возможность применения вторичного термопластичного пластика для создания асфальтобетонной смеси, для ямочного ремонта.

Ключевые слова: асфальтобетон, гранулят, замена битума, полимер, пластик

Актуальность исследования - наибольшее распространение при изготовлении различной пищевой тары и промышленных пленок получил полиэтилентерефталат (ПЭТ). В результате использования ПЭТ получаем возможность создания долговечного асфальтобетонного покрытия с наилучшими эксплуатационными свойствами, а также решение проблемы утилизации отходов.

Проблема исследования - подбор условий плавления ПЭТ и отработки технологического процесса для ямочного ремонта

Цель исследовательской работы - подобрать условия для плавления полиэтилентерефталата и других термопластичных пластиков, и добавка его, как основного вяжущего, без использования битума.

Задачи - анализ литературы, по теме проекта; проведение доступных исследований, включая инструментальные; частичное внедрение технологии на территории колледжа.

Новизна исследования - отказ от дорогостоящего битума и замена его на вторичные термопластичные пластики.

На первом этапе просто горелкой расплавили, пластик от канистры и ПЭТ (гранулы), увы, он начинал гореть, но и плавился хорошо, соотношение пластика и щебня с песком было примерно 50:50. После остывания смесь приняла форму в которой плавил, толщина около 2,5 см достаточно твердая смесь

Мы решили заделать яму на территории Новосибирского колледжа автосервиса и дорожного хозяйства. Для этого соединили щебень фракции 5-20 мм и полиэтилен в пропорции 1:1 и нагревали газовой горелкой непосредственно в яме. Сыпали слоями. Верхний слой посыпали только полиэтиленом, он начал сильно гореть. Поняли, что ошибка, так как полиэтилен должен плавиться, а не гореть.

Сделали вывод, из пластиков взять полиэтилен, или полипропилен, соотношение 10 пластика и 90 минерального составляющего, греть не горелкой, а строительным феном. В домашних условия, попробовали собрать из подручных материалов имитацию образцов, нагреть ПГС и разные пластики

Наша гипотеза, что 10 % будет достаточно, для связывания минерального состава и тогда это будет и экономически выгодно и экологически тем более. Если же использовать вместо щебня гранулят асфальтобетона, содержащий остаточный битум, то сцепление будет еще лучше.

ВВЕДЕНИЕ

МАРКИРОВКА ПЛАСТИКА

Маркировка пластика: выбросить нельзя, переработать. Треугольный значок с цифрой притаился на пачке макарон, под крышкой или на дне стаканчика (рис. 1).



Рисунок 1 - Сортировка различных видов пластмассовых бытовых отходов

Разбираемся, что он значит и куда кроме свалки можно отдать пластик.

1. PET — в основном бутылки из-под молока, воды, кваса и т.п. Пока что единственный тип пластика, для которого в городах установлены контейнеры. Нельзя сдавать бутылки из-под масла, их сложно отмыть полностью.

2. HDPE — бывает мягкий и твёрдый. Из него изготовлены шуршащие прозрачные пакетики, в которые прячут фрукты в супермаркетах. Их переработать можно, а любые цветные и с рисунком — пока нельзя.

3. PVC — на переработку принимаются обрезки пластиковых окон и труб. Один из самых токсичных видов пластика, выделяет фталаты. При этом из него состоит большинство детских игрушек.

4. LDPE — твёрдый/мягкий, перерабатывается. К нему относится плёнка с пупырьками и стретч-плёнка.

5. PP — самый распространённый тип упаковки. Встретить значок можно на банках из-под сметаны и йогуртов, обёртке от мороженого. Не

перерабатывается фольгированный полипропилен: внутренний слой такой упаковки блестящий и без рисунка.

6. PS — можно сдать весь, кроме вспененных подложек для курицы, фруктов и т.п.

7. O (OTHER) или пустой значок - смешанный пластик, отмеченный C/... — не принимаются на переработку.

Если продукт в настоящее время не перерабатывается, то для владельцев брендов, поместивших тот или иной товар на потребительский рынок, стоит задача разработать план окончания срока службы данного продукта.

Характеристики композиционных строительных материалов

Строительные материалы на основе вторичных ПЭТ-полимеров, как правило изготавливаются путем смешивания и нагрева компонентов, спрессовывания смеси при повышенной температуре и высоком давлении. Для улучшения свойств и экономичности к полимерам добавляют пассивные наполнители, стабилизирующие вещества и армирующие волокна. Полученные таким способом композиты имеют высокую прочность и твердость (на уровне мягкой стали или меди), повышенное сопротивление истиранию, очень низкую гигроскопичность, низкую тепло- и электропроводность.

Назначение и применение:

Варианты возможных изделий включают, но не исчерпываются следующей продукцией:

— черепица: связующее – ПЭТФ, наполнитель – зола, кварцевый песок и неорганические красители;

— тротуарная плитка: связующее – ПЭТФ, наполнитель – стеклянный бой, гранитный гравий, песок или древесные опилки, неорганические красители;

— стеновые панели: связующее – ПЭТФ, наполнитель - древесные опилки, отходы текстильной промышленности, неорганические красители;

— кирпич: связующее – ПЭТФ, наполнитель – песок, древесные опилки и неорганические красители.

Полиэтилентерефталат – PET (валокс, ПЭТФ, ULTRADUR, CELANEX, RYNITE). Получают полиэтилентерефталат поликонденсацией терефталевой кислоты (бесцветные кристаллы) или ее диметилового эфира с этиленгликолем (жидкость) по периодической или непрерывной схеме в две стадии. По технико-экономическим показателям преимущество имеет непрерывный процесс получения полиэтилентерефталата из кислоты и этиленгликоля. Этерификацию кислоты этиленгликолем (молярное соотношение компонентов от 1:1,2 до 1:1,5) проводят при 240-270⁰С и давлении 0,1-0,2Мпа [1].

Свойства полиэтилентерефталата: ММ = (20-50)*10³; показатель текучести расплава (230 ⁰С/2,16кг, г/10мин) 15; температура стеклования (температура размягчения) 95-100 ⁰С; температура плавления 255-265⁰С; температура разложения 350⁰С; диапазон технологических температур 270-280⁰С; термостойкость расплава 290⁰С; морозостойкость до -50⁰С; влагопоглощение ПЭТ – 0,3%, ПЭТ (преформа) – 0,1-0,3%; допустимая остаточная влага ПЭТ –

0,02%, ПЭТ (преформа) – 0,005%; плотность 1,37 г/см³; усадка (при изготовлении изделий) 0,2-2,0%.

Эксплуатационные свойства: Эксплуатационные свойства сохраняются в диапазоне температур от -60 до 170 °С [2].

Вторичная переработка ПЭТ

До недавнего времени, получать вторичное ПЭТ-сырье было очень сложно. Существующие технологии и оборудование для рециклинга полиэтилентерефталата были технически несовершенны и убыточны. Однако, утилизация ПЭТ-продукции также связаны с серьезными затратами и загрязнением природы. Это заставило специалистов искать недорогие способы получения вторичного ПЭТ-сырья. В настоящее время созданы и успешно работают недорогие линии для переработки ПЭТ в том числе и российского производства.

Загрязненные отходы, содержащие, как правило, ПЭТ-бутылки, собираются, сортируются вручную или автоматически и поступают на участок дробления. Загрязненная ПЭТ-дробленка проходит несколько контуров мойки, зону отделения примесей и сушку и поступает в зону растарки. Затем полученные ПЭТ-хлопья (флекс) можно гранулировать, либо перерабатывать в негранулированном виде. Вторичный ПЭТ-материал хорошего качества можно использовать без органичений, в том числе для упаковки продуктов. Многие производители ПЭТ-преформ с успехом используют вторсырье в своем производстве.

Однако и в новых технологиях существуют некоторые изъяны. Например, вещества, с помощью которых приклеивают этикетки, могут при переработке вызывать обесцвечивание и потерю прозрачности материала, а остаточная влага способна вызвать деструкцию ПЭТ. В свою очередь, продукты разложения вызывают пожелтение пластика и изменяют его механические свойства. Кроме того, было установлено, что ПЭТ можно подвергать пиролизу для получения активированного угля.

Ещё одной проблемой, является тенденция ПЭТ к самопроизвольной кристаллизации с течением времени, то есть «старение». Это приводит к изменению свойств материала, что может вызвать изменение размеров изделия (усадку и коробление).

Тем не менее, с недавних пор и в России существует мощный рынок вторичного ПЭТ. Несколько компаний специализируются на покупке и продаже отходов и готового вторсырья ПЭТ [3].

ПЭТ и экология

Полиэтилентерефталат относится к пятому, самому безопасному классу отходов. Материал не содержит хлора, диоксина, тяжелых металлов. Одобрен для применения в пищевых отраслях.

Производство изделий из ПЭТФ более экологично, чем выпуск аналогичных товаров из стекла, алюминия и других материалов:

- меньше используется воды и электроэнергии;
- ниже выбросы в атмосферу углекислого газа;

— легкий вес тары позволяет использовать меньше топлива для ее транспортировки.

Вторичная переработка ПЭТ снижает выбросы CO₂ и парниковых газов в атмосферу на 50-80%.

Полипропилен (ПП). Получают полимеризацией пропилена. Относится к термопластичным материалам. Отличается повышенной жесткостью, хорошей формоустойчивостью (см. табл. 1).

Из него делают профили труб для холодной и горячей воды, кабельную изоляцию, приборные панели, электроинструменты, ящики, контейнеры и пр. Материал легко перерабатывается. Безопасен при использовании в качестве упаковки для пищевых продуктов.

Таблица 1 - Сравнительная таблица основных видов полимеров [4].

Свойства	ПЭТФ	ПП
Плотность, г/см ³	1,36-1,40	0,90-0,92
Прочность на изгиб, МПа	50-83	н/д
Прочность на разрыв, МПа	60-80	25-36
Удлинение при разрыве, %	50-75	200-800
Твердость по Бринеллю, МПа	14-23	40-70
Теплопроводность, Вт/м*К	0,2-0,32	н/д
Температура плавления, °С	240-270	165-170
Температура размягчения, °С	81-83	110-153
Диэлектрическая проницаемость (50Гц)	2,6	1,6-2,3

Щебеночно-песчаная смесь: особенности и применение

Широкое применение щебеночно-песчаной смеси (ЩПС) объясняется просто – этот материал производится предприятиями преимущественно из местного минерального сырья. В его пользу говорит и разнообразие характеристик, устойчивость к физическому и химическому воздействию, доступная цена. С течением времени спрос на поставку со стороны потребителей лишь растет.

Компоненты смеси

Щебень. Продукт дробления с последующим рассевом, у которого зерна крупнее 4 мм (по отдельным стандартам – больше 5 мм). Щебень получают при измельчении горных пород, валунов и гравия, утилизируемых бетонных конструкций, некондиции, шлаков от выплавки металла и других производственных отходов.

Лучшие эксплуатационные параметры у продукции, полученной дроблением горных пород. Щебень вводится в ЩПС в виде единой фракции или нескольких фракций в определенных пропорциях. Допустимо использовать в составе одной и той же партии смеси щебня разного происхождения.

Песок. Состоит из зерен, размеры которых меньше щебня. Получается из отсеков дробления щебня, шлаков, иных промышленных отходов или путем перемалывания горных пород, гравия и бетона. Также добывается в готовом виде в песчаных и песчано-гравийных карьерах.

Пылевидные и глинистые частицы. В эту категорию входят примеси размером менее 0,63 мм, влияющие на пластичность смеси. При недостатке таких включений в ЩПС добавляют суглинки и пылеватые пески, золошлаки и фосфогипс, нефелиновые шламы или иные производственные отходы.

Сфера применения: ЩПС идет в основном на строительство автодорог, взлетных полос и перронов аэродромов, укрепление дорожных обочин. Смесь используется для укладки покрытий, несущих слоев оснований и дополнительных слоев дорожного полотна – подстилающих, морозозащитных и дренирующих. Материал применяется для отсыпки балластной призмы при возведении железнодорожных насыпей и прокладке трамвайных путей, обустройства пешеходных дорожек и различных площадок, изготовления асфальтобетона.

Применение ЩПС для укладки оснований автодорог

Обработка вяжущими: ЩПС при подготовке к применению может обрабатываться неорганическими и органическими вяжущими. Цель обработки – снизить риск появления трещин и деформаций, включая образование колеи, повысить морозостойкость, увеличить срок службы стройматериала [5].

Полимерпесчаная плитка

Полимерпесчаная тротуарная плитка появилась на рынке относительно недавно. Для ее производства требуется не очень капиталоемкое, но технологичное оборудование - дробилка, плавильный аппарат, пресс и, поэтому себестоимость продукции получается довольно высокой.

В качестве сырья для производства используется кварцевый песок мелкой фракции - это основа, составляющая до 75% объема плитки, смесь полимеров в качестве связующего, красящие пигменты и стабилизаторы. В процессе производства исходное сырье нагревают до температуры 250 °С, при которой расплавляется полимер, смесь перемешивают и формируют под давлением.

Получаемые изделия обладают высокими эксплуатационными свойствами - практически нулевое водопоглощение и повышенная морозостойкость (до 500 циклов заморозания/оттаивания), которые обеспечиваются водоотталкивающими свойствами пластика. Наличие полимерного связующего в составе плитки также придает ей повышенную прочность - производители указывают срок эксплуатации до 20 лет.

В то же время полимерпесчаная плитка, на ¼ состоящая из полимера, имеет свойство расширяться при повышении температуры. В случае неправильной укладки (оставлены небольшие межплиточные - "термические" - швы), на жарком солнце отдельные плиты может "вспучить" и "вытолкнуть" из покрытия [6].

Современные виды асфальта

Задачи, которые решают дорожно-строительные компании для достижения национальной цели — создания эффективной транспортной инфраструктуры — подталкивают отрасль к использованию современных видов асфальта. Одни из них уже стандартизированы и применяются для устройства и ремонта дорожных одежд, другие — только проходят проверку временем на соответствие требованиям прочности, долговечности и износостойкости. При этом, какими бы

индивидуальными свойствами не обладал один из видов асфальта, всех их объединяет одно — основой для каждого служит «классическая» асфальтобетонная смесь, состоящая из щебня или гравия, песка, минерального порошка и битума.

Среди современных видов асфальта можно выделить:

- полимерасфальтобетон;
- щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА);
- литой асфальтобетон;
- цветной асфальт;
- резиноасфальтобетон;
- пластиковый асфальт;
- стеклянный асфальт;
- сероасфальтобетон;
- штампованный асфальт;
- переработанный асфальт.

Каждый из них несет в себе ценность при реализации конкретных задач. К примеру, щебеночно-мастичный асфальтобетон обладает высокой износостойкостью, поэтому его используют для создания верхнего слоя покрытия дорог, а цветной и штампованный выглядят эстетично, поэтому их применяют при благоустройстве территорий.

Полимерасфальтобетон

Полимерасфальтобетон — это уплотненная смесь из щебня, песка, минерального порошка и полимерно-битумного вяжущего (ПБВ). Основу вяжущего составляют вязкие дорожные битумы, а в качестве добавок используют полимеры: термопласты, каучуки или эластомеры, термоэластопласты, а также различные пластификаторы и поверхностно-активные вещества (ПАВ). Это дает ПБВ ряд преимуществ перед нефтяными дорожными битумами: высокую морозостойкость; широкий интервал пластичности; лучшую адгезию с инертными материалами; повышенную устойчивость к старению и другие.

Чаще всего в качестве полимера используют такой тип термоэластопласта, как стирол-бутадиен-стирол (СБС), требования к которому регулируются стандартом ГОСТ Р 52056-2003. При небольшом количестве в составе битума, СБС придает готовому полимерасфальтобетону повышенную теплоустойчивость, трещиностойкость и эластичность, увеличивая при этом предел прочности при сжатии.

В сравнении с типовым асфальтобетоном, полимерасфальтобетон характеризуется меньшей чувствительностью к перепадам температур, повышенной динамической устойчивостью, лучшими физико-механическими свойствами. Его используют для устройства дорог, площадей, тротуаров, пешеходных и велосипедных дорожек, взлетных полос и рулежных дорожек на аэродромах.

Национальный стандарт для полимерасфальтобетонных смесей и полимерасфальтобетона — ГОСТ 9128-2013.

Щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА)

Щебеночно-мастичный асфальтобетон — это уплотненная смесь, состоящая из щебня, песка из отсевов дробления, минерального порошка, дорожного битума и стабилизирующей добавки. При этом к вяжущему могут быть добавлены полимеры или другие вещества, положительно влияющие на физико-механические свойства будущего слоя дорожной одежды. В качестве стабилизирующего материала выступают целлюлозные волокна, прессованные гранулы из целлюлозных волокон, а также полимерные или минеральные волокна. Большое количество щебня, песок только из отсевов дробления каменного материала, повышенное содержание вяжущего, наличие волокон, обеспечивающих устойчивость к расслаиванию смеси, — всё это отличает ЩМА от асфальтобетона в лучшую сторону.

Высокие показатели прочности и износостойкости щебеночно-мастичного асфальтобетона определили его использование в качестве верхних слоев покрытия как для автомагистралей с интенсивным движением транспорта, так и для мест стоянок воздушных судов в аэропортах. Дороги, выполненные с применением ЩМА, характеризуются повышенными водонепроницаемостью и морозостойкостью, а также низким уровнем шума.

Национальные стандарты для щебеночно-мастичного асфальтобетона: ГОСТ 31015-2002; для приготовления смеси методом объемно-функционального проектирования «Superpave» — 58401.2-2019; методом проектирования «Евроасфальт» — 58406.1-2020.

Пластиковый асфальт

Пластиковый асфальт — это уплотненная смесь, состоящая из щебня, песка, минерального порошка, а также битума с добавлением полимерных гранул, которые получают путем измельчения пластиковых бутылок, пакетов и упаковок. Такой асфальт производят двумя способами. В первом случае специальная техника срезает верхний слой покрытия дороги и добавляет в полученную асфальтовую крошку горячую расплавленную массу переработанного пластика. После перемешивания асфальт укладывают на место только что срезанного слоя. Во-втором случае пластиковый асфальт выпускают на асфальтобетонном заводе, где в технологический процесс добавляют этап загрузки пластиковых гранул. Таким образом предприятие выпускает горячую асфальтобетонную смесь, которую выгружают в кузов транспорта и отправляют на объект для устройства слоя дороги.

Покрытия, выполненные из пластикового асфальта, демонстрируют улучшенные показатели прочности, водостойкости, сопротивления деформациям, низкую колеиность, повышенной срок службы. При всех своих плюсах такой асфальтобетон не выделяет токсичные вещества даже под влиянием высоких температур в летний период.

Производство пластикового асфальта является важным процессом переработки отходов на пути к защите окружающей среды: для приготовления одной тонны смеси на заводе требуется от 3 до 10 кг пластиковых отходов. Уже сегодня дороги из пластика активно строят в США, Великобритании, Словакии, Эстонии и других странах. В России такой вид асфальта пока не используется,

хотя в планах развития инновационных продуктов для дорожно-строительной отрасли такой вопрос рассматривается [7].

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

На первом этапе мы попробовали просто сплавить бутылку из-под воды и песок, бутылка размягчилась, но песок налип и осыпался, в более толстом слое не прогревалась, так как у пластика плохая теплопроводность (фото 1).



Фото 1

Второй этап купили гранулы вторсырья (ПЭТ), нагрели в сушильном шкафу при температуре 200 градусов, не расплавились и даже особо не размягчились, сделали вывод, что может это не ПЭТ.

В домашних условиях, просто горелкой расплавили, пластик от канистры и ПЭТ (гранулы), увы, он начинал гореть, но и плавился хорошо, соотношение пластика и щебня с песком было примерно 50:50. После остывания смесь приняла форму в которой плавил, толщина около 2,5 см достаточно твердая смесь (фото 2).



Фото 2

Так как для расплавления ПЭТ требуется достаточная высокая температура, а при нагреве горелкой происходит воспламенение, пришли к выводу купить

пластик с низкой температурой плавления, а это полиэтилен температура плавления 122 градуса, полипропилен 160 градусов и полистирол от 170-200 °С.

На третьем этапе купили полиэтилен. Мы решили заделать яму на территории Новосибирского колледжа автосервиса и дорожного хозяйства. Для этого соединили щебень фракции 5-20 мм и полиэтилен в пропорции 1:1 и нагревали газовой горелкой непосредственно в яме. Сыпали слоями. Верхний слой посыпали только полиэтиленом, он начал сильно гореть. Поняли, что ошибка, так как полиэтилен должен плавиться, а не гореть. Далее, посыпали песком (см. фото 3, 4, 5, 6, 7, 8).



Фото 3



Фото 4



Фото 5

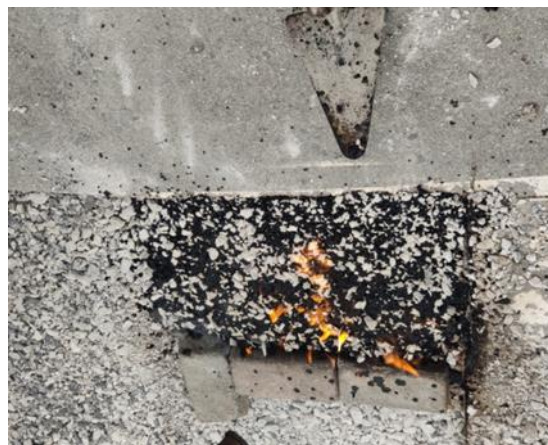


Фото 6



Фото 7



Фото 8

На четвертом этапе, спустя 2 часа пришли визуально оценить. Уложенная смесь была всё ещё горячая. Края смеси отошли от кромки ямы. Но, сама уложенная смесь была твердая. Сделали вывод: и в ближайшее время у нас в планах, рассчитать точную рецептуру щебня и полиэтилена, укладывать щебень тонким слоем прогревая горелкой, затем посыпать полиэтиленом, прогревая от центра для того, чтобы расплавленный полиэтилен растекался к краям, и хорошо соединялся с кромкой ямы (см. фото 9, 10).



Фото 9



Фото 10

Посчитали, примерно, экономических эффект, и получилось, что если брать пластик 50% на 50% минерального сырья, то получается менее эффективно, чем холодный асфальт, который применяют, для ямочного ремонта. Сделали вывод, из пластиков взять полиэтилен, или полипропилен, соотношение 10 пластика и 90 минерального составляющего, греть не горелкой, а строительным феном. В домашних условия, попробовали собрать из подручных материалов имитацию образцов, нагреть ПГС и разные пластики, Полипропилен это труб водоснабжения, результат не очень удовлетворительный, не получилось ровного прогрева. Полиэтилен от коробок для хранения - результат более приемлемый, получилось собрать в 3 слоя, прогревая каждый феном. Попробовали с полипропиленом, от пищевых упаковок, склеились даже крупные частицы минерального составляющего. Образец крепкий. Попробовали с пластиком, который по этикетке был полипропиленом, оказалось этикетка не соответствует, неизвестный пластик был термореактивным и просто без горения превратился в

уголь. Планы на ближайший месяц, закупить гранулят вторичного полиэтилена и полипропилена, и в лабораторных условиях отработать рецепт, прогревая отдельно щебень, и греть феном пластик, уложить послойно образец толщиной 3 см, что будет соответствовать толщине ямочного ремонта. Наша гипотеза, что 10 % будет достаточно, для связывания минерального состава и тогда это будет и экономически выгодно и экологически тем более. Если же использовать вместо щебня гранулят асфальтобетона, содержащий остаточный битум, то сцепление будет еще лучше.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении следует отметить, что применение ПЭТ-вторсырья и гранулята позволяет существенно экономить природные ресурсы и снижать нагрузку на окружающую среду. При этом важно правильно подготовить и использовать вторичные материалы чтобы добиться высокого качества конечной продукции. В дальнейшем у нас в планах исследование физико-механических свойств смесей с различным содержанием ПЭТ-вторсырья полиэтилена, полипропилена и гранулята асфальта, а, также, визуальная оценка заделки ям с этими смесями после зимнего и весеннего периода.

Список литературы

1. Твердые бытовые отходы, отраслевой ресурс Композиционные строительные материалы // [электронный ресурс] <https://www.solidwaste.ru/processing/catalog/prod/4>.
2. Интерпласт, ПЭТ – что это такое, применение полиэтилентерефталата // [электронный ресурс] <https://plasticmachinery.ru/baza-znaniy/syre/pjet-cto-jeto-takoe-primenenie-polijetilentereftalata>
3. Пластэксперт. ПЭТ // [электронный ресурс] <https://e-plastic.ru/spravochnik/materiali>
4. Пластиковая и полимерная упаковка/. ПЭТ и экология // [электронный ресурс] <https://abmf.ru/company/articles>
5. Строительная система. Щебеночно-песчаная смесь: особенности и применение // [электронный ресурс] <https://tsk-sistema.ru/company/stati/shchebenochno-peschanaya-smes-osobennosti-i-primeneniye/>
6. Выбор. Виды тротуарной плитки: описание и особенности производства // [электронный ресурс] <https://www.vibor-spb.ru/pokupatelyam/article/2267/>
7. Надежное оборудование для дорожно-строительных компаний. Современный асфальтобетон // [электронный ресурс] <https://nflg.ru/stati/post/sovremennyye-vidy-asfalta>
8. Клинков А.С., Беляев П.С., Соколов М.В. Утилизация и вторичная переработка полимерных материалов // Учеб. пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005 80 с.

Ильина Л.В., Цекарь Д.А. ВЛИЯНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПОМОЛА МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ НА ЕЕ ФАЗОВЫЙ СОСТАВ

Ильина Лилия Владимировна, Цекарь Денис Анатольевич
ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)» г. Новосибирск ул. Ленинградская 113, индекс 630008, Россия

Научный руководитель: Ильина Лилия Владимировна, доктор технических наук, профессор, советник РААСН, директор ИЦИТ

Аннотация. Среди модифицирующих добавок, используемых в технологии создания высокопрочных цементных композитов особое место занимают минеральные добавки, которые делятся на активные и инертные. Инертные минеральные добавки, оказываясь вместе с цементом в пустотах заполнителя, уплотняют структуру искусственного камня. Тонкодисперсные минеральные добавки обладают высокой поверхностной активностью, их использование позволяет снизить расхода цемента, при этом сохраняя прочностные характеристики композита или приводит к упрочнению цементных систем при сохранении расхода цемента. Если дисперсная минеральная добавка обладает химическим сродством с клинкерными минералами или продуктами их гидратации, то ее частицы могут выступать центрами кристаллизации гидратных новообразований. Одним из вариантов такой добавки может являться тонкодисперсный гидратированный цемент. Авторы рассматривают влияние продолжительности измельчения такой добавки на ее фазовый состав.

Ключевые слова: дисперсная добавка, гидратированный цемент, продолжительность помола, фазовый состав.

Annotation. Among the modifying additives used in the technology of creating high-strength cement composites, mineral additives occupy a special place, which are divided into active and inert. Inert mineral additives, being together with cement in the voids of the filler, compact the structure of artificial stone. Finely dispersed mineral additives have a high surface activity, their use reduces cement consumption while maintaining the strength characteristics of the composite or leads to the hardening of cement systems while maintaining cement consumption. If a dispersed mineral additive has a chemical affinity with clinker minerals or their hydration products, then its particles can act as centers of crystallization of hydrate neoplasms. One of the options for such an additive may be finely dispersed hydrated cement. The authors consider the effect of the grinding time of such an additive on its phase composition.

Keywords: dispersed additive, hydrated cement, grinding time, phase composition.

Введение. Известно, что к высокопрочным относятся тяжелые бетоны с пределом прочности при сжатии 60 - 80 МПа, а к ультравысокопрочным – свыше 80 МПа. Это бетоны нового поколения, обладающие высокими физико-механическими свойствами: прочностью, морозостойкостью, водонепроницаемостью, долговечностью [1, 2].

Применение модифицирующих добавок в цементные системы помогает достичь особо важных эксплуатационных свойств композитов [3 - 7]. Среди модифицирующих добавок, используемых в технологии создания высокопрочных цементных композитов особое место занимают две большие группы добавок – пластифицирующие и минеральные добавки. При этом пластифицирующие добавки чаще применяют в цементных композитах с высоким расходом портландцемента, а минеральные добавки – в составах с его низким содержанием [8 - 10].

Дисперсные минеральные добавки отличаются мелкими размерами зёрен (менее 0,16 мм, а чаще еще меньше), а от химических модификаторов тем, что они не растворяются в воде. Минеральные добавки в свою очередь подразделяются на активные и инертные [3, 5, 11, 12].

Инертные минеральные добавки, оказываясь вместе с цементом в пустотах заполнителя, уплотняют структуру искусственного камня, иногда позволяют уменьшить расход цемента [6, 13, 14]. Тонкодисперсные минеральные добавки обладают высокой поверхностной активностью, их использование позволяет снизить расхода цемента, при этом сохраняя прочностные характеристики композита или приводит к упрочнению цементных систем при сохранении расхода цемента [5, 6, 7, 13, 14].

Одним из вариантов ускорения гидратации цемента и, как следствие, сокращения сроков образования кристаллогидратов может являться применение добавки на основе цементного камня. Клинкерные минералы при реакции с водой образуют кристаллогидраты [8, 9], которые обладают химическим родством с ними. Следовательно, частицы тонкодисперсной минеральной добавки, изготовленной путем помола гидратированного цемента, могут выступать центрами кристаллизации и, тем самым, влиять на процессы гидратации цементной системы. Ряд ученых указывает на необходимость контроля размерности зерен инертных минеральных добавок [12 – 14].

Целью работы явилось изучение изменений фазового состава тонкодисперсной минеральной добавки, изготовленной на основе гидратированного цемента, при изменении продолжительности ее измельчения.

Материалы и методы исследования. При изготовлении тонкодисперсной минеральной добавки за основу был взят гидратированный цемент ЦЕМ I 42,5Н ООО произведенный в г. Ачинск, Красноярского края, «Ачинский цемент», который набирал прочность 28 суток в нормальных условиях. Затем гидратированный цемент измельчался в мельнице-активаторе планетарного типа АГО-2 в течение 1, 3 и 5 минут. Полученный тонкодисперсный порошок использовался в качестве дисперсной минеральной добавки для цементных систем. За контрольный состав был принят состав, измельченный вручную до полного прохождения через сито №008.

Для оценки изменения фазового состава полученной минеральной добавки применялся рентгенофазовый анализ (РФА). Дифрактограммы регистрировались на порошковом дифрактометре Bruker D8 Advance в геометрии Брегга-Брентано с CuK α -излучением. Определение фаз соединений проводилось с использованием базы данных порошковых рентгенограмм ICDD

PDF-4 (2011г.) и справочника Горшкова В.С., Тимашева В.В., Савельева В.Г. [15].

Исследование изменений фазового состава минеральной добавки. Полученные дифрактограммы приведены на (рис. 1 – 4). На (рис. 5) приведены данные изменения величины пиков гидратных новообразований в зависимости от продолжительности помола.

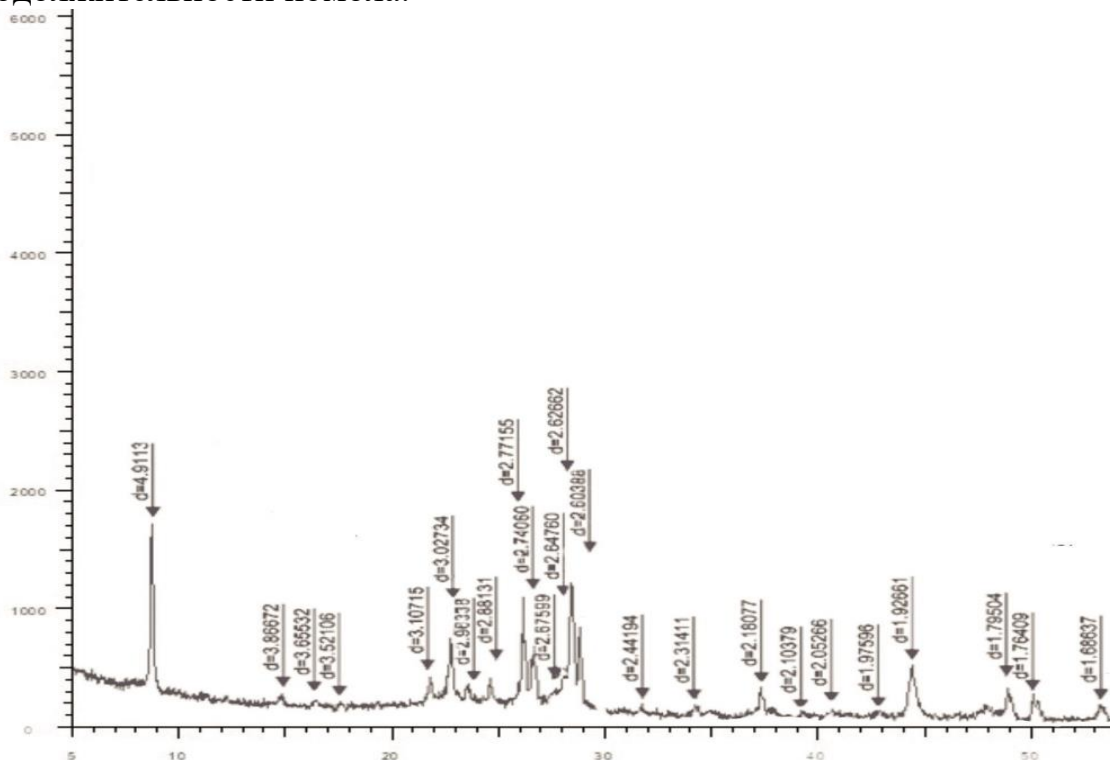


Рисунок 1 - Дифрактограмма добавки контрольного состава

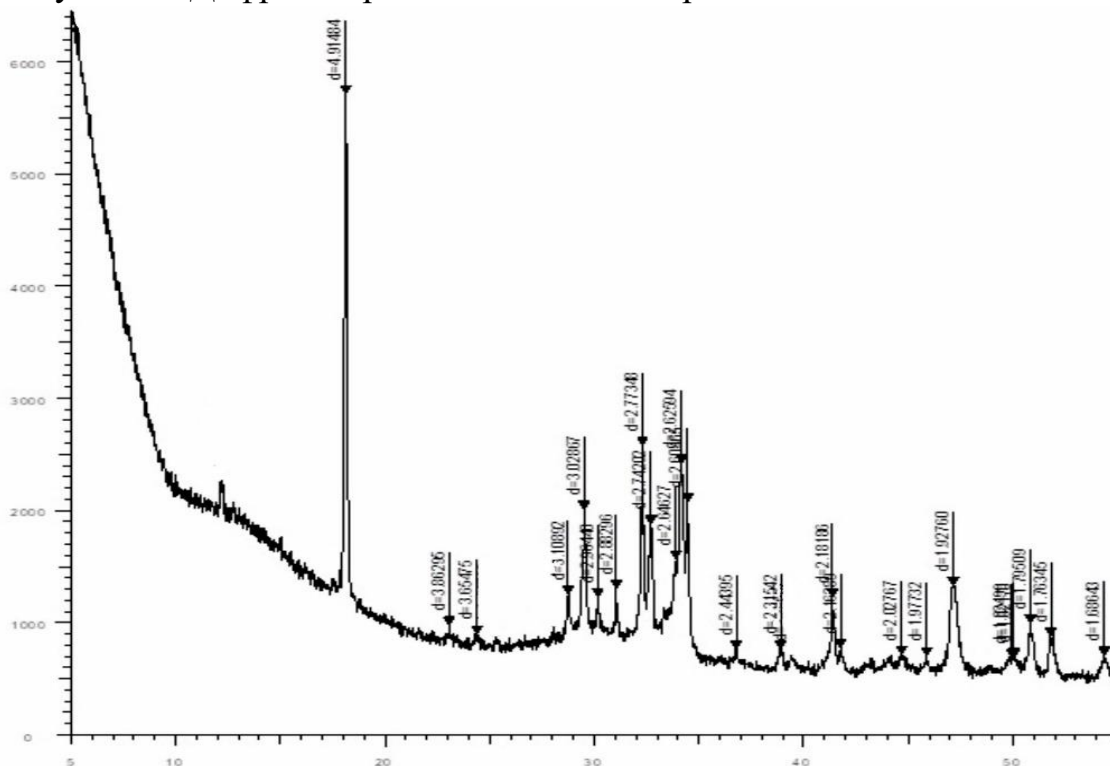


Рисунок 2 - Дифрактограмма добавки, измельченной в течение 1 минуты

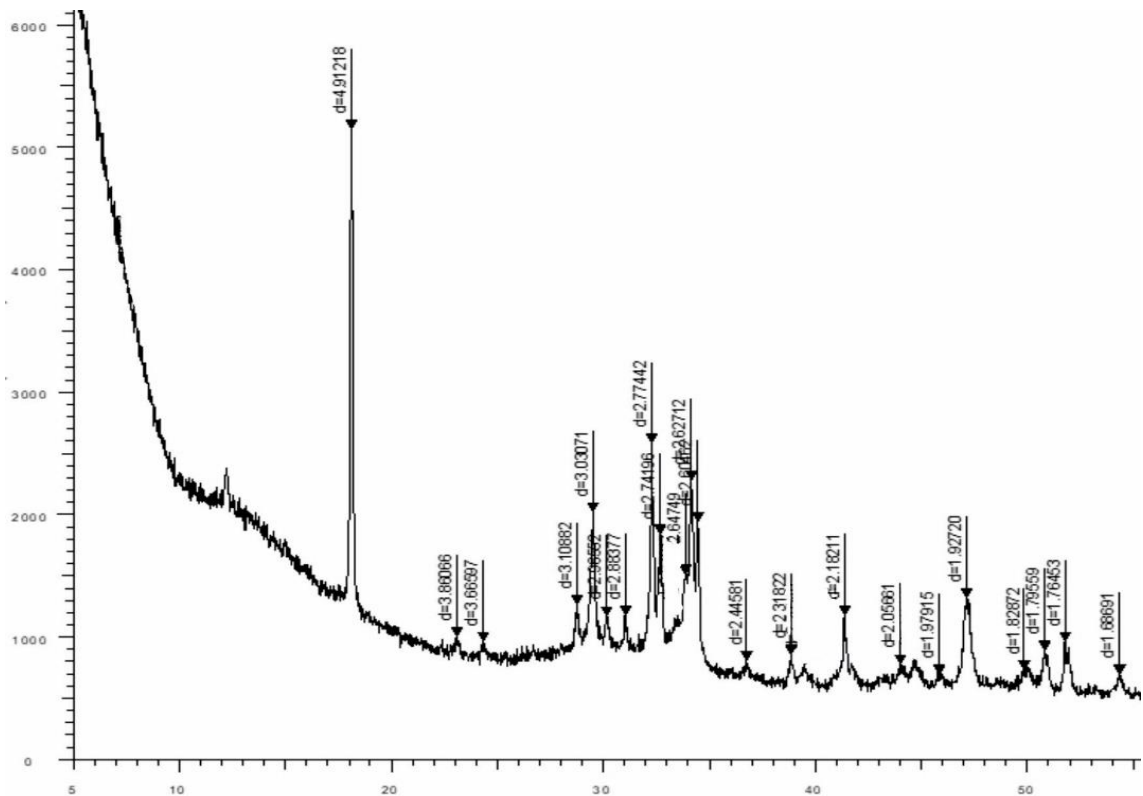


Рисунок 3 - Дифрактограмма добавки, измельченной в течение 3 минут

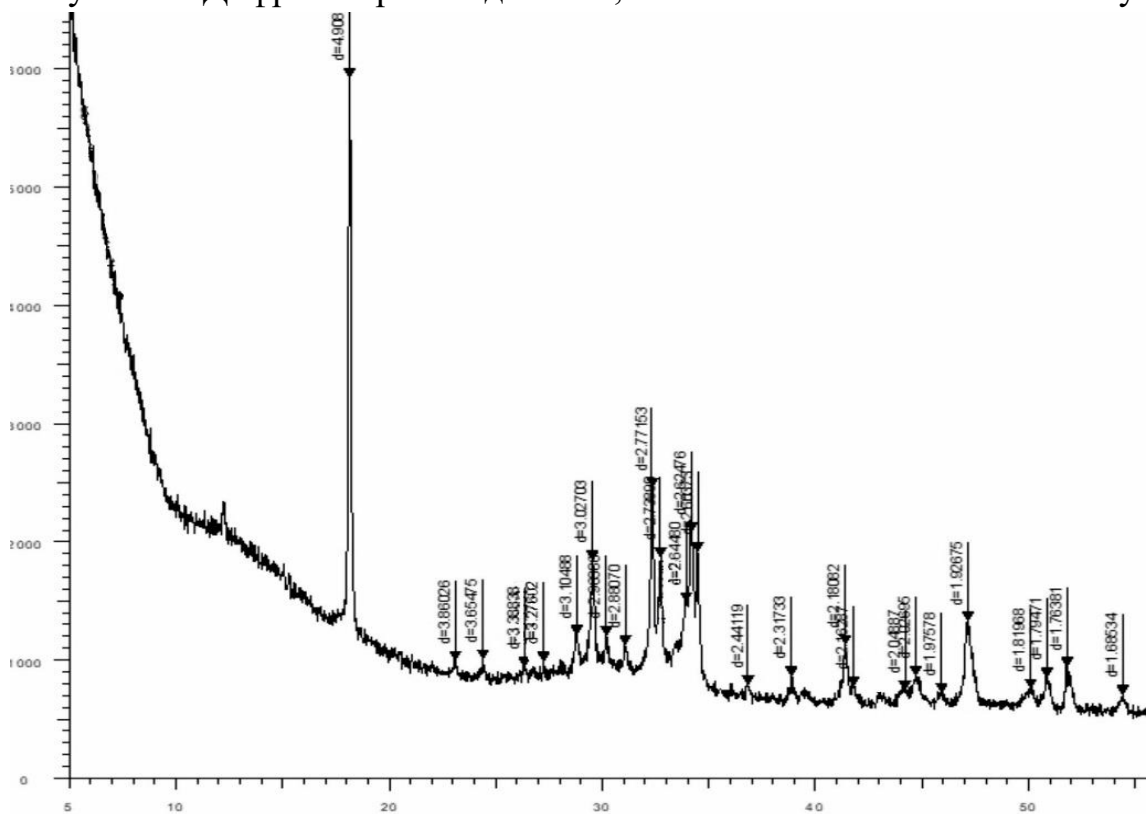


Рисунок 4 - Дифрактограмма добавки, измельченной в течение 5 минут

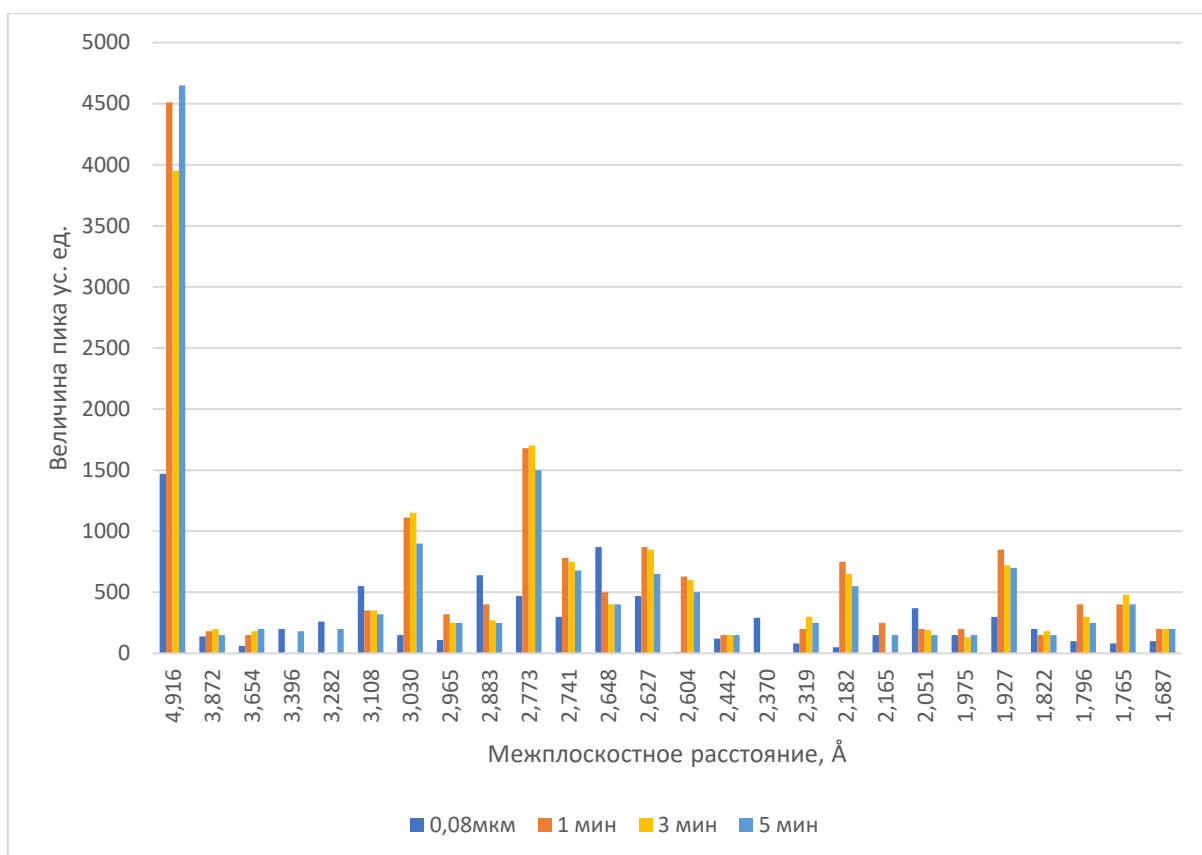


Рисунок 5 - Изменение величины пиков гидратных новообразований в зависимости от продолжительности помола

Анализ приведенных дифрактограмм показал, что при помоле минеральной добавки происходит:

- увеличение интенсивности пиков C-A-H ($d=2,97; 2,44; 2,32; 2,18; 1,8; 1,76 \text{ \AA}$),
- увеличение интенсивности пиков C-S-H ($d=2,77; 2,63 \text{ \AA}$),
- увеличение интенсивности пиков тоберморита ($d=3,03; 1,8 \text{ \AA}$),
- увеличение интенсивности пиков портландита (Ca(OH)_2) ($d=4,1; 1,9; 1,7 \text{ \AA}$),
- снижение интенсивности пиков непрореагировавших силикатных фаз ($d = 3,28; 3,11; 2,88; 2,37 \text{ \AA}$),
- снижение интенсивности пиков непрореагировавших алюминатных фаз ($d = 2,88; 2,65; 2,05 \text{ \AA}$).

Заключение. На основании проведенного исследования можно констатировать, что при измельчении минеральной добавки происходит не только помол, но механохимическая ее активация. Следовательно, данная добавка может выполнять роль эффективного модификатора в цементные системы, влияющего на процесс гидратации портландцемента.

Список литературы

1. Баженов Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны / Ю.М. Баженов, В.С. Демьянова, В.И. Калашников // М.: АСВ. – 2006. – 368 с.

2. Баженов Ю.М. Технология бетона / Баженов Ю.М. // М.: АСВ, 2002. 500 с.
3. Батраков В.Г. Модификаторы бетона: новые возможности и перспективы / Батраков В.Г. // Строительные материалы. – 2006. – № 10. – С.4-7.
4. Енджиевская И.Г. Оценка взаимодействия добавок в бетоне / И.Г. Енджиевская, А.В. Демина, А.С. Енджиевский, С.Д. Дубровская // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2022. – Т. 24. – № 3. – С. 128–137. DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-3-128-137.
5. Ильина Л.В. Влияние комплексных дисперсных минеральных добавок на прочность цементного камня / Л.В. Ильина, Г.И. Бердов, Н.О. Гичко // Известия вузов. Строительство. – 2017. – №1. – С. 38-44.
6. Высоцкий С.А. Минеральные добавки для бетонов / Высоцкий С.А. // Бетон и железобетон. – 1994. – № 2. – С.7-10.
7. Il'ina L. Increase in the strength characteristics of Portland cement due to introduction of the compound mineral supplements / L. Il'ina, N. Gichko, I. Mukhina // AIP Conference Proceedings. - 2016. - Vol. – 1698, P. - 070003. DOI: 10.1063/1.4937873.
8. Самченко, С. В. Формирование и генезис структуры цементного камня: монография / С.В. Самченко. // — М.: Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, – 2016. — 284 с. — ISBN 978-5-7264-1313-6. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/49874.html>
9. Ахвердиева Т.А. Влияние тонкомолотых минеральных добавок на свойства бетона / Т.А. Ахвердиева, Р. Джафаров // Строительные материалы. 2019. № 3. С. 73–76. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-768-3-73-76>.
10. Копаница Н.О., Комплексные добавки на основе вторичных ресурсов для модификации цементных композиций / Н.О. Копаница, О.В. Демьяненко, А.А. Куликова // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2023. Т. 334. № 1. С. 136-144. DOI: 10.18799/24131830/2023/1/4045
11. Добшиц Л.М., Кинетика набора прочности цементного камня с модифицирующими добавками / Л.М. Добшиц, О.В. Кононова, С.Н. Анисимов // Цемент и его применение. – 2011. – № 4. – С. 104-107.
12. Ильина Л.В. Повышение прочностных характеристик цементных конгломератов добавками направленного действия / Л.В. Ильина, В.В. Молодин, Н.О. Гичко, А.К. Туляганов // Строительные материалы. 2023. № 7. С. 36-42.
13. Самченко С.В. Оптимизация структуры и свойств порошково-активированного бетона путём применения портландцементов различной дисперсности / С.В. Самченко, С.С. Каприелов, И.В. Дыкин // Техника и технология силикатов. 2022. Т. 29. №1. С. 64 – 74. https://tsilicates.ru/2022_tts1
14. Ilina L., Aerated dry mix concrete for remote northern territories / L. Ilina, A. Kudyakov, M. Rakov // Magazine of Civil Engineering. 2022. № 5 (113). Article No. 11310. DOI: 10.34910/MCE.113.10

15. Горшков В.С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ: Учеб, пособие. / В.С. Горшков, В.В. Тимашев, В.Г. Савельев // — М.: Высш. школа, 1981. — 335 с.

List of literature

1. Bazhenov Yu.M. Modified high-quality concretes / Yu.M. Bazhenov, V.S. Demyanova, V.I. Kalashnikov // Moscow: ASV. 2006. 368 p

2. Bazhenov Yu.M. Technology of concrete / Bazhenov Yu.M. // Moscow: DIA, 2002. 500 p.

3. Batrakov V.G. Concrete modifiers: new opportunities and prospects / Batrakov V.G. // Building materials. - 2006. – No. 10. – pp.4-7.

4. Engievskaya I.G. Evaluation of the interaction of additives in concrete / I.G. Engievskaya, A.V. Demina, A.S. Engievsky, S.D. Dubrovskaya // Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. – 2022. – Vol. 24. – No. 3. – pp. 128-137. DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-3-128-137.

5. Ilyina L.V. Influence of complex dispersed mineral additives on the strength of cement stone / L.V. Ilyina, G.I. Berdov, N.O. Gichko // Izvestiya vuzov. Construction. – 2017. – No. 1. – pp. 38-44.

6. Vysotsky S.A. Mineral additives for concrete / Vysotsky S.A. // Concrete and reinforced concrete. – 1994. – No. 2. – pp.7-10.

7. Il'ina L. Increase in the strength characteristics of Portland cement due to introduction of the compound mineral supplements / L. Il'ina, N. Gichko, I. Mukhina // AIP Conference Proceedings. - 2016. - Vol. – 1698, P. - 070003. DOI: 10.1063/1.4937873.

8. Samchenko, S. V. Formation and genesis of the cement stone structure: a monograph / S.V. Samchenko. // — Moscow: Moscow State University of Civil Engineering, IPR Media, EBS DIA, – 2016. — 284 p. — ISBN 978-5-7264-1313-6. — Text: electronic // IPR BOOKS electronic Library system: [website]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/49874.html>

9. Akhverdieva T.A. The influence of finely ground mineral additives on the properties of concrete / T.A. Akhverdieva, R. Jafarov // Building materials. 2019. No. 3. pp. 73-76. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-768-3-73-76> .

10. Kopanitsa N.O., Complex additives based on secondary resources for modification of cement compositions / N.O. Kopanitsa, O.V. Demyanenko, A.A. Kulikova // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering. 2023. Vol. 334. No. 1. pp. 136-144. DOI: 10.18799/24131830/2023/1/4045

11. Dobshits L.M., Kinetics of strength gain of cement stone with modifying additives / L.M. Dobshits, O.V. Kononova, S.N. Anisimov // Cement and its application. - 2011. – No. 4. – pp. 104-107.

12. Ilyina L.V. Improving the strength characteristics of cement conglomerates with directional additives / L.V. Ilyina, V.V. Molodin, N.O. Gichko, A.K. Tulyaganov // Building Materials. 2023. No. 7. pp. 36-42.

13. Samchenko S.V. Optimization of the structure and properties of powder-activated concrete by using Portland cements of various dispersion / S.V. Samchenko,

S.S. Kapriyelov, I.V. Dykin // Silicate engineering and technology. 2022. Vol. 29. No. 1. pp. 64-74. https://tsilicates.ru/2022_tts1

14. Ilina L., Aerated dry mix concrete for remote northern territories / L. Ilina, A. Kudyakov, M. Rakov // Magazine of Civil Engineering. 2022. № 5 (113). Article No. 11310. DOI: 10.34910/MCE.113.10

15. Gorshkov V.S. Methods of physico-chemical analysis of binders: Textbook. / V.S. Gorshkov, V.V. Timashev, V.G. Savelyev // — М.: Higher School, 1981. - 335p.

Ильина Л.В., Вишняков Н.С. ИЗМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОПОДВИЖНОГО БЕТОНА ВВЕДЕНИЕМ СУПЕРПЛАСТИФИЦИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ

*Ильина Лилия Владимировна, Вишняков Никита Сергеевич
Новосибирский государственный архитектурно-строительный
университет (СИБСТРИН) г. Новосибирск ул. Ленинградская 113, 630008*

Аннотация. В данной статье анализируется влияние суперпластификатора на характеристики высокоподвижной бетонной смеси и тяжелого бетона, полученного при твердении в нормальных условиях на протяжении различных периодов времени. В качестве исследуемой добавки выступает суперпластификатор «FIX-1» производства компании «Ventax», который применяется в количестве 0,8 – 0,9 масс. % от массы цемента.

Использование данного суперпластификатора приводит к уменьшению расслаивания высокоподвижной бетонной смеси. Также отмечается значительное ускорение набора прочности в ранние сроки твердения материала. Сохраняемость подвижности бетонной смеси увеличивается: при расходе цемента 450 кг/м³ и дозировке добавки 0,9 % потеря подвижности за 60 минут составила 1 см. Максимальный эффект упрочнения наблюдается при добавлении суперпластификатора в количестве 0,9 масс. % от массы цемента.

Ключевые слова: портландцемент, суперпластификатор, высокоподвижная смесь, бетон, прочность, подвижность.

Введение. Прочность бетона формируется под воздействием множества факторов, таких как активность цемента, доля цемента и воды, качество заполнителей, технологический процесс смешивания, степень уплотнения и режим твердения бетона. Кроме того, использование химических добавок в бетонной смеси также значительно влияет на эксплуатационные свойства цементных композитов.

В последнее время наблюдается возрастание интереса к использованию в строительстве высокоподвижных и литых бетонных смесей. Ранее для достижения высокой подвижности в таких бетонах применялось большое количество воды и цемента, что вызывало высокую расслаиваемость смеси и снижало качество бетона. Сегодня вместо традиционных бетонных смесей с

марками удобоукладываемости от П1 до П4 всё чаще используются высокоподвижные смеси марок по подвижности Р4, Р5, Р6, достигая необходимой удобоукладываемости с помощью современных суперпластификаторов [1-3].

Добавление в бетон органических веществ в виде супер- и гиперпластификаторов может оказывать влияние на процесс гидратации клинкерных минералов. Исследователи также отмечают, что пластификаторы могут влиять на морфологию гидросиликатов, замедляя гидратацию и способствуя образованию «длинноволокнистых» гидросиликатов кальция, что может повысить прочность бетона [4-6].

Данные химические добавки позволяют не только повышать подвижность бетонной смеси, но также регулировать сроки схватывания и улучшать прочностные характеристики бетона. Использование суперпластификаторов для модификации смесей стало эффективным методом, применяемым в монолитном и сборном строительстве для изготовления железобетонных конструкций с высокими требованиями к долговечности.

Улучшение физико-механических свойств тяжелого бетона, связано с повышением плотности и изменением микроструктуры цементного камня. Бетонная смесь при этом имеет высокую текучесть, что улучшает адгезию с арматурой и снижает трудозатраты при формировании конструкций, особенно густоармированных [7-10].

Материалы и методы исследования:

В качестве вяжущего вещества использовался портландцемент класса ЦЕМ I прочностью 42,5, быстротвердеющий, выпускаемый компанией ООО «Сухоложск-цемент», расположенной в Свердловской области, город Сухой Лог. Основные характеристики цемента представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Техническая характеристика портландцемента

№ п/п	Наименование показателя	Требуемое значение	Фактическое значение
1	Тонкость помола (остаток на сите № 008), %	не нормируется	1,0
2	Удельная поверхность, м ² /кг	не нормируется	406
3	Сроки схватывания: начало, мин конец, мин	не ранее 60 не нормируется	133 219
4	Равномерность изменения объема (расширение), мм	не более 10	0,67
5	Нормальная густота, %	не нормируется	28,8
6	Прочность при изгибе: - в возрасте 2 суток, МПа - в возрасте 28 суток, МПа	не нормируется не нормируется	5,1 9,3
7	Прочность при сжатии: - в возрасте 2 суток, МПа - в возрасте 28 суток, МПа	не менее 20,0 от 42,5 до 62,5	27,3 57,2

Химический и минералогический состав портландцементного клинкера указан в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Химический состав портландцементного клинкера, %.

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O + 0,658K ₂ O	Cl	Нерастворимый остаток
22,00	5,40	3,40	59,50	3,30	3,70	0,77	0,02	4,00

Таблица 3 – Минералогический состав в % цементного клинкера

C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
62,5	15,6	6,4	10,3

Для выполнения работ был использован щебень из Шипуновского месторождения, расположенного в Новосибирской области, в городе Искитим. Данный щебень имел фракцию 5-10 мм. Истинная плотность равнялась 2690 кг/м³, а насыпанная плотность составляла 1370 кг/м³. Характеристика крупного заполнителя и его зерновой состав приведены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4 – Характеристика щебня

Месторождение	Вид горной породы	Физико-технические показатели						
		Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	Содержание глины в комках %	Лещадность %	Содержание зерен слабых пород, %	Плотность кг/м ³	Насыпная плотность, кг/м ³	Морозостойкость, цикл
Шипуновское	Известняк	1	0	12,9	2	2690	1370	200

Таблица 5 – Зерновой состав используемого щебня

Наименование показателей	Значения показателей				
Размер отверстий контрольных сит, мм	20	15	10	5	< 5
Полные остатки на контрольных ситах А, % по массе	0	1,99	49,58	99,19	100

В качестве мелкого заполнителя использовался кварцевый песок, поставляемый ООО «Старица», месторождение которого находится в Новосибирской области, в районе поселка Приобский. Насыпная плотность песка составляла 1550 кг/м³, а модуль крупности равнялся 2,21. Характеристика песка и его зерновой состав приведены в таблицах 6 и 7.

Таблица 6 – Характеристика песка

Наименование месторождения	Насыпная плотность, кг/м ³	Модуль крупности	Класс песка	Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	Содержание глины в комках, %
Карьер «Кучино»	1550	2,21	I	1,5	0

Таблица 7 – Зерновой состав используемого песка

Наименование показателей	Значения показателей					
Размер отверстий контрольных сит, мм	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16
Полные остатки на контрольных ситах А, % по массе	0	5,85	11,84	34,41	73,42	94,66

В качестве химической добавки в работе использовался суперпластификатор на основе эфиров поликарбоксилатов – «FIX-1», производства компании ООО «BENTAX». Технические характеристики СП приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Технические характеристики суперпластификатора

Наименование показателей	Значения показателей
Внешний вид	Жидкость светло-коричневого цвета
Плотность раствора, кг/дм ³	1,035 ± 0,005
Водородный показатель рН	5,0 – 8,0
Содержание хлоридов	0,1
Содержание сухого вещества, %	≥ 35,0
Оптимальная дозировка, в % по готовому продукту от массы цемента	0,8 – 1,3
Граничная дозировка, в % по готовому продукту от массы цемента	0,6 – 1,5

Проверка свойств песка и щебня проводилась в соответствии с ГОСТ 8735–88 и ГОСТ 8269-97 соответственно. Все испытания осуществлялись в аккредитованной лаборатории с использованием калиброванного оборудования. Лабораторные испытания бетонной смеси и бетона выполнялись в соответствии с ГОСТ 10181–2014.

Процесс перемешивания бетонной смеси осуществлялся в следующем порядке:

- 1) смешивание песка и цемента в сухом состоянии;
- 2) добавление щебня в сухую смесь с последующим перемешиванием;
- 3) введение 70 % воды затворения с заранее растворённым в ней суперпластификатором;
- 4) добавление оставшихся 30 % воды затворения и дальнейшее перемешивание до достижения необходимой консистенции.

Из полученной бетонной смеси изготавливались образцы размером 100×100×100 мм для последующего испытания на сжатие.

Испытания бетонных образцов проводились в соответствии с ГОСТ 10180–2012. Образцы набирали прочность при стандартных условиях: температура 20 ± 2 °С, влажность 95 ± 5 % (в камере нормального твердения). Испытания на сжатие кубиков проводились на 1, 3 и 28 день с использованием гидравлического пресса ТП-1-1500.

Результаты и обсуждение

В процессе определения состава бетонной смеси и технологических параметров применялся метод многофакторного планирования эксперимента. Этот подход позволяет выявить взаимосвязь между рецептурными и технологическими параметрами.

При использовании метода многофакторного экспериментального планирования математическое представление формулируется как полином, где \hat{Y} обозначает функцию отклика, а x_1 и x_2 – факторы, которые исследуются в рамках эксперимента. В данном случае в качестве откликов процесса выбраны следующие параметры: прочность бетона на сжатие на 1, 3 и 28 день нормального твердения, расход воды на 1 м^3 бетонной смеси, начальная подвижность бетонной смеси и ее сохраняемость подвижности в течение 30 и 60 минут. Факторами, оказывающими влияние на свойства образцов, считаются: x_1 – масса портландцемента, кг; x_2 – количество пластификатора, выраженное в процентах от массы портландцемента.

Регрессионное уравнение для двух факторов, изучаемых на трех уровнях, записывается следующим образом:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{1,2}x_1x_2 \quad (1)$$

где x_1, x_2 – значения факторов;

b_0 – свободный член, равный выходу при $x_0 = 1$;

b_1, b_2 , – коэффициенты регрессии соответствующих факторов, указывающие на влияние того или иного фактора на изучаемый процесс;

$b_{1,2}$ – коэффициенты при произведениях факторов, свидетельствующие о наличии двойного взаимодействия между факторами.

Эксперимент проведен по плану, приведенном в таблицах 9, 10. Для каждого фактора, исследуемого в данном эксперименте, принят условный нулевой уровень.

Таблица 9 – Значения факторов варьирования

Наименование фактора	Условное обозначение	Уровень варьирования факторов		
		-1	0	+1
Расход портландцемента, кг	x_1	0,45	0,46	0,47
Расход пластификатора, % от портландцемента	x_2	0,8	0,85	0,9

Таблица 10 – Матрица планирования

№ состава	Матрица планирования	
	x_1	x_2
1	-1	-1
2	-1	0

3	-1	1
4	0	-1
5	0	0
6	0	1
7	1	-1
8	1	0
9	1	1
10	0	0

Исследованные составы и результаты испытаний бетонной смеси и бетона приведены в таблице 11.

Таблица 11 - Результаты испытаний тяжелого бетона

№ п/п	Расход ПЩ, кг	Расход ПЛ, % от ПЩ	Наименование показателя									
			Расход воды, л	Плотность ρ , кг/м ³	Подвижность смеси (расплав конуса) через, см			Изменение подвижности от первоначальной через		Прочность при сжатии, МПа, через		
					0 мин.	30 мин.	60 мин.	30 мин.	60 мин.	1 сут.	3 сут.	28 сут.
1	450	0,8	178	2412	49,5	42,5	39,0	0,86	0,79	31,1	42,4	53,6
2	450	0,85	176	2380	52,0	56,0	50,0	1,07	0,96	29,3	44,8	55,7
3	450	0,9	173	2386	52,5	57,0	51,5	1,09	0,98	28,9	45,3	58,3
4	460	0,8	180	2420	52,5	48,5	41,5	0,92	0,79	30,1	44,6	58,4
5	460	0,85	178	2413	52,0	53,5	44,0	1,03	0,85	29,3	45,7	59,6
6	460	0,9	175	2391	52,0	55,5	49,5	1,07	0,95	28,4	46,6	60,8
7	470	0,8	185	2424	49,5	48,0	40,5	0,95	0,82	31,5	44,7	57,1
8	470	0,85	180	2420	52,0	51,0	43,0	0,98	0,83	31,4	46,6	61,0
9	470	0,9	177	2429	53,5	50,0	40,0	0,99	0,85	31,0	47,7	62,2

В результате математической обработки эксперимента получены уравнения регрессии:

- прочность образцов бетона в первые сутки, МПа.

$$\hat{y} = 30,11 + 0,51x_1 - 0,49x_2 + 0,19x_1x_2 \quad (2)$$

- прочность образцов бетона на третьи сутки, МПа.

$$\hat{y} = 45,38 + 0,72x_1 + 0,88x_2. \quad (3)$$

- прочность образцов бетона на двадцать восьмые сутки, МПа.

$$\hat{y} = 58,52 + 1,41x_1 + 1,36x_2. \quad (4)$$

- расход воды, л.

$$\hat{y} = 178 + 1,67x_1 - 2x_2. \quad (5)$$

- изменение подвижности бетонной смеси от первоначальной через 30 минут после замеса, см;

$$\hat{y} = 1,00 - 0,01x_1 + 0,05x_2 - 0,02x_1x_2, \quad (6)$$

- изменение подвижности бетонной смеси от первоначальной через 60 минут после замеса, см.

$$\hat{y} = 0,87 - 0,03x_1 + 0,04x_2 - 0,02x_1x_2. \quad (7)$$

Анализ экспериментальных данных показал, что:

- на прочность бетона, твердевшего одни сутки, основное влияние оказывает количество цемента; расход суперпластификатора также влияет на прочность, но в менее выраженной степени;
- для прочности бетона, твердевшего трое суток, важнейшим фактором является количество пластификатора, в то время как расход цемента оказывает воздействие, хотя и менее значительное;
- для прочности бетона на двадцать восьмые сутки основным фактором остается расход цемента, при этом на него также влияет количество суперпластификатора, хоть и в меньшей мере;
- главным фактором, определяющим расход воды, является количество суперпластификатора;
- на потерю подвижности бетонной смеси значительно влияет расход суперпластификатора.

Заключение

В результате применения 0,9 % добавки суперпластификатора на основе эфиров поликарбоксилатов «FIX-1» достигалась прочность тяжелого бетона в 28-дневном возрасте при твердении в нормальных условиях в 62,2 МПа. Водоцементное отношение данной бетонной смеси равнялось 0,37. Подвижность бетонной смеси, измеряемая расплывом нормального конуса, после приготовления составляла 53,5 см, а через 60 минут удобоукладываемость снизилась до 40 см.

Список литературы

1. Рауткин, А. В. Выбор химических модификаторов для обеспечения растекаемости самоуплотняющихся бетонных смесей / А. В. Рауткин, Л. И. Касторных // Молодой исследователь Дона: [сайт]. — 2017. — № 4 (7). — С. 118–126.
2. Самоуплотняющиеся бетоны с использованием химических добавок на основе эфиров полиарилов и поликарбоксилатов / С. А. Ю. Муртазаев, С. Г. Шеина, И. С. А. Муртазаев, Д. А. Межидов // Вестник ГГНТУ. Технические науки. – 2023. – Т. 19, № 1(31). – С. 88-95. – DOI 10.34708/GSTOU.2023.74.53.009.
3. Астарханов, М. Ш. Свойства и технология самоуплотняющегося высокопрочного бетона при введении комплексных добавок / М. Ш. Астарханов // Студенческий вестник. – 2023. – № 15-7(254). – С. 26-30.
4. Добавки в бетон. Справочное пособие. Авторы: В.С. Рамачандран и др. Под редакцией В.С. Рамачандрана. Перевод с английского Т.И. Розенберг и С.А. Болдырева. Под редакцией А.С. Болдырева и В.Б. Ратинова. Москва: Стройиздат, 1988. 575 с.
5. Касторных, Л. И. Изменение водоудерживающей способности цементных композиций с суперпластификаторами на поликарбоксилатной основе / Л. И. Касторных, А. А. Калайджян, Г. И. Тебиев // Инновации и экспертиза материалов и изделий: Материалы национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной 75-летию кафедры «Технологический инжиниринг и экспертиза в стройиндустрии», Ростов-на-Дону, 23 ноября 2023

года. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2024. – С. 58-59.

6. Пстыга, А. И. Математическое моделирование влияния суперпластификаторов на водоудерживающую способность бетона / А. И. Пстыга, Д. Р. Файзуллина, Г. У. Ярмухаметова // Водоснабжение, водоотведение и системы защиты окружающей среды : Статьи и тезисы, Уфа, 12–13 апреля 2023 года. – Уфа: ЦИТО+, 2023. – С. 189-196.

7. Пластификаторы и суперпластификаторы бетонных смесей / С. Сейитмырадов, О. Батыров, А. Аннамаммедов, С. Джумамырадов // Инновационная наука. – 2023. – № 4-2. – С. 49-50.

8. Морозов Н.М., Галеев А.Ф. Роль суперпластифицирующих добавок в формировании прочности самоуплотняющегося бетона // Известия КазГАСУ. 2016. № 4 (38). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-superplastifitsiruyuschih-dobavok-v-formirovanii-prochnosti-samouplotnyayuschegosya-betona> (дата обращения: 30.01.2025).

9. Сорокина, Н.С. Влияние суперпластификаторов на свойства бетонной смеси / Н. С. Сорокина, А. Н. Пахомов, Р. Ю. Банин // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. - 2014. - № 3. - С. 1-4.

10. Изотов В.С. Исследование влияния добавок гиперпластификаторов на физико-механические свойства тяжелого бетона / В. С. Изотов, Р. А. Ибрагимов // Известия КазГАСУ. - 2009. - № 2 (12). - С. 242-245.

REFERENCES

1. Rautkin A.V., Kastornyh L.I. *Molodoj issledovatel' Dona*. 2017. №4 (7). pp. 118–126. URL: mid-journal.ru/upload/iblock/5a8/20-rautkin-118_126.pdf.

2. Murtazaev S.A.Y., Sheina S.G., Murtazaev I.S.A, Mezhidov D.A. Self-compacting concretes using chemical additives based on polyaryl esters and polycarboxylates. *Vestnik GGNTY. Tehnicheskie nauki*. 2023. No. 1 (31), pp. 88-95. (In Russian). DOI 10.34708/GSTOU.2023.74.53.009. (In Russian).

3. Astarkhanov, M. S. Properties and technology of self-sealing high-strength concrete with the introduction of complex additives. *Studencheskiy vestnik*. 2023. № 15-7(254), pp. 26-30. (In Russian).

4. Ramachandran V.S., Fel'dman R.F., Kolepari M.I. *Dobavki v beton. Spravochnoye posobiye [Additives in Concrete. Reference Manual]*. Moscow, Stroyizdat Publ., 1988. 575 p. (In Russian).

5. Kastornykh, L. I., Kalaijyan A.A., Tebiev G.I. Changing the water-holding capacity of cement compositions with polycarboxylate-based superplasticizers. *Innovations and expertise of materials and products : Proceedings of the national scientific and practical conference with international participation dedicated to the 75th anniversary of the Department of Technological Engineering and Expertise in the Construction Industry Rostov-on-Don*. Rostov-on-Don: Don State Technical University. 2024, pp. 58-59. (In Russian).

6. Pstyga, A. I., Fayzullina D.R., Yarmukhametova G.U. Mathematical modeling of the effect of superplasticizers on the water retention capacity of concrete. *Water*

supply, sanitation and environmental protection systems : Articles and abstracts, Ufa, April 12-13, 2023. 2023, pp. 189-196. (In Russian).

7. Seyitmyradov S., Batyrov O., Annamammedov A., Dzhumamyradov S. Plasticizers and superplasticizers of concrete mixtures. *Innovatsionnaya nauka*. 2023. No. 4-2, pp. 49-50. (In Russian).

8. Morozov N.M., Galejev A.F. The role of superplasticizing additives in the formation of the strength of selfcompacting concrete. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2016. No. 4 (38), pp. 376–381. (In Russian).

9. Sorokina N.S., Pahomov A.N., Banin R.Y. The effect of superplasticizers on the properties of the concrete mix. *Aktualnye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk*. 2014. No.3, pp. 1-4. (In Russian).

10. Izotov V.S., Ibragimov R.A. Research of influence of additives of hypersofteners on physicomechanical properties of heavy concrete // *Izvestiya KazGASU*, 2009, № 2. – P. 242-245. (In Russian).

Макушина Ю.В., Шмитько Е.И., Белькова Н.А. ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВОВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ ПО ПОКАЗАТЕЛЮ ВЛАЖНОСТНОЙ УСАДКИ

Макушина Юлия Валерьевна, Шмитько Евгений Иванович, Белькова Наталья Анатольевна

*ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет"
кафедра «Технологии строительных материалов, изделий и конструкций»
394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84*

Аннотация. В статье рассмотрено влияние вида и состава добавок-пластификаторов на величину прочности и усадочных деформаций тяжелого бетона. Установлено, что минимальные значения усадочных деформаций имеют системы с добавками поликарбоксилатный эфир. Показано, что значения величины усадочных деформаций образцов тяжелого бетона после ТВО минимальные, так же, при использовании добавок типа поликарбоксилатный эфир.

Ключевые слова: цемент, водоредуцирующий эффект, добавки-пластификаторы, бетон, усадочные деформации.

Производство и применение цементных бетонов для строительного комплекса нашей страны предусматривает активное использование химических добавок различного механизма действия и наномодификаторов [1]. При этом, модификация структуры цементного камня и бетона химическими добавками различного действия является эффективным и перспективным направлением «химизации» современного строительства [2, 3].

Если рассматривать процесс конструирования структуры и свойств современных бетонов, в том числе и цементных, то принципы формирования,

конструирования структуры бетонов рассматриваются и постулируются через призму механизмов ее участия в процессах сопротивления разрушению, на основе которых были сформулированы три концепта управления сопротивлением разрушению [4].

В первом приближении, для бетонов как рядовой прочности, так и для высокопрочных бетонов основным вопросом является проблема формирования структуры, способной обеспечить не только требуемый уровень предела прочности при сжатии, но и новый уровень предельной растяжимости, трещиностойкости и в целом высокий уровень конструкционной прочности, в том числе и деформаций усадки.

Одним из методов получения достаточно плотной и стабильной структуры бетонов является применение химических добавок пластифицирующего действия, снижающего внутреннее трение, с водоредуцирующим эффектом [6-8]. Идентификация таких добавок и оценка их эффективности может быть проведена с применением различных критериев [9, 10]. Нами была опробована методика оценки пластифицирующей эффективности добавок по показателю дескриптора молекулярной структуры [11], прежде всего, для модельной системы «цементное тесто-цементный камень». Было усвоено, что величина дипольного момента зависит от вещественного состава добавок. Минимальный соответствует добавкам на основе линосульфонатов, максимальные значения дипольного момента добавкам типа поликарбоксилатных эфиров. С этим связан и механизм действия этих добавок, для которых помимо электростатического характерен еще и стерический эффект за счет особенностей структуры этих добавок (наличия больших боковых цепей) [12].

Настоящие исследования посвящены оптимизации состава бетона по виду применяемой добавки-пластификатора. При этом в качестве критерия была выбрана величина влажностной усадки.

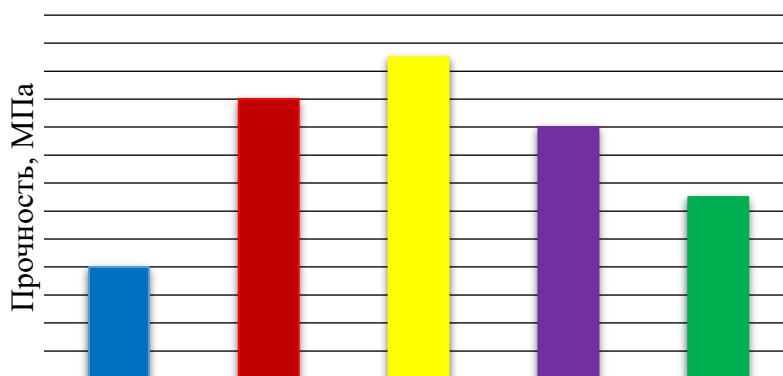
Для исследований использовались следующие материалы: добавки-пластификаторы четырех типов: 1 - лигносульфонат (Реопласт NSL), 2- нафталинсульфонат (Зикамент ФФ), 3- меламинасульфонат (ПФМ-НЛК), 4- поликарбоксилатные эфиры (ГПМ «Ультра»), портландцемент ЦЕМ I 42,5Н производства АО «Осколцемент», песок - местный речной с модулем крупности M_k более 2,0, щебень гранитный, фракции 5-20 мм. Расходы добавок были приняты по рекомендациям производителей каждого конкретного вида добавки.

Значения В/Ц-отношения были приняты 0,4.

Были приняты следующие обозначения систем: «1» - система Ц+П+Щ (эталон), «2» - Ц+П+Щ+Д (1 типа), «3» - Ц+П+Щ+Д (2 типа), «4» - Ц+П+Щ+Д (3 типа), «5» - Ц+П+Щ+Д (4 типа).

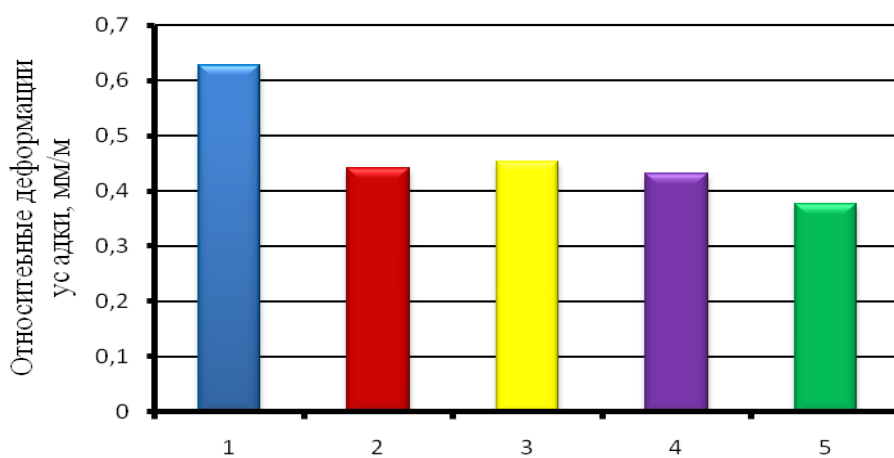
Условия твердения образцов варьировались следующим образом: без ТВО (28 суток при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$) и ТВО (температура $80-85^\circ\text{C}$ и режиме 3+9+2 ч). Исследования влияния типа добавки на прочность и показатель усадки тяжелого бетона проводились при $\phi=50-70\%$ (что характерно влажности в Воронежской области СП 131.13330.2020 [13]). Это было сделано для моделирования различных условий получения конструкций (монолитное и заводское ЖБИ).

На рис. 1 и рис. 2 представлены результаты исследований влияния типа добавки на прочность (рис. 1) и показатель усадки тяжелого бетона (рис. 2). Установлено, что повышение прочности наблюдается для бетонов с добавками типа маламин- и нафталинсульфонат (43,5 МПа и 43,2 МПа соответственно).



- 1 - Ц+П+Щ
- 2 - Ц+П+Щ+Д (1 типа)
- 3 - Ц+П+Щ+Д (2 типа)
- 4 - Ц+П+Щ+Д (3 типа)
- 5 - Ц+П+Щ+Д (4 типа)

Рисунок 1 - Зависимости величины прочности бетона от типа добавки-пластификатора



- 1 - Ц+П+Щ
- 2 - Ц+П+Щ+Д (1 типа)
- 3 - Ц+П+Щ+Д (2 типа)
- 4 - Ц+П+Щ+Д (3 типа)
- 5 - Ц+П+Щ+Д (4 типа)

Рисунок 2 - Зависимости величины усадочных деформаций бетона от вида добавки-пластификатора

Усадочные деформации соответствуют выявленным закономерностям. Минимальные значения усадочных деформаций наблюдается у бетонов с добавками типа поликарбоксилатный эфир (0,38 мм/м), максимальные значения – у бетонов с добавками типа меламинасульфонат (0,45 мм/м).

На рис. 3 представлены результаты исследований типа добавки-пластификатора на величину усадочных деформаций тяжелого бетона после ТВО и без ТВО.

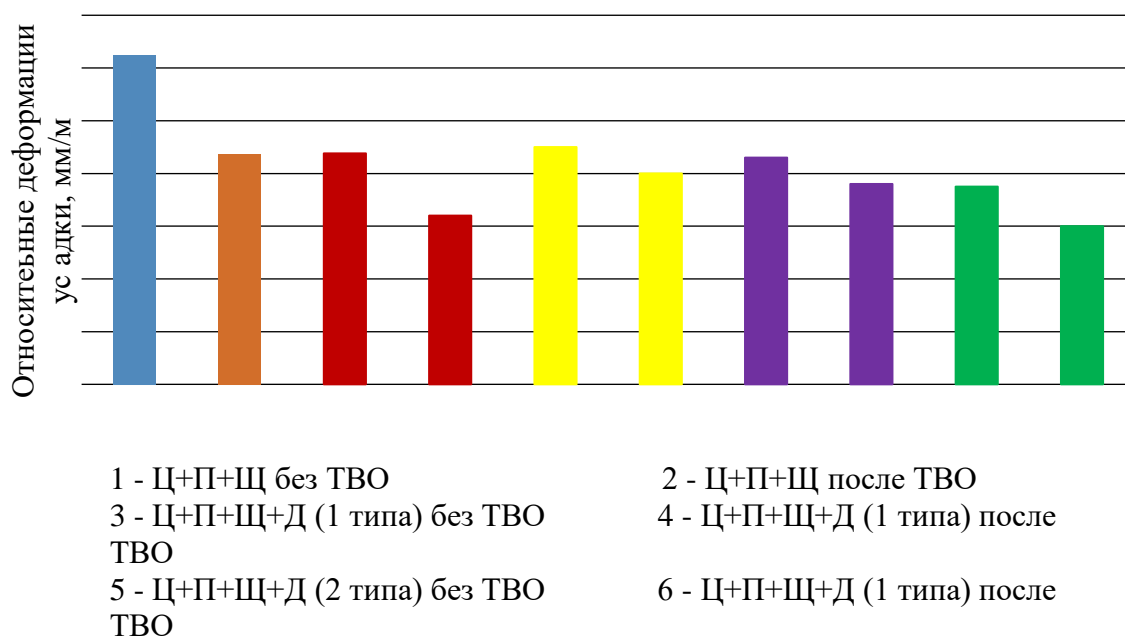


Рисунок 3 - Зависимости величины усадочных деформаций бетона от вида добавки-пластификатора

Анализ результатов исследований деформаций усадки образцов тяжелого бетона после ТВО показал, что так же сохраняется выявленная ранее зависимости - минимальные значения усадки получены для бетонов с добавками типа поликарбоксилатный эфир (0,30 мм/м). Максимальные значения получены для бетонов с добавками типа нафталин- и меламинсульфонат (0,40 мм/м и 0,38 мм/м соответственно).

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что показатель величины влажностной усадки может быть выбран в качестве критерия оптимизации состава бетона по виду применяемой добавки-пластификатора. Установлено, что применение добавки типа поликарбоксилатный эфир значительно снижает величину влажностной усадки тяжелого бетона, как без ТВО, так и с ТВО. Полученные результаты позволяют варьировать условия получения железобетонных конструкций в условиях монолитного и заводского производства.

Список литературы:

1. Козодаев С.П. Химические добавки – ускорители твердения цементных систем: проблемы и ближайшие перспективы применения. Научный вестник ВГАСУ: физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения, вып. № 6, 2013. С. 67-70.

2. Соболев К. Современные достижения нанотехнологии в области цемента и бетона / Цемент и его применение, №3, 2019. С. 8-17.

3. Корчунов И.В., Торшин А.О., Курдюмова С.Е., Дмитриева Е.А., Потапова Е.Н. Влияние эффективных водоредуцирующих добавок на свойства цемента // Сухие строительные смеси. 2017. №2. С. 31-35.

4. Чернышов Е.М. Материаловедение и технология строительных композитов как система научного знания и предмет развития исследований Часть 2. Развитие и эволюция научного знания о конгло-мератных строительных композитах как структурированных системах // Известия вузов. Строи-тельство. 2020. № 1. С. 57-77.

5. Баженов, Ю. М. Конструирование структур современных бетонов: определяющие принципы и технологические платформы / Ю. М. Баженов, Е. М. Чернышов, Д. Н. Коротких // Строительные материалы. – 2014. – № 3. – С. 6-14. – EDN RXEUNX.

6. Белоус Н.Х., Родцевич С.П., Опанасенко О.Н., Крутько Н.П. Влияние модифицирующих добавок на структурные характеристики и свойства портландцементных бетонов // Институт общей и неорганической химии Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь. 2021. №1. С. 94-100.

7. Несветаев Г.В., Виноградова Е.В., Налимова А.В. и др. Эффективность применения суперпластификаторов в бетонах и сухих строительных смесях. // Бетон и железобетон в третьем тысячелетии. Материалы Четвертой международной научной конференции. Ростов-на-Дону:РГСУ.2006. С. 335-341.

8. Гнедько В.А., Иванина К.А., Авдеенко А.Е., Изменение структуры бетона в присутствии добавок пластификаторов // Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия. 2014. Сборник трудов конференции. С. 9-11.

9. Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я., Черных Т.Н., Орлов А.А. Современные суперпластификаторы для бетонов, особенности их применения и эффективность //Строительные материалы. 2016. № 10. С. 21-25.

10. Юхневский П.И. Критериальная оценка добавок-пластификаторов бетонных смесей для прогноза их эффективности. // Известия вузов. Строительство. 2012. № 5. С. 36-43

11. Шмитько Е.И., Макушина Ю.В., Белькова Н.А., Милохин И.В. Влажностная усадка бетона: влияние состава и структуры применяемых пластифицирующих добавок// Вестник инженерной школы дальневосточного федерального университета. 2020. № 1(42). С. 128-135.

12. Макушина Ю.В., К вопросу об идентификациях добавок-пластификаторов для бетонов // Вестник инженерной школы дальневосточного федерального университета. 2022. № 2(51). С. 90-96.

13. СП 131.13330.2020 Строительная климатология. 2020. С.150.

**Ками Килперик, Усачев С.М. ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВОВ
КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ БЕТОНОВ ПО ВИДУ И РАСХОДУ
ДОБАВОК-МОДИФИКАТОРОВ ДЛЯ УСЛОВИЙ РЕСПУБЛИКИ
БУРУНДИ**

Ками Килперик, Усачев Сергей Михайлович

*ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет"
кафедра «Технологии строительных материалов, изделий и конструкций»
394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84*

Аннотация. В статье приведены результаты исследования влияния вида и расхода добавок-пластификаторов на свойства мелкозернистого бетона, эксплуатируемого в условиях республики Бурунди. Особенностью данных исследований является то, что были использованы сырьевые материалы республики Бурунди и добавки-пластификаторы различных производителей и различного вещественного состава. Установлено, что оптимальные дозировки добавок находятся в пределах 0,9...1,2 % (исходя из величины водоредуцирующего эффекта). При этом, добавки на основе поликарбонатных эфиров дают наибольший эффект как на чистом цементном камне, так и на мелкозернистом бетоне.

Ключевые слова: бетон, цемент, добавки-пластификаторы, водоредуцирующий эффект.

Бетон является материалом, обладающим широким спектром свойств и областью функционирования в широком диапазоне агрессивных сред в течение длительного периода эксплуатации. При этом, коррозионная стойкость является одной из важнейших характеристик для качественного бетона. Затвердевшая цементная матрица бетона в очень ограниченной степени растворима в воде, что означает, что некоторые компоненты со временем будут постепенно вымываться с поверхности бетона [1, 2]. Коррозия цементных бетонов и конструкций из них наносит существенный вред экономике любой страны.

Если рассматривать особенности эксплуатации бетонов в условиях республики Бурунди, то конструкции здесь эксплуатируются в довольно сложных климатических условиях: происходит постоянное изменение уровня воды из-за круглогодичной смены дождливого и сухого сезонов. Так же имеются и температурные колебания (от 16 до 27 °С) при относительной влажности воздуха, близкой к 100% [3, 4]. При этом вода как эксплуатационная среда содержит умеренное количество растворенных солей, водородный показатель рН составляет 8,5–9, щелочность среды – 2,5–2,8, содержание электролитов – 156–158 мг/л. Воды рек Республики Бурунди по отношению к бетону классифицируются как нейтральные и слабощелочные.

Таким образом, для рассматриваемых условий эксплуатации возможно проявление следующих видов коррозии цементного камня: коррозия выщелачивания; углекислотная коррозия с образованием легкорастворимых

соединений; сульфатная или сульфоалюминатная коррозия, с накоплением и кристаллизацией с увеличением объема малорастворимых продуктов [5].

Согласно исследованиям [6-9], повышение долговечности цементных бетонов может быть достигнуто двумя методами: правильным выбором типа цемента и заполнителей и применением химически активных модификаторов, которые взаимодействуют с цементной матрицей, уплотняют ее и уменьшают проводимость материала для агрессивных компонентов внешней среды. К таким модификаторам относятся, в частности, добавки-супер- и гиперпластификаторы, которые позволяют снижать В/Ц-отношение, повышать плотность и прочность бетона, и, как следствие, его коррозионную стойкость. При этом эффективность добавок зависит от их вещественного состава [10].

Согласно предыдущим нашим исследованиям [11, 12] разработаны составы бетонов и проведены комплексные исследования структуры и свойств бетонов в условиях, приближенных к реальным условиям эксплуатации в Бурунди. Настоящие исследования посвящены оптимизации полученных составов по виду и количеству добавок.

В качестве сырьевых материалов были использованы: цемент ЦЕМ II/ В-П 32,5 М компании «BUCECO» (Республика Бурунди), песок и щебень из реки Музази Республики Бурунди.

В качестве добавок были использованы: «ПФМ-НЛК» (группа нафталинсульфонатов), «Зикамент ФФ» (группа меламинсульфонатов), «GLENIUM 323 MIX» и «ГПМ-У» (группа поликарбоксилатных эфиров).

Исследования проводились на мелкозернистом бетоне состава Ц:П=1:3, подвижностью по осадке конуса ОК = 2—4 см. Эффективность действия добавок определялась по величине водоредуцирующего эффекта в соответствии с ГОСТ 30459-2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Определение и оценка эффективности». Средняя плотность определялась в соответствии с требованиями ГОСТ 12730.1-2020 «Бетоны. Методы определения плотности», предел прочности при сжатии – в соответствии с ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

На рис. 1 представлены результаты определения величины водоредуцирующего эффекта выбранных добавок в зависимости от их дозировки. По результатам исследований установлено, что наибольшим водоредуцирующим эффектом обладают добавки «ГПМ-У» и «GLENIUM 323 MIX» на основе поликарбоксилатных эфиров. При этом для добавки «ГПМ-У» оптимальной является дозировка 0,6 % от массы цемента. Повышение дозировки до 0,9 % практически не влияет на величину водоредуцирующего эффекта (он увеличивается с 33,7 % до 35,6 %, то есть всего на 5 %). Это можно объяснить повышением концентрации молекул добавки в растворе и достижением точки ККМ. Для добавки «GLENIUM 323 MIX» эта разница составляет более 15 % (с 31,2 % до 36,7 %). То есть применение добавки «ГПМ-У» более экономически выгодно. Что касается остальных добавок, для них так же характерен оптимум при дозировке 0,9 % при относительно низком водоредуцирующем эффекте (до 22 %).

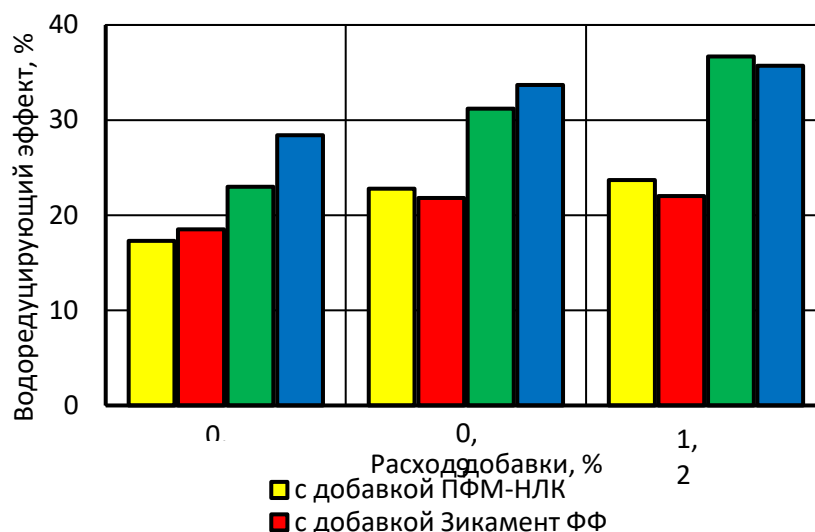


Рисунок 1 – Зависимость величины водоредуцирующего эффекта от вида и расхода добавки-пластификатора

На рис. 2 представлены результаты исследования свойств цементного камня, как основного матричного материала, при дозировке добавок 0,9 % от массы цемента.

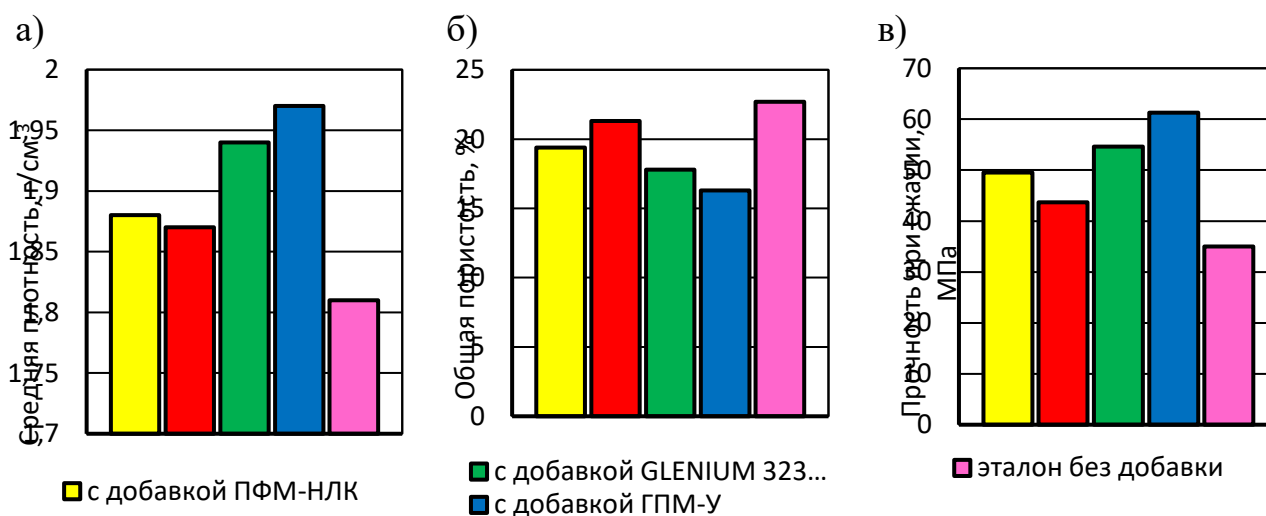


Рисунок 2 – Зависимость свойств и структуры цементного камня от вида добавки-пластификатора:

а) средней плотности; б) общей пористости; в) прочности при сжатии

По полученным данным видно, что введение добавок-пластификаторов повышает плотность (с 1,81 до 1,97 г/см³) и, соответственно, снижает общую пористость цементного камня (с 22 до 16,3 %). При этом максимальные значения плотности получены для системы с добавками на основе поликарбоксилатов («ГПМ-У» и «GLENIUM 323 MIX»), что находится в корреляции с величиной водоредуцирующего эффекта. Все это дает предпосылки к прогнозированию повышения прочности и коррозионной стойкости цементного камня. Так, повышение прочности цементного камня для этих систем составляет 50...75 %

(с 35,2 МПа для эталона до 54...61 МПа для систем с добавками). Для двух других добавок так же наблюдается улучшение качества цементного камня: так плотность повышается с 1,81 до 1,87 г/см³ при снижении пористости до 19...21 %. При этом прочность цементного камня с добавкой «ПФМ-НЛК» составила 49,5 МПа, что выше эталона примерно на 40 %, для системы с добавкой «Зикамент ФФ» оно составляет около 22 %.

Далее проводились исследования влияния вида добавок на свойства мелкозернистого бетона при оптимальной дозировке для равноподвижных смесей.

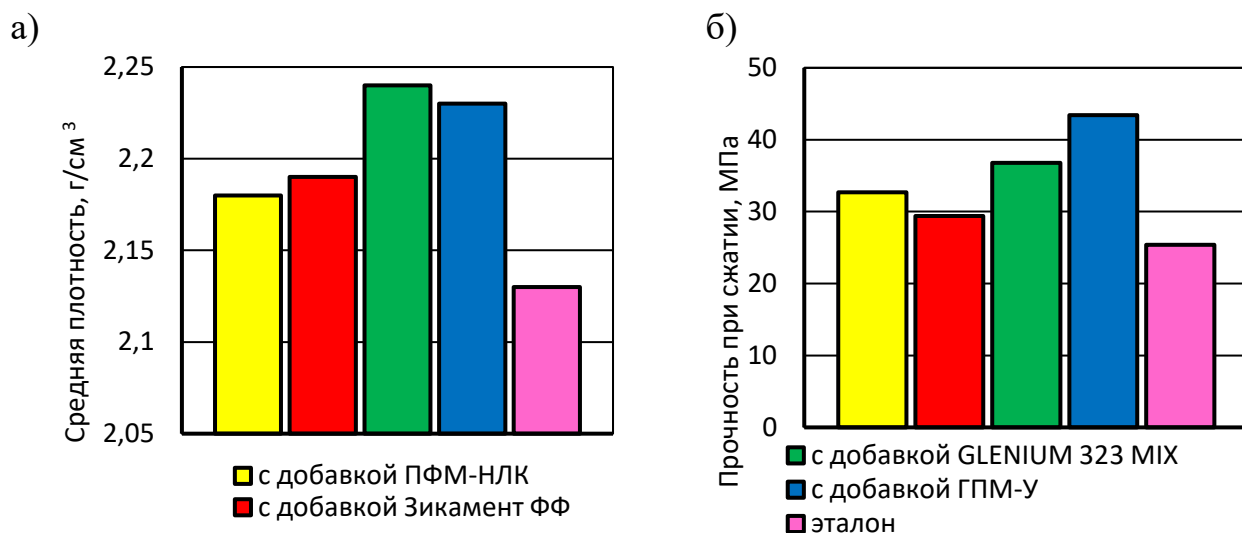


Рисунок 3 – Зависимость свойств мелкозернистого бетона от вида добавки-пластификатора

Для мелкозернистого бетона так же прослеживаются полученные для цементного камня зависимости: наибольшие значения плотности и прочности получены для бетона с добавкой «ГПМ-У» (прочность при сжатии составила 43,4 МПа по сравнению с 25,4 МПа для эталона) при относительно значительном повышении плотности (с 2,13 до 2,23 г/см³). При этом, согласно исследованиям [13] для цементных систем с добавками такого типа (на основе поликарбоксилатных эфиров) характерны и пониженные значения влажностной усадки. Для добавок на основе меламинасульфанатов и нафталинсульфанатов повышение прочности составляет 15...30 % при небольшом увеличении значения плотности.

В целом введение добавок-пластификаторов повышает качественные характеристики материала, что является предпосылкой получения бетонов с заданными показателями коррозионной стойкости. При этом, в зависимости от параметров эксплуатационной среды и свойств конструкции, можно рекомендовать следующее применение добавок-пластификаторов:

1. Добавки на основе поликарбоксилатных эфиров – для бетонов и конструкций с повышенными качественными характеристиками (прочностью, трещиностойкостью, надежностью и т.п.), эксплуатируемых в достаточно длительных условиях повышенной или пониженной влажности или в условиях

попеременного насыщения водой и высушивания (градиент влажности от 0 до 100 %).

2. Добавки на основе меламинасульфанатов и нафталинсульфанатов – для рядовых бетонов, которые применяются сухих условиях или при переменном увлажнении и высушивании (градиент влажности от 50 до 100 %).

Дальнейшие наши исследования будут касаться оценке стойкости бетона с выбранными добавками в различных условиях эксплуатации.

Список литературы

1. Рахимбаев, Ш. М. Обоснование методов испытаний коррозионной стойкости материалов гидратационного твердения / Ш. М. Рахимбаев, Н. М. Толыпина, Е. Н. Хахалева // Природоподобные технологии строительных композитов для защиты среды обитания человека : II Международный онлайн-конгресс, посвященный 30-летию кафедры Строительного материаловедения, изделий и конструкций, Белгород, 04–05 декабря 2019 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2019. – С. 735-739. – EDN OAUUVD.

2. Трофимов, Б.Я. Влияние на долговечность бетона микроструктуры гидратных фаз цементного камня / Б.Я. Трофимов, К.В. Шулдяков, А.М. Махмудов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2021. – № 3. – С. 8-18.

3. Mikerego E., Niyonzima N., Ntirampeba J.C. Impact of impurities of local construction materials on the bearing capacity of the concrete used in structures in Burundi. Vestnik MGSU. Monthly Journal on Construction and Architecture. 2021;(16/10):1357-1362. DOI 10.22227/1997-0935.2021.-10.1357-1362

4. Бурунди // Труды Института Африки, 2019. Т. 23. URL: <https://bi.chm-cbd.net/sites/bi/files/2019-10/-profil-chque%20nat-actualise.pdf> (дата обращения: 16.01.2025)

5. Например, в рассматриваемых условиях можно выделить три основных вида коррозии цементного камня: коррозия выщелачивания портландита – Ca(OH₂); углекислотная коррозия с образованием легкорастворимых соединений; сульфатная или сульфоалюминатная коррозия, результатом которой является накопление и кристаллизация с увеличением объема малорастворимых продуктов [6, 9, 19].

6. Оптимизация процесса выбора типа цемента для изделий, эксплуатирующихся в агрессивных средах / Ш. М. Рахимбаев, Н. М. Толыпина, Е. Н. Хахалева, Д. А. Толыпин // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2018. – № 3. – С. 18-23. – DOI 10.12737/article_5abfc9b8581017.80464211. – EDN YVAQFS.

7. Коррозионно-стойкие мелкозернистые шлакобетоны/ Ю.И. Гончаров., Ш.М. Рахимбаев, М.Ю Малькова и др.//Строительные материалы.– 2004– №6.–С. 38–39.

8. Рахимбаев, Ш. М. Об эффективности действия суперпластификаторов в мелкозернистых бетонах в зависимости от вида мелкого заполнителя / Ш. М. Рахимбаев, Н. М. Толыпина, Е. Н. Карпачева // Вестник Белгородского

государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2010. – № 3. – С. 60-63. – EDN NCZRSJ.

9. Тараканов, О. В. Формирование микроструктуры цементных материалов с минеральными и комплексными добавками/О.В. Тараканов, Р.С.Логинов// Технология бетонов.–2009.–№7–8–С.58–60.

10. Усачев С.М., Кукина О.Б., Ками К. Исследование свойств сырьевых материалов для бетонов в республике Бурунди // Научный журнал строительства и архитектуры. 2023. № 1 (69). С. 36-46.

11. Макушина, Ю. В. К вопросу об идентификации добавок-пластификаторов для бетонов / Ю. В. Макушина // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. – 2022. – № 2(51). – С. 90-96. – DOI 10.24866/2227-6858/2022-2/90-96. – EDN SXZNGF.

12. Усачев, С. М. Изменение структуры и свойств бетонов в различных условиях эксплуатации (на примере Республики Бурунди) / С. М. Усачев, К. Ками // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2024. – № 2(74). – С. 58-67. – DOI 10.36622/2541-7592.2024.74.2.005. – EDN DSTCCQ.

13. Шमितько Е.И., Макушина Ю.В., Белькова Н.А., Милохин И.В. Влажностная усадка бетона: влияние состава и структуры применяемых пластифицирующих добавок// Вестник инженерной школы дальневосточного федерального университета. 2020. № 1(42). С. 128-135.

Секция 6 - Ремонтные работы в строительстве

Новиков Д.Г., Гальцев А.А., Строкин К.Б., Румянцева В.Е., Коновалова В.С. КОМБИНИРОВАННАЯ ДОБАВКА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ К БИОКОРРОЗИИ

*Новиков Д.Г.¹, Гальцев А.А.¹, Строкин К.Б.¹, Румянцева В.Е.^{2,3},
Коновалова В.С.²*

¹*Сахалинский государственный университет, кафедра строительства, г. Южно-Сахалинск, Коммунистический пр-т, д. 33, 693000*

²*Ивановский государственный политехнический университет, кафедра естественных наук и техносферной безопасности, г. Иваново, Шереметевский пр-т, д. 21, 153000*

³*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 замедления коррозионных процессов в цементном камне при микробиологическом воздействии в цементную смесь предложено вводить по 0,5 масс % стеарата кальция, наноразмерного оксида цинка и нитрата калия. Целью исследования было установить степень биоповреждения цементного

камня бетона посредством определения количества гидроксида кальция, прореагировавшего с микробиологической средой.

Ключевые слова: биокоррозия бетона, биодеструкция бетона, ингибиторы коррозии, гидрофобный бетон, биостойкий бетон, гидрофобная добавка.

Значительная часть бетонных, каменных и кирпичных зданий и сооружений со временем подвергается биологическому воздействию и повреждению, что приводит к ускоренной потере долговечных и эстетических свойств. С целью повышения биостойкости бетонов в их состав вводятся различные добавки, обладающие биоцидным или фунгицидным действием [1-4]. Но зачастую одного биоцидного действия недостаточно, поскольку добавки могут разрушаться другими агрессивными средами или вымываться водой [5, 6]. Поэтому целесообразно разрабатывать комплексные добавки в бетон, не только повышающие его коррозионную стойкость, но и улучшающие эксплуатационные характеристики, в том числе прочность, плотность, водонепроницаемость.

Ранее было установлено, что введение в цементную смесь при изготовлении бетона стеарата кальция, нитрата калия и наночастиц оксида цинка в количестве 0,5 % от массы цемента препятствует биообрастанию [7] и повышает прочностные характеристики [8].

Для установления степени биодеструкции цементного камня бетона с комбинированной добавкой проведены испытания в модельной среде, состав которой установлен при анализе соскобов и поровой жидкости бетонной стены, подверженной биообрастанию (рис. 1). Основным эффектом оказывают органические кислоты, выделяемые микроорганизмами в биопленке, в основном грибами.

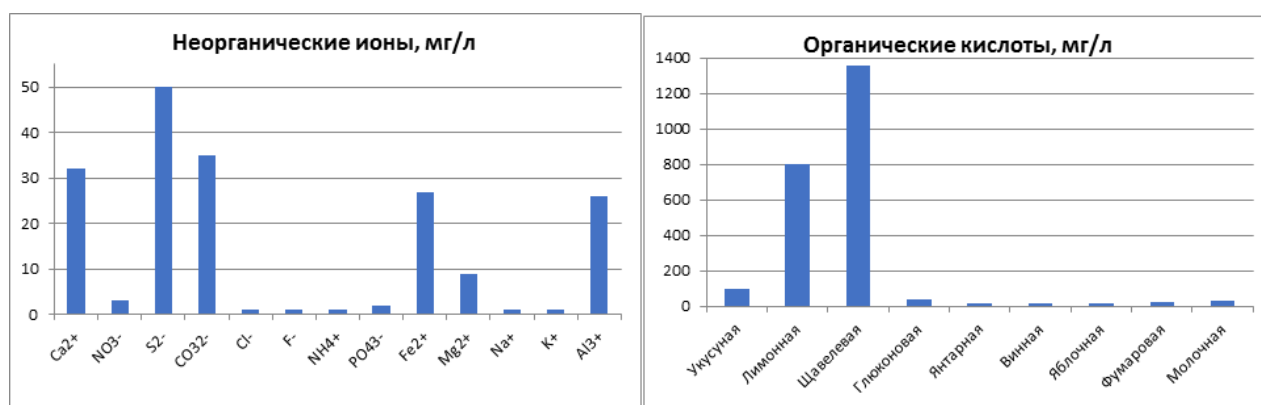


Рисунок 1 - Состав модельной среды, имитирующей продукты жизнедеятельности микроорганизмов в поровой жидкости бетона

Дериватографическим анализом установлено содержание гидроксида кальция по толщине цементного камня, подверженного воздействию модельной среды, выделяемой микроорганизмами на поверхности бетона (рис. 2). Полученные данные позволяют оценить интенсивность массопереноса при биодеструкции цементного камня бетона. Комбинированная добавка

препятствует протеканию массообменных процессов в основном за счет гидрофобного действия стеарата кальция, который перекрывает поры, не давая проникнуть жидкости внутрь структуры, как видно из рис. 2-а.

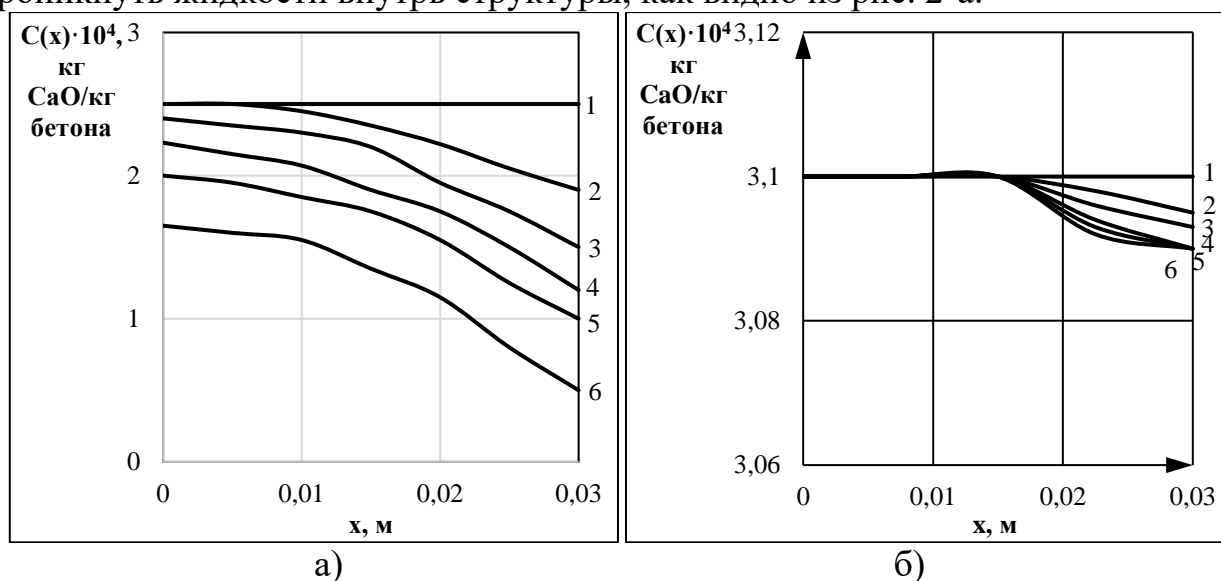


Рисунок 2 - Профили концентраций $\text{Ca}(\text{OH})_2$ по толщине образца цементного камня а) без добавок; б) с комплексной добавкой, при воздействии модельной микробиологической среды в разные промежутки времени: 1 – 0 сут.; 2 – 14 сут.; 3 – 28 сут.; 4 – 42 сут.; 5 – 56 сут.; 6 – 70 сут.

По ГОСТ Р 52804-2007 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Методы испытаний» рассчитаны количество цементного камня (в пересчете на CaO), вошедшего в химическое взаимодействие с раствором кислоты (1) и глубина разрушения бетона (2):

$$P_{\text{CaO}} = \frac{q_1 \cdot M \cdot f_{\text{ЭКВ}(\text{CaO})} \cdot 0,05608 \cdot Q}{S \cdot q_2}, \text{ г/см}^2, \quad (1)$$

$$\Gamma_p = \frac{P_{\text{CaO}}}{\text{Ц} \cdot \beta}, \text{ см}, \quad (2)$$

где: q_1 – объем стандартного раствора с известной концентрацией химически активного вещества, пошедшего на титрование раствора после взаимодействия с бетоном, мл; M – концентрация раствора, моль/л; $f_{\text{ЭКВ}(\text{CaO})} = 1/2$; 0,05608 – молярная масса CaO , соответствующая 1 мл раствора кислоты концентрации 1 моль/л; Q – объем раствора кислоты, участвовавшей во взаимодействии с бетоном в каждый период времени между отдельными испытаниями, мл; S – площадь рабочей поверхности образцов, взаимодействовавшей с кислотой, см^2 ; q_2 – объем раствора, отобранного для титрования, мл; Ц – количество цемента в 1 см^3 исследуемого образца, рассчитывают по фактическому составу бетона, г/см^3 ; β – содержание CaO в цементе, определяемое по результатам химического анализа цемента до испытаний, %.

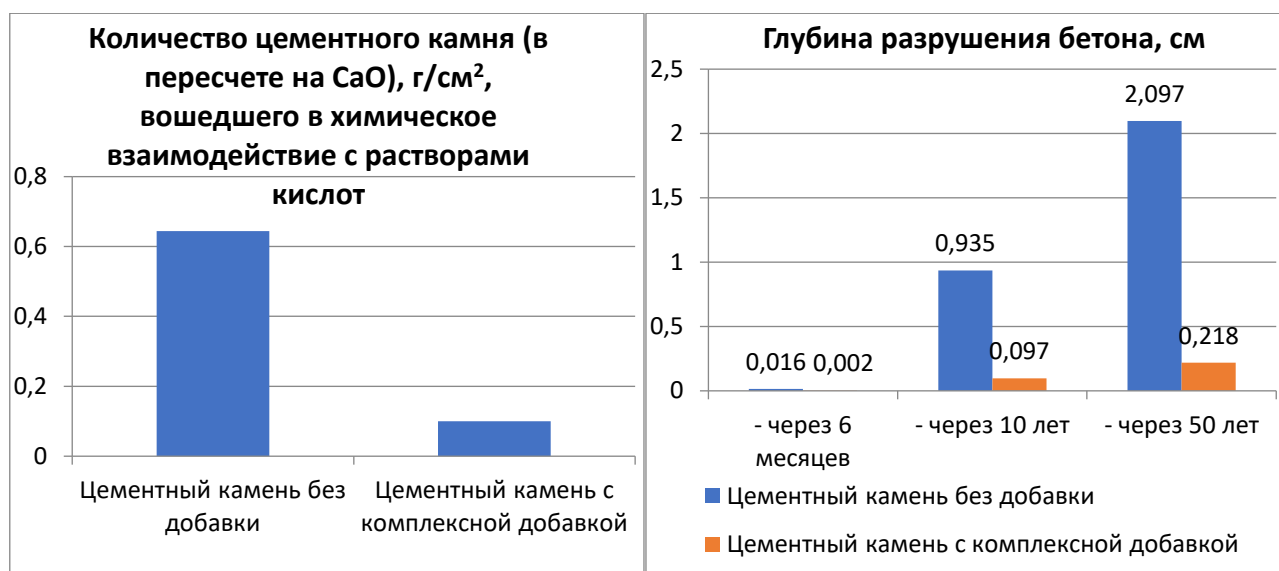


Рисунок 3. Степень биоповреждения цементного камня

На рис. 3 представлены характеристики степени повреждения цементного камня в результате действия органических кислот, выделяемых в результате жизнедеятельности микроорганизмов. При расчете учитывались щавелевая, лимонная и уксусная кислоты, поскольку их количество является наибольшим в составе продуктов жизнедеятельности микроорганизмов, как показано на рис. 1.

Заключение. Комплексная добавка в 9 раз замедляет разрушение бетона под воздействием микроорганизмов, что делает ее перспективным способом предотвращения деструкции бетонных изделий и сооружений.

Список литературы

1. Исследование биостойкости строительных материалов, модифицированных биоцидными добавками / В.Т. Ерофеев, С.Н. Богатова, А.Д. Богатов // Промышленное и гражданское строительство. – 2018. – № 8. – С. 48-53.
2. Биологическая стойкость цементных композитов / В. И. Травуш, Н. И. Карпенко, В. Т. Ерофеев, А. И. Родин, В. Ф. Смирнов, Н. Г. Родина // Гидротехническое строительство. – 2017. – № 8. – С. 13-19.
3. Development of efficient compositions of hydrophobic materials resistant to chemical and biological environments / S.D.S. Al-Dulaimi, S.I. Bazhenova, I.V. Stepina, I.V. Erofeeva, V. Afonin // Journal of Infrastructure Preservation and Resilience. – 2024. – Vol. 5. – Article no. 18.
4. Composition and properties of cement system with glutaraldehyde / V.V. Stroikova, G. Le Saout, V.V. Nelubova, Y.N. Ogurtsova // Magazine of Civil Engineering. – 2021. – No. 103(3). – Article No. 10307.
5. Biocide emissions from building materials during wet weather: identification of substances, mechanism of release and transfer to the aquatic environment / C. Paijens, A. Bressy, B. Frère, R. Moillon // Environmental Science and Pollution Research. – 2020. – Vol. 27. – Pp. 3768-3791.

6. Leaching of Biocides Used in Façade Coatings under Laboratory Test Conditions / U. Schoknecht, J. Gruycheva, H. Mathies, H. Bergmann, M. Burkhardt // Environmental Science & Technology. – 2009. – Vol. 43. – Issue 24. – Pp. 9321-9328.

7. Комбинированная добавка для повышения стойкости цементного камня к биокоррозии / В.Е. Румянцева, В.С. Коновалова, Е.С. Промзелева // Инженерное дело на Дальнем Востоке России: Материалы IX Всероссийской научно-практической конференции. – Владивосток: ВУЦ ДВФУ, 2024. – С. 225-227.

8. Прочность и трещиностойкость бетона с добавкой на основе стеарата кальция / В.Е. Румянцева, В.С. Коновалова, А.А. Гальцев, К.Б. Строкин, Б.Е. Нармания // Современные проблемы гражданской защиты. – 2024. – № 3 (52). – С. 71-82.

Одуденко Е.В.РЕМОНТНЫЕ РАБОТЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИБРОПРЕССОВАННЫХ СТЕНОВЫХ БЕТОННЫХ БЛОКОВ

Одуденко Егор Владимирович

Сибирский государственный университет путей сообщения, ул. Дуси Ковальчук, 191, г. Новосибирск, 630049, Россия

Аннотация. Рваный камень изготавливают, используя цемент высшего качества, песчаные составляющие, модифицирующие добавки, красители и различные наполнители, которые позволяют воссоздать внешний вид натурального камня. Для его производства применяется технология вибропрессования, аналогичная той, что используется при создании шлакоблоков. Это придает материалу отличные характеристики: прочность, долгий срок службы и устойчивость к колебаниям температуры.

Ключевые слова: Бетон, рваный камень.

В 1890 году в США Гармон С. Палмер разработал первый полый бетонный блок. После долгих испытаний, в 1900 году он запатентовал свое изобретение. Размеры блока составляли 8×10×30 дюймов (20,3×24,4×76,2 см), однако его вес был настолько велик, что при установке требовался небольшой кран. К 1905 году в США насчитывалось около 1500 компаний, производивших такие блоки. Производство в то время было ручным, и рабочие могли изготавливать лишь около 10 блоков в час. Сегодня этот процесс полностью автоматизирован, что позволяет выпускать до 2000 блоков в час.

Бетон, который применяется для изготовления блоков, представляет собой смесь портландцемента, воды и гравия. В результате получается серый блок с плотной текстурой поверхности и высокой прочностью на сжатие. Вес такого блока обычно составляет от 18 до 21 кг. В бетонной смеси для блоков доля песка выше, а воды и гравия — ниже, чем в составе бетона, используемого в других строительных целях.

Если вместо традиционных компонентов, таких как песок и гравий, добавить гранулированный уголь или вулканический шлак, получается другой материал — шлакоблок. Его отличает темно-серый цвет, грубая текстура, высокая прочность, хорошие звукоизоляционные свойства и улучшенные теплоизоляционные характеристики. Стандартный вес шлакоблока составляет от 11,8 до 15 кг.

В состав бетонной смеси для блоков иногда добавляют химические вещества, чтобы регулировать время затвердевания, увеличить прочность на сжатие или улучшить эксплуатационные свойства. Также в неё могут вводиться пигменты для получения равномерного окрашивания или же наноситься глазурь на поверхность, что добавляет декоративности и защищает от воздействия химических веществ. Для придания стеновым блокам декоративного вида иногда изготавливают изделия с фактурными поверхностями, напоминающими каменную текстуру. Такие блоки в России называют «рваным камнем».

«Рванный камень» производится из цемента высокого качества, песка, специальных модификаторов, красителей и других добавок, имитирующих натуральный камень. Его изготовление осуществляется методом вибропрессования, как и у шлакоблоков, что придает материалу надежность, долговечность и устойчивость к перепадам температур. Главной особенностью бетонных блоков является их форма параллелепипеда. Стандартный размер блока – 390×190×188 мм, а марка прочности одного из изделий, выпускаемых в Новосибирске, составляет М105. Эта характеристика означает, что один квадратный сантиметр материала выдерживает нагрузку в 105 кг.

Преимущества использования вибропрессованных бетонных блоков в ремонте:

- **Высокая прочность:** Вибропрессованные бетонные блоки обладают высокой прочностью на сжатие и изгиб, что делает их идеальным материалом для ремонта поврежденных конструкций.
- **Долговечность:** Вибропрессованные бетонные блоки устойчивы к воздействию погодных условий, химикатов и абразивного износа, что обеспечивает их длительный срок службы.
- **Тепло- и звукоизоляция:** Вибропрессованные бетонные блоки имеют хорошие тепло- и звукоизоляционные свойства, что делает их пригодными для использования в жилых и коммерческих зданиях.
- **Простота укладки:** Укладка вибропрессованных бетонных блоков относительно проста и требует минимальных навыков.
- **Доступность:** Вибропрессованные бетонные блоки широко доступны и поставляются различными производителями.

Применение вибропрессованных бетонных блоков в ремонте:

- **Ремонт стен:** Вибропрессованные бетонные блоки могут быть использованы для ремонта трещин, сколов и других повреждений стен. Для этого блоки укладывают на поврежденные участки, склеивая их специальным раствором.
- **Ремонт перегородок:** Вибропрессованные бетонные блоки хорошо

подходят для ремонта поврежденных перегородок. Они обеспечивают прочную и звукоизоляционную стену, разделяющую помещения.

- Укрепление фундаментов: Вибропрессованные бетонные блоки можно использовать для укрепления поврежденных фундаментов. Они укладываются вокруг здания, создавая прочную и водонепроницаемую основу.

- Ремонт подвалов: Вибропрессованные бетонные блоки могут быть использованы для ремонта поврежденных подвалов. Они помогают предотвратить проникновение влаги и создать сухую и комфортную среду.

- Реставрация исторических зданий: Вибропрессованные бетонные блоки часто используются в реставрационных работах исторических зданий. Они позволяют сохранить оригинальный облик здания, а также обеспечить его прочность и долговечность.

Процесс ремонта с использованием вибропрессованных бетонных блоков:

- Подготовка поверхности: Поверхность, на которую будут уложены вибропрессованные бетонные блоки, очищается от грязи и мусора. При необходимости производится выравнивание.

- Укладка блоков: Блоки укладываются на подготовленную поверхность в соответствии с выбранным рисунком и раствором.

- перевязка блоков: Блоки укладываются со смещением, чтобы обеспечить прочную перевязку.

- Усиление кладки: В зависимости от требований конструкции может использоваться армирование или металлические связи для усиления кладки.

- Затирка швов: Швы между блоками заполняются раствором.

- Очистка: После отверждения раствора поверхность очищается от излишков раствора и грязи.

Особенность: конструкция блоков содержит специально предусмотренные пустоты, благодаря которым снижается общий вес изделия и улучшаются теплоизоляционные свойства.

Итог: бетонные стеновые блоки — это проверенный временем строительный материал, который заслуженно пользуется популярностью благодаря своей надежности и функциональности.

Список литературы

1. Чехлатонов В.П. «Современные строительные материалы и технологии». – Учебное пособие, Изд-во "Архитектура-С", Москва, 2018.

2. ГОСТ 6133-99 — «Камни бетонные стеновые. Технические условия».

3. Энциклопедия строительных материалов BuildEx: Особенности и производство рваного камня. www.builddex.ru (<http://www.builddex.ru/>)

4. Научные статьи по теме вибропрессования строительных материалов: Иванов А.А., Беляев И.И. — "Технология производства декоративных блоков" в журнале "Современные строительные технологии", 2019.

Морозова Ю.А., Окольников Г.Э. ПРИМЕНЕНИЕ КАУТОНОВ В КАЧЕСТВЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Ю.А. Морозова¹, Г.Э. Окольников^{1,2}

¹*Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6, 117198*

²*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Российская Федерация, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, 129337*

Аннотация. В работе проанализированы основные функции использования каутонов – типа бетона, в котором в качестве добавок используются олигодienes (диеновые углеводороды различной микроструктуры), входящие в класс жидких каучуков. Целью исследования является изучение на практическом примере компонентного состава каучукового бетона различных марок с целью поиска и обоснования наиболее эффективного состава каучуковых композитов. Решая задачи исследования установлено, что средняя прочность на сжатие образцов на основе жидкого каучука превосходит прочность наиболее применяемого традиционного бетона в строительстве, что дает возможность сделать вывод о том, что применение каутонов является целесообразным точки зрения обеспечения долговечности и надежности конструкций. Благодаря своей пористости каучуковый бетон имеет хорошую теплоизоляцию, что позволяет снизить затраты на отопление здания. Кроме того, пористый каучуковый бетон обладает хорошей звукоизоляцией, что помогает уменьшить шум и создать комфортное проживание или работу в здании. Определены разновидности каутонов. Ввиду чего сделан вывод о том, что использование фиброкаутонов и армокаутонов при строительстве несущих элементов инженерных сооружений увеличивают не только прочность и долговечность конструкций, но и создают большую устойчивость к разрушениям от влияния агрессивных сред.

Ключевые слова: каутон, каучуковые композиты, жидкий каучук, фиброкаутон, армокаутон

1. Введение

Бетон — один из наиболее широко используемых материалов в строительстве, но он плохо выдерживает растягивающие нагрузки. Композитные материалы на основе цемента растрескиваются при воздействии растягивающей нагрузки, и деформация, соответствующая нагрузке, вызывающей растрескивание, также очень мала по сравнению с пластичным материалом [1]. Несмотря на широкое применение бетона, его недостатками являются низкая прочность на разрыв, низкая гибкость и хрупкость. Для устранения упомянутых

¹ Corresponding author: juliaandreeva99@mail.ru

недостатков предложено множество решений. Вопрос сохранности несущих конструкций является актуальным в современном мире.

Зачастую инженерные сооружения, такие как мосты, тоннели, гидро- и электростанции, заводские сооружения могут располагаться на территориях, которые имеют неблагоприятные климатические условия окружающей среды. С целью продлить эксплуатационный срок несущих конструкций сооружений и защитить от воздействий агрессивных внешних факторов окружающей среды инженерные сооружения изготавливают из специальных материалов, которые имеют определенный химический состав, а также механические характеристики, позволяющие снизить влияния сильных деформаций или вибраций ввиду механических источников разрушения сооружений в процессе эксплуатации, а также способные увеличивать долговечность и несущую способность конструкции.

Материалы, из которых изготавливают конструкции, должны иметь хорошие теплоизоляционные свойства при условии больших площадей сооружения, например, крупные заводы, с целью экономической выгоды, так как это поможет снизить расходы на отопление и кондиционирование внутренних помещений.

На конструкции инженерных сооружений могут воздействовать такие факторы как:

- пониженные температуры: особенно это актуально для городов, где среднегодовая температура ниже нуля, и также длительные промежутки холодов могут привести к образованию трещин и разрушению структуры материалов из которых изготовлены конструкции. Большинство исследований показали, что цикл замораживания-оттаивания соли увеличивает пористость и средний размер пор в бетоне и снижает прочность сцепления между заполнителями в цементной матрице [2];

- высокая влажность: при постоянном влиянии влажности на строительные конструкции изменяется теплопроводность материала, снижаются показатели теплоизоляционных свойств материалов. Влага способствует возникновению ржавчины, плесени и коррозии арматуры и других металлических элементов, что ускоряет разрушение материалов;

- эрозия почвы: изменения в почвенном покрове приводят к ухудшению прочности грунтов, ослаблению земельных оснований и проникновению воды в пористые материалы, что в свою очередь влияет на долговечность и структурную целостность зданий.

Ремонт сооружений в районах со сложными климатическими условиями может быть трудновыполним, поэтому применение обычного железобетона для строительства является нецелесообразным.

При выполнении анализа работ различных отечественных и зарубежных авторов по темам, посвященным изучению химически стойких бетонов, которые имеют высокую прочность и стойкость к механическим длительным нагрузкам, устойчивость к воздействию химических веществ, положительные деформационно-прочностные характеристики, хорошие электроизоляционные и демпфирующие свойства важно отметить полимербетоны, в которых в качестве

вяжущих используются синтетические смолы, такие как карбамидные, эпоксидные, полиэфирные и другие. К малоисследованным материалам, относящихся к классу новейших видов композиционных материалов, относятся каучуковые бетоны получившие название – каутоны. В данном типе бетона в качестве добавок используются олигодиены (диеновые углеводороды различной микроструктуры), принадлежащие к классу жидких каучуков. Жидкий каучук высоко ценится в различных отраслях промышленности благодаря своей химической и механической стойкости и стабильности в экстремальных условиях.

Жидкие каучуки в составе бетона обычно обладают более низким модулем упругости [3], прочностью на разрыв и технологичностью [4], более высокой пластичностью и более высокой способностью поглощать энергию. Существенное различие между минеральными заполнителями и жидкими каучуками заключается в том, что отдельные частицы каучука гораздо более деформируемы, чем частицы песка, гравия или камня. Ещё одно существенное различие заключается в том, что удельный жидкого каучука намного ниже и следовательно, заполнители из шин можно считать лёгкими заполнителями [5].

Границы введения жидкого каучука в состав варьируются в пределах 6-14% по массе. В связи с увеличением выпуска на отечественных и зарубежных предприятиях [6] данное сырьё можно отнести к бездефицитным в отличие от пролимербетонов в состав которых входят другие смолы.

Целью работы в рамках исследования является определение преимуществ использования каутонов в качестве энергоэффективного материала для строительства инженерных сооружений, разновидностей каучукового бетона, а также изучение компонентного состава каучукового бетона различных марок на предмет определения способности выдерживать расчетные нагрузки.

Достижение поставленной цели зависит от использования концепции системно-структурного подхода к управлению качеством материала, которая предполагает переход от раздробленной работы к комплексному подходу. Это означает, что структура материала, технология изделий и конструкции рассматриваются как взаимосвязанные системы.

2. Материалы и методы

Основу данной публикации составляют материалы существующих разработок современных авторов, основанных на изучении и обобщении данных опубликованных ранее работ зарубежных и отечественных авторов по изучению физико-механических свойств и эксплуатационных характеристик каучуковых бетонов.

Как правило, в разных исследованиях для сравнения использовалась обычная бетонная смесь, а различные смеси каутона получались путём добавления разного объема жидкого каучука вместо минеральных заполнителей в исходную смесь, после чего механические свойства каутонов сравнивались с исходным бетоном.

Исследования проводились на основе сравнительного анализа механических свойств, а также химических характеристик данного материала в

сравнении с традиционным бетоном для изготовления несущих конструкций сооружений при различных условиях эксплуатации. Рассмотрен на практическом примере компонентный состав каучукового бетона различных марок с целью определения ключевых механических свойств материала. В статье представлены основные разновидности каутона и сделан вывод о применимости данного материала при строительстве инженерных сооружений.

3. Результаты

Для проведения экспериментальных исследований рассмотрен на практическом примере компонентный состав каутона, где основным связующим является жидкий каучук, составляющий около 9% от общей массы каутона, разных марок: СКДН-Н, ПБН, Polyoil 110 и Ricon 130.

3.1. Компонентный состав каутона

Стоит отметить, что в состав каутонов входят отходы промышленного производства: зола-унос, в качестве мелкодисперсного наполнителя и волокна металлокорда, в связи с чем, можно сделать вывод о том, что применение каучукового бетона так же помогает решить и экологическую проблему, актуальную в наше время [7-9]. Каучуковый бетон демонстрирует универсальную химическую стойкость, что подтверждается коэффициентами: в воде через 10 лет он составляет 0,99, а в 10%-ном растворе едкого натрия — 0,95. Это свойство позволяет увеличить трещиностойкость до восьми раз по сравнению с традиционными железобетонными элементами. При наличии дисперсного армирования, использующего фибру из отходов металлокорда, данный показатель может возрасти до двенадцати раз.

3.2. Механические свойства каучукового бетона

При описании работы бетона важным механическим свойством является прочность на сжатие. Самую высокую способность выдерживать расчетные нагрузки показали образцы каутона на основе жидкого каучука марок ПБН и Ricon 130 (79 МПа и 76 МПа соответственно), меньшие значения прочности ввиду разного молекулярного строения полимерной цепи показали образцы марок СКДН-Н (67 МПа) и Polyoil 110 (65 МПа), в то время как средняя прочность на сжатие бетона наиболее стойкой к воздействию агрессивной среды марки М500 согласно ГОСТ 26633-2015 составляет около 52 МПа.

Средняя прочность на сжатие образцов на основе жидкого каучука превосходит прочность наиболее применяемого традиционного бетона в строительстве, что дает возможность сделать вывод о том, что применение каутонов является целесообразным точки зрения обеспечения долговечности и надежности конструкций [10]. Таким образом, применение каутонов для изготовления несущих конструкций сооружений расположенных в зонах повышенной опасности является целесообразным с точки зрения обеспечения долговечности и надёжности используемых материалов.

Проведен анализ данных о способности материалов выдерживать длительное воздействие агрессивных сред. Для проверки коррозионной

стойкости и определения коэффициента химической устойчивости были использованы различные вещества: вода, растворы серной, соляной, азотной, лимонной, уксусной и молочной кислот, насыщенный раствор хлорида натрия. Коэффициент химической стойкости каучукового бетона в воде составляет 1, а в растворах наиболее распространенных кислот, щелочей или солей он близок к этому значению. Эти показатели указывают на высокую устойчивость материалов к разрушительным процессам при эксплуатации, что открывает широкие перспективы для применения каучукового бетона в строительстве объектов, подверженных воздействию сильных агрессивных сред.

3.3. Энергоэффективность каутона

Пористость каучукового бетона играет важную роль в повышении энергоэффективности в строительстве, так как она влияет на тепло- и звукоизоляционные свойства материала. Основным физико-механическим свойством любого конструкционного материала является пористость. Пористость зачастую выражена в процентах от общего объема материала и влияет на его прочность, устойчивость к механическим нагрузкам, тепло- и звукоизоляционные свойства. Каучуковый бетон обладает высокой пористостью из-за наличия в нем резиновых частиц. Пористость каучукового бетона может изменяться в зависимости от типа и количества добавленного каучука, а также от пропорций и состава остальных компонентов бетона. Значения пористости каутонов на примере марки СКДН-Н (рис. 1).

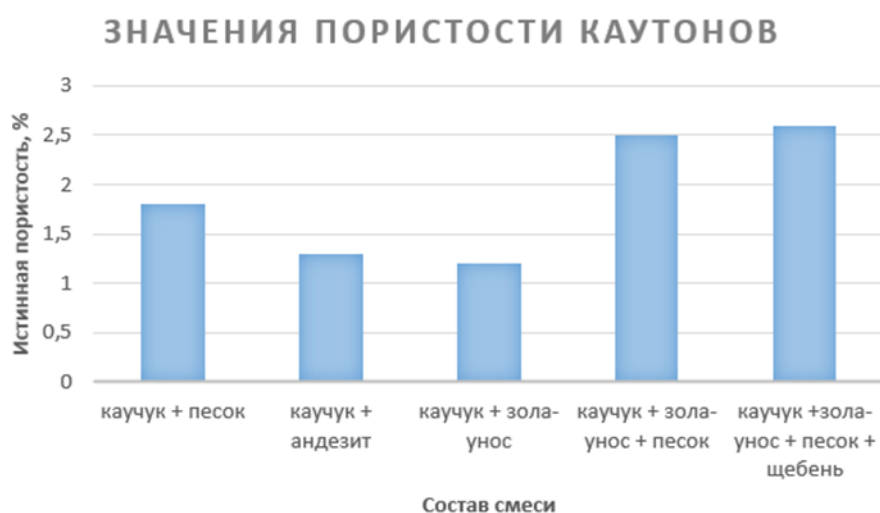


Рисунок 1 - Значения пористости каучуковых бетонов в зависимости от состава.

Благодаря своей пористости каучуковый бетон имеет хорошую теплоизоляцию, что позволяет снизить затраты на отопление здания. Кроме того, пористый каучуковый бетон обладает хорошей звукоизоляцией, что помогает уменьшить шум и создать комфортное проживание или работу в здании.

3.4. Разновидности каутона и их свойства

Свойства каучукового бетона прямо пропорционально зависят от свойств полимерного связующего, входящего в состав этого бетона.

Так одним из разновидностей каутонов является фиброкаутон: в состав бетона добавляют синтетические волокна (фибру), предназначенные для микроармирования, с целью увеличения прочности материала и улучшения механических и функциональных характеристик в сравнении с обычным каутоном. Обычно состав фиброкаутонов включает стекло, кварц и другие высокотемпературные материалы. Значение теплоемкости фиброкаутонов достаточно высокое, а теплопроводность имеет небольшое значение, что делает их хорошими теплоизоляционными материалами. Фибровая арматура, входящая в состав каутона позволяет обеспечить сцепление с материалом, что помогает увеличить трещиностойкость, ударную вязкость, износостойкость конструкции.

Преимуществом использования фиброкаутона при строительстве инженерных сооружений является его звукоизоляционные и теплоизоляционные свойства, так как благодаря своей структуре материал позволяет снизить энергопотребление на отопление и кондиционирование помещений.

Другой разновидностью каутона является армокаутон – композиционный материал в основе которого лежит сцепление арматурных стержней с каутоном. Этот материал в отличие от фиброкаутона, который содержит фибру в качестве армирующих элементов, содержит арматуру. Армированный каучуковый бетон обладает высокой прочностью, устойчивостью к коррозии и агрессивным средам, а также низкой теплопроводностью и хорошими звукоизоляционными свойствами.

Ввиду чего сделан вывод о том, что использование фиброкаутонов и армокаутонов при строительстве несущих элементов инженерных сооружений увеличивают не только прочность и долговечность конструкций, но и создают большую устойчивость к разрушениям от влияния агрессивных сред.

4. Выводы

Каучуковые бетоны обладают повышенной эластичностью и гибкостью, что делает их более устойчивыми к деформациям и растрескиванию. Жидкий каучук в состав бетона способен поглощать и рассеивать внутреннее напряжение бетона, эффективно повышая его трещиностойкость, особенно в агрессивных климатических условиях, значительно снижая вероятность появления трещин. Кроме того, жидкий каучук также снижает чувствительность бетона к температуре, помогая противостоять повреждениям, вызванным тепловым расширением и сжатием, что ещё больше повышает долговечность бетона. Это особенно важно при строительстве мостов, тоннелей, гидро- и электростанций, заводов и других сооружений, которые подвергаются динамическим нагрузкам.

Представленная информация, несомненно, не полностью описывает преимущества использования каучукового бетона, однако, можно сделать вывод о том, что каутонам свойственны благоприятные деформационно-прочностные характеристики, материал обладает повышенной трещиностойкостью, прочностью и хорошей звукоизоляцией и теплоизоляцией. Таким образом, применение каучукового бетона играет важную роль в повышении

энергоэффективности инженерных сооружений, что делает этот материал привлекательным для использования в строительстве.

Также стоит отметить, что каучуковый бетон используется для покрытия дорожных покрытий и взлетно-посадочных полос из-за его высокой износостойчивости и антикоррозийных свойств и также каучук может использоваться для укрепления зданий и сооружений, чтобы повысить их устойчивость к землетрясениям.

Список литературы

[1]. K. Alireza, P. Darabad, Yaser, Investigation of Mechanical Properties of Concrete Containing Liquid Silicone Rubber Under Axial Loads, Shock and Vibration, 2021, Article ID 6637625, 13 pages. <https://doi.org/10.1155/2021/6637625> (2021)

[2]. Ran T, Pang J, Yu J. Performance of Rubber Concrete Containing Polypropylene and Basalt Fibers under Coupled Sulfate Attack and Freeze–Thaw Conditions: An Experimental Evaluation. *Polymers*. 2023; 15(9):2066. <https://doi.org/10.3390/polym15092066> (2023)

[3]. B. Fazelabdolabadi, M. H. Golestan Towards bayesian quantification of permeability in micro-scale porous structures—the database of micro networks, *HighTech and Innovation Journal*, vol. 1, no. 4, pp. 148–160 (2020)

[4]. A. J. Shaukat, H. Feng, A. Khitab, A. Jan Effect of admixtures on mechanical properties of cementitious mortar, *Civil Engineering Journal*, vol. 6, no. 11, pp. 2175–2187 (2020)

[5]. Najib N. Gerges, Camille A. Issa, Samer A. Fawaz Rubber concrete: Mechanical and dynamical properties, *Case Studies in Construction Materials*, Volume 9, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2018.e00184> (2018)

[6]. E. Mohseni, M. Koushkbaghi Recycling of landfill waste tyre in construction materials: Durability of concrete made with chipped rubber // *Construction and Building Materials* 15 December 2023, Volume 409 <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134114> (2023)

[7]. R. Bajpai, K. Choudhary, A. Srivastava, K.S. Sangwan, M. Singh, Environmental impact assessment of fly ash and silica fume based geopolymer concrete, *J. Clean. Prod.* 254, 120147, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120147> (2020)

[8]. Y.H.M. Amran, R. Alyousef, H. Alabduljabbar, M. El-Zeadani, Clean production and properties of geopolymer concrete; A review, *J. Clean. Prod.* 251, 119679, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119679> (2020)

[9]. M. Valente, M. Sambucci, M. Chougan, S.H. Ghaffar, Reducing the emission of climate-altering substances in cementitious materials: A comparison between alkali-activated materials and Portland cement-based composites incorporating recycled tire rubber, *J. Clean. Prod.* 333, 130013, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130013> (2022)

[10]. He, L., Cai, H. D., Huang, Y., Ma, Y., Bergh, W., Gaspar, L., Valentin, J., Vasiliev, Y. E., Kowalski, K. J., & Zhang, J. H. Research on the properties of rubber

Секция 7 - Технология и организация строительства

Протченко А.В. РЕЦЕПТ АСФАЛЬТОБЕТОНА ДЛЯ ЯМОЧНОГО РЕМОНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕВУЛКАНИЗИРОВАННОЙ РЕЗИНОВОЙ КРОШКИ И ГРАНУЛЯТА АСФАЛЬТА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СООТВЕТСТВИЯ ПО ГОСТ

Протченко Артём Владимирович

ГАПОУ НСО Новосибирский колледж автосервиса и дорожного хозяйства

Новосибирская область, г. Новосибирск, улица Ватутина 61А, 630087

Научный руководитель: Воронцовская Вера Ивановна,

Богатырёва Юлия Валентиновна

Аннотация. В данной работе представлена рецептура асфальтобетонной смеси для ямочного ремонта с использованием девулканизированной резиновой крошки и гранулята асфальта. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения долговечности дорожных покрытий, а также эффективного использования вторичных материалов при ямочном ремонте.

Исследование включает в себя разработку и подборку смеси, в которой девулканизированная резиновая крошка и гранулят асфальта играют ключевую роль в улучшении механических свойств и эксплуатационных характеристик материала. В ходе работы определены оптимальные пропорции компонентов, в следствии чего удалось составить рецепт, отвечающий нашему техническому заданию.

Ключевые слова: асфальтобетон, ямочный ремонт, вторматериалы, гранулят асфальтобетона, резиновая крошка девулканизированная

Цель: найти возможности использовать резиновую крошку и гранулят старого асфальтобетона для ямочного ремонта.

Актуальность: Отработка рецептуры позволит решить проблему ямочного ремонта более экономичным способом, уменьшит затраты на битум и горячую асфальтобетонную смесь, так как используется гранулят и резиновая крошка, как основные компоненты. Не менее важным в ходе очищения природы от резинового мусора является организация применения продуктов переработки.

Тема рециклинга асфальтобетона важная экономическая проблема, что значительно удешевляет ямочный ремонт, а добавки резиной крошки для этой цели еще и существенно улучшают экологическую ситуацию. На территории Новосибирского колледжа автосервиса и дорожного хозяйства были заделаны небольшие ямы составом, в котором проходила термическая обработка

резиновой крошки в присутствии 30 % мазута и 5 % стеариновой кислоты лучший вариант, даже при 20 % добавки резиновой крошки к грануляту, образец остаётся твердым и эластичным одновременно. Полной гомогенности резиновой крошки достичь не удалось, образец достаточно вязкий после обработки в стеариновой кислоте, но как модификатор битума показывает лучший результат. Образцы были изготовлены с помощью пресса и форм. Мы проводили испытания на среднюю плотность и водонасыщение. После сезона дождей и активной езды автомашин, можем сделать вывод: состав не выкрошился.

Литературный обзор

Известно, что для строительства дорог используются компоненты дорогостоящей нефти, а это дополнительно увеличивает стоимость расходов на производство гудронов и битумов, применяемых при создании дорожных покрытий. Идеи повышения качества дорожного полотна и снижения расходов на строительство, ремонт и содержание дорог постоянно будоражат умы ученых, изобретающих новые способы для улучшения физико-механических свойств битума. Одной из наиболее перспективных и эффективных идей стало использование резиновой крошки, полученной в процессе переработки автомобильных шин.

Такой подход решает две важные проблемы. Во-первых, они связаны с улучшением свойств асфальтобетонных смесей и повышения качества дорог, а во-вторых, с улучшением экологической обстановки путем вторичного использования подлежащих утилизации отработанных шин и других резиновых отходов. Вопросы утилизации б/у шин не уступают по своей значимости проблемам улучшения качества дорог, а вместе открывают широкие возможности для внедрения новейших технологий, позволяющих использовать резиновую крошку, полученную в процессе переработки шин в дорожном строительстве.

Резиновая крошка сохраняет полезные свойства высококачественной шинной резины, из которой сделаны автопокрышки. Она в сравнении с каучуком, широко используемым на данный момент в дорожном строительстве, в разы превосходит его, обладая высокой устойчивостью к окислению, воздействию влаги и соли, содержит антиоксиданты препятствующие старению в условиях жесткой эксплуатации. Возможность применения резиновой крошки в качестве модификаторов при создании вяжущего для битумных смесей позволяет значительно повысить качество дорожного полотна в условиях низких и высоких температур.

Резиновая крошка, входящая в состав асфальтобетонных смесей для дорожных работ, увеличивает прочность и долговечность полотна, препятствует растрескиванию и разрушению, улучшает показатели ровности и упругости, противодействует скольжению, повышает морозоустойчивость, а главное, снижает уровень шума, что позволяет значительно уменьшить затраты на установку дополнительных шумопоглощающих барьеров. Битумные смеси с добавлением резиновой крошки могут применяться не только для строительства новых дорог, но и ремонта старых.

На данный момент существуют некоторые сложности по внедрению резиноасфальта в России как основной технологии строительства дорог, так как решение проблем целиком ложится на плечи дорожных строителей, не готовых к переменам. Не всегда в реальности прорезиненные трассы отвечают заявленным требованиям, а строительство их выходит дороже, чем укладка обычных асфальтобетонных смесей. По мнению специалистов, применение резиновой крошки оправдано в нижних слоях дорожного полотна, в щебеночно-мастичных, дренирующих, вибролитых, пористых и высокопористых асфальтобетонных смесях. В любом случае данная технология заслуживает повышенного внимания [6].

В основном асфальтобетонное покрытие состоит из следующих компонентов: битум (связующий элемент), щебень, гравий, песок, минеральный порошок. Резиновые гранулы добавляются в связующее вещество, которое в дальнейшем смешивается с остальными составляющими дорожного покрытия или сразу в готовую асфальтобетонную смесь. Более распространённым является первый метод. Битум выполняет 2 важные функции в составе смеси: прочно скрепляет все остальные компоненты, а также действует как герметик для воды.

Экспериментируя с размером добавляемой крошки и долей ее содержания, получается модифицировать битум. Благодаря добавлению резиновых гранул в связующую смесь дорожное покрытие приобретает свойства, необходимые для комфортной и длительной эксплуатации [4].

В настоящее время основными промышленными методами производства регенерата являются: водонейтральный (нейтральный), термомеханический (риклейтор-процесс), паровой и его модификации: паровоздушный и паровой высокотемпературный.

Девулканизация представляется идеальным методом рециклинга резин, так как она имеет своей целью как бы «вернуть вспять» вулканизацию без разрушения полимерных цепей. Например, при серной вулканизации полимерная сетка резины образуется как за счет связей серы с углеродом (C-S), так и за счет связей серы с серой (S-S). Тогда при девулканизации должны разрушаться именно эти связи. Таким образом, девулканизация — это процесс расщепления моно- (C—S—C), ди- (C—S—S—C) и полисульфидных (C—S_x—C) мостиков в вулканизированном каучуке. Чтобы получить высококачественный рециклированный каучук из отходов, необходима эффективная девулканизация [5].

Основные этапы ямочного ремонта

Суть ямочного метода заключается в предварительной вырубке поврежденного участка дорожного полотна и последующем восстановлении покрытия. Есть несколько этапов основных работ, которые выполняются практически во всех случаях ямочного ремонта:

1. Предварительная вырубка дорожного полотна с помощью отбойных молотков
2. Обрубка кромок и придание выбоине геометрически правильной формы, выполняемые нарезчиками швов
Очистка сектора от мусора, пыли и грязи, и обработка жидким битумом.

3. Заполнение поврежденного участка асфальтобетонной смесью и трамбовка виброплитой.

Главным преимуществом ямочного ремонта по-прежнему остается его оперативность – ведь он производится мобильными бригадами, не требует больших денежных затрат и не вызывает скопления большого количества специализированной техники на ремонтируемом участке дороги.

Стоит только не забывать, что такой ремонт лишь временное решение и не может спасти от необходимости капитального ремонта дороги впоследствии. Проектируемый срок службы ямочного ремонта один сезон. Резинобитумное композиционное вяжущее представляет собой однородную смесь дорожного битума с мелкодисперсной резиновой крошкой, полученное в результате перемешивания этих компонентов, при этом температурный и временной режимы подобраны в зависимости от особенностей свойств резиновой крошки. В процессе перемешивания при высокой температуре происходит частичная девулканизация резиновой крошки в масляных фракциях битума, частицы резины полностью не растворяются, а связываются с компонентами битума подвижными химическими связями и проявляют свои эластичные свойства уже в составе композиционного вяжущего. В отличие от обычных битумов, полученные вяжущие, сочетающие полезные свойства двух основных компонентов неоднородны по фазовому и химическому составу. В их составе битум выполняет функции жидкой или псевдожидкой термопластичной матрицы, а частицы резины создают упругий силовой каркас в объеме вяжущего.

Применение резиновой крошки в качестве модификатора композиционного вяжущего требует обязательного учета ее физико-химических свойств и структуры, которые значительно отличаются. Именно поэтому конечные свойства получаемого продукта (резиновой крошки) отличаются.

Самыми перспективными и экономически выгодными являются технологии, которые позволяют проводить ремонт в течение всего года. Именно таким является метод ямочного ремонта с использованием холодной асфальтобетонной смеси, которая содержит минеральный материал подобранного зернового состава, и жидкое органическое вяжущее вещество. Эту смесь изготавливают на асфальтобетонном заводе. Но это дорогостоящий ремонт, и на один сезон, (планируемый срок ямочного ремонта, заводской асфальтобетон трать не экономично). Наша задача, которую поставил перед нами ДЭУ-1, наш социальный партнёр, найти способ использования резиновой крошки и снятого асфальтобетона, гранулята. Они пробовали сами, выкрошилось в течении недели. Мы начали свои эксперименты.

Практическая часть

На первом этапе был проведен гранулометрический анализ асфальтобетонного гранулята и резиновой крошки (Фото 1).

Просяли резиновую крошку через сита 1,25; 0,63; 0,315. Для определения пригодной фракции по рекомендации литературы нужна фракция от 0,5 до 1 мм (Фото 2). Вывод: определили, что соответствует.



Фото 1



Фото 2

На **втором этапе** для определения марки гранулята асфальтобетона было отобрано методом квартования 1500 г гранулята, и просеяно через набор сит, проведены соответствующие расчеты, данные приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Расчет марки гранулята асфальтобетона

Размер ячейки сита, мм	Масса остатка на сите, г	Частный остаток %	Полный остаток %	Полный проход %
20	47,27	3,15	3,15	96,85
15	96,37	6,42	9,57	90,43
10	190,45	12,69	22,26	77,74
5	319,5	21,3	43,56	56,45
2,5	341,90	22,79	66,35	33,65
1,25	195,1	13,01	79,36	20,64
0,63	175,25	11,68	91,04	8,96
0,315	91,32	6,09	97,13	2,87
0,16	32,16	2,144	99,274	0,726

0,071	13,68	0,726	100	0
-------	-------	-------	-----	---

Вывод: Для полного соответствия с типом Б, нам не хватает мелких фракций.

На **третьем этапе**, после сравнения с ориентировочной таблицей 2, определен тип асфальтобетонной смеси, тип Б, рассчитано количество вяжущего, на 500 граммов гранулята 30 г битума и 100 г подготовленной резиновой крошки.

Таблица 2- Гранулометрический состав асфальтобетона

В процентах по массе

Вид и тип смесей и асфальтобетонов	Размер зерен, мм, не более									
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071
Горячие:										
- высокоплотные	90-100	70-100 (90-100)	56-100 (90-100)	30-50	24-50	18-50	13-50	12-50	11-28	10-16
- плотные типов:	Непрерывные зерновые составы									
А	90-100	75-100 (90-100)	62-100 (90-100)	40-50	28-38	20-28	14-20	10-16	6-12	4-10
Б	90-100	80-100	70-100	50-60	38-48	28-37	20-28	14-22	10-16	6-12
В	90-100	85-100	75-100	60-70	48-60	37-50	28-40	20-30	13-20	8-14
Г	-	-	100	70-100	56-82	42-65	30-50	20-36	15-25	8-16
Д	-	-	100	70-100	60-93	42-85	30-75	20-55	15-33	10-16
	Прерывистые зерновые составы									
А	90-100	75-100	62-100	40-50	28-50	20-50	14-50	10-28	6-16	4-10
Б	90-100	80-100	70-100	50-60	38-60	28-60	20-60	14-34	10-20	6-12
Холодные:										
типов:										
Бх	90-100	85-100	70-100	50-60	33-46	21-38	15-30	10-22	9-16	8-12
Вх	90-100	85-100	75-100	60-70	48-60	38-50	30-40	23-32	17-24	12-17
Гх и Дх	-	-	100	70-100	62-82	40-68	25-55	18-43	14-30	12-20

Примечания
1 В скобках указаны требования к зерновым составам минеральной части асфальтобетонных смесей при ограничении проектной документацией крупности применяемого щебня.
2 При приемо-сдаточных испытаниях допускается определять зерновые составы смесей по контрольным ситам в соответствии с показателями, выделенными полужирным шрифтом.

На этом этапе приготовили образцы с различными растворителями и размягчителями. Гранулят и битум нагрели при температуре 160 градусов в течении 10 минут (фото 3, 4, 5).



Фото 3



Фото 4



Фото 5

На **четвертом этапе**, был выведен процесс приготовления образцов в такой последовательности: взвешивали 100 г на технических весах резиновой крошки, после добавляли 30 г битума, до получения вязкой однородной массы и добавляли прогретый асфальтобетонный гранулят перемешивали без прессования, так как пресс отсутствует, сдавливая руками формовали лепешки имитируя ямочный ремонт. Мы готовили образцы с содержанием резиновой крошки на 500 г гранулята 50, 100, 200 граммов, там, где добавка крошки была 200 граммов смесь не склеилась оставалась рассыпчатой.

Подбирали растворитель, способствующий лучшему набуханию и размягчению резины, растворители содержащие ароматические вещества в составе. Без окислителя и с окислителем перманганатом калия, Резиновая крошка по-разному реагировала на растворители, в ксилоле очень набухла и поглотила растворителя 1:4 по весу. Меньше всего набухание наблюдалось в бензине, но образцы содержащие таким образом обработанную резиновую крошку при взаимодействии с битумом проявили дополнительно вязкие свойства, при растирании, как с окислителем, так и без него. Так как окислитель водорастворимый растворяли его в ацетоне, это единственный органический растворитель, в котором он растворяется и после добавляли к резиновой крошке. Провели девулканизацию резиновой крошки термохимическим способом, имитируя процессы, протекающие на резинорегенерирующих производствах (Фото 6, 7).



Фото 6



Фото 7

Растворители при прогревании выделяют много газообразных вредных веществ, а там, где крошка готовилась водным нагреванием не получилось склеить образец. Сделали вывод, что оптимальный вариант добавка резиновой крошки максимально около 20 %, но способ девулканизации термический нужно еще доработать, водное нагревание не подходит. Как пишут источники возможна девулканизация резиновой крошки путем прогревания с битумом при более высоких температурах (Фото 8, 9).



Фото 8



Фото 9

Неподготовленная резиновая крошка, добавленная к асфальтовой массе, очень сильно крошилась. В литературе рекомендуемая добавка 3% без

обработки, и в горячий асфальтобетон, а не в отработанный гранулят асфальтобетона. Именно это и является новизной нашей работы, так как позволяет значительно снизить затраты на ямочный ремонт при использовании вторичного сырья. Одновременно решаются две проблемы - удешевление ямочного ремонта и уменьшение свалок шин. Собираемся продолжить работу, по отработке рецептуры и выбора лучшего варианта обработки резиновой крошки и способа хранения девулканизированной резновой крошки, до ее добавки в гранулят асфальтобетона.

На пятом этапе

Формование образцов

Образцы асфальтобетона получают уплотнением смеси в цилиндрических пресс-формах с вкладышами (ГОСТ 12801-98).

Порядок изготовления образцов:

1. Внутреннюю поверхность форм и вкладыши протереть тканью, смоченной маслом, установить на подставку, внутрь поместить вкладыш.
2. Взвесить необходимое для одного образца асфальтобетонной смеси, заполнить форму, проштыковать ножом. Установить верхний вкладыш и слегка прижать.
3. Установить форму со смесью на нижнюю плиту пресса и постепенно довести нагрузку до 400 кгс/см². Давление выдержать в течении 3 мин., затем снять нагрузку и при помощи специального приспособления извлечь из формы образец асфальтобетона.

Испытание проводят не ранее, чем через 1 сутки после изготовления

Мы проводили испытания на среднюю плотность и водонасыщение. Были изготовлены образцы с помощью пресса и форм, после они были вынуты с помощью выталкивателя. Были проведены замеры: вес, вес в воде, вес после часа насыщения водой и д. р. Выводы были занесены в таблицу.

Таблица 3 – Характеристики образцов асфальтобетона

№ п\п	Масса образца на воздухе, m1	Масса образца после 30 минут выдержки в воде, г		Плотность материала асфальтобетона, г\см ³
		На воздухе	В воде	
		m2	m 3	
1	672,69	319,20	689,56	1,81
2	692,71	339,60	699,75	1,92
3	616,14	261,95	621,22	1,71
4	568,83	294,75	609,65	1,80
5	660,52	304,60	664,90	1,83

Образцы взвешивают с точностью до 0,01 грамма на воздухе (t_1), погружают на 30 мин. в сосуд с водой при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$, затем взвешивают на воздухе (t_2) и в воде (m_3), данные заносят в журнал

Методика выполнения работы.

После определения плотности материала асфальтобетона образцы поместить в сосуде с водой в вакуумный шкаф при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$, при уровне воды над образцами не менее 3 см; выдержать образцы при остаточном давлении 10 мм.рт.ст. в течение 1 часа. Затем, доведя давление до нормального, выдержать образцы в воде еще 1/2 часа при той же температуре; вынуть, промокнуть и взвесить образцы с точностью до 0,01 г, сначала на воздухе (m_3), затем в воде (m_4).

Таблица 4 – Характеристики образцов асфальтобетона

№ п\п	Масса образца на воздухе m_1	Масса образца после 30 минут выдержки в воде, г		После насыщения водой	% водонасыщения
		На воздухе	В воде		
		m_2	m_3	На воздухе	
1	672,69	319,20	689,56	718,26	12,3%
2	692,71	339,60	699,75	732,29	11,0%
3	616,14	261,95	621,22	655,75	11,0%
4	568,83	294,75	609,65	640,58	13,3%
5	660,52	304,60	664,90	695,93	9,8%

Вывод: средняя плотность соответствует ГОСТу, водонасыщение в 2,5 раза больше нормы. Мы считаем, что это связано с тем, что качество и тип битума не тот что нам нужен, и малым процентом малых фракций (фото 10,11,12).

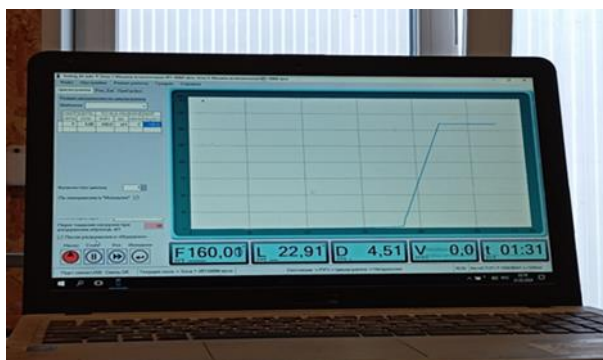


Фото 10



Фото 11



Фото 12

Шестой этап, доработка рецептуры, ясно что необходимо менять рецепт смеси, в лабораторных условиях у нас образцы с содержанием резиновой крошки в 20 % можно было имитировать ямочный ремонт, но образцу с таким содержанием на прессе не прессовался, резина оставалась очень упругой (см. табл. 5 – 7).

При приготовлении полимерного модификатора битума используют наиболее часто применяемые в условиях средней полосы России битумы марок БНД 60/90 и 90/130; резиновую крошку с диаметром частиц 0,5-0,9 мм, являющуюся отходом резинового производства.

Таблица 5 – Рецепт смеси

	<i>состав</i>	<i>% вещества</i>	<i>масса вещества</i>
	Щебень	89,00%	4500,00
	Битум	6,00%	303,37
	Резина	5,00%	252,81

Таблица 6– Рецепт смеси

	<i>состав</i>	<i>% вещества</i>	<i>масса вещества</i>
	Щебень	84,00%	4500,00
	Битум	6,00%	321,43
	Резина	10,00%	535,71

Таблица 7– Рецепт смеси

	<i>состав</i>	<i>% вещества</i>	<i>масса вещества</i>
	Щебень	74,00%	4500,00
	Битум	6,00%	364,86
	Резина	20,00%	1216,22

Модификатор готовят следующим образом. В разогретый до 160°С битум добавляют резиновую крошку и перемешивают (300 об/мин) для набухания

резины при 180°C в течение 1-1,5 ч. Затем температуру постепенно повышают до 250°C для деструкции резиновой крошки и затем продолжают перемешивание еще 30 мин при 250°C.

Изучили влияние мягчителей на резину, согласно литературным источникам присутствие стеариновой кислоты помогает, как вулканизации, так и девулканизации резины.

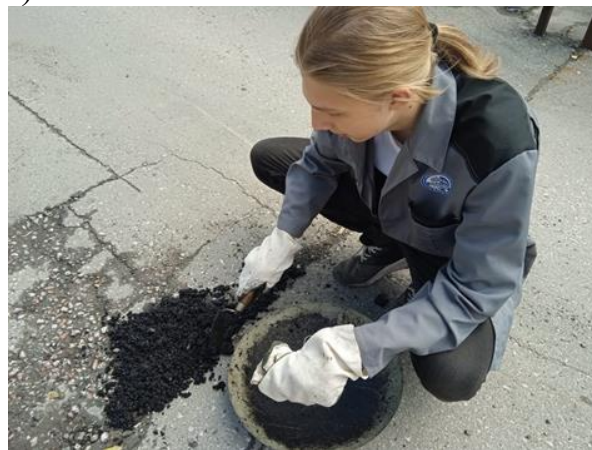
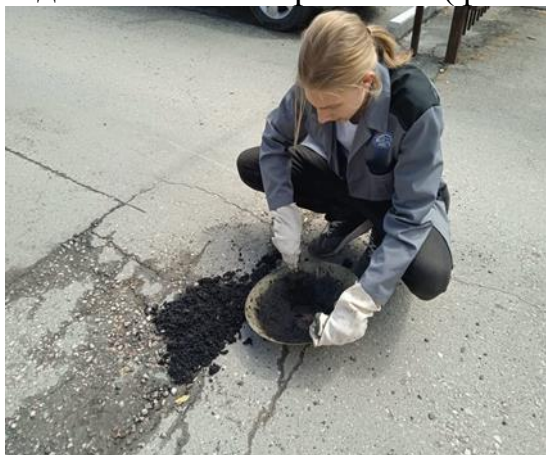
Из таблицы 8 видно, содержание растворимой части в регенерате и степень его девулканизации в зависимости от условий обработки при термическом способе девулканизации [7].

Таблица 8 – Характеристики термического способа девулканизации шин

Стеариновая кислота %	Температура девулканизации, °С	Время выдержки, мин	Степень девулканизации, %	Содержание растворимой части, %
5	160	60	7.8	31,56
5		120	13.45	30,2
5	200	60	9.8	34.96
5		120	13.3	38.3

Термическая обработка резиновой крошки в присутствии 30 % мазута и 5 % стеариновой кислоты лучший вариант, даже при 20 % добавки резиновой крошки к грануляту, образец остаётся твердым и эластичным одновременно. Полной гомогенности резиновой крошки достичь не удалось, образец достаточно вязкий после обработки в стеариновой кислоте, но как модификатор битума показывает лучший результат.

После этого, на территории колледжа были заделаны небольшие ямы этим составом. После сезона дождей и активной езды автомашин, можем сделать вывод: состав не выкрошился (фото 13, 14).



Седьмой этап

Рецепт на 3 образца: На 2130 г нужно: 2000 г – гранулят, 121 г - битум, резиновая крошка – 200 г, стеариновая кислота – 10 г, мазут – 60 г.

Приготовили образцы по этому рецепту и в лаборатории «Дорэксперт» отформовали образцы на цилиндрических пресс-формах с вкладышами (ГОСТ 12801-98). На следующие сутки провели испытания (фото 15, 16).



Фото 15



Фото 16

Мы проводили испытания на среднюю плотность и водонасыщение. Были изготовлены образцы с помощью пресса и форм, после они были вынуты с помощью выталкивателя. Были проведены замеры: вес, вес в воде, вес после часа насыщения водой (схема 1). Выводы были занесены в таблицу 9.

Таблица 9 – Характеристики образцов

№ п\п	Масса образца на воздухе, m0	Масса образца после 30 минут выдержки в воде,г		После насыщения водой	% водонасыщения	плотность
		На воздухе	В воде	На воздухе		
		m 1	m 2	m3		

1	581,99	297,30	582,08	582,53	0,2	1,97
2	697,96	340,08	692,41	703,71	1,64	1,99
3	578,44	286,06	578,70	579,17	0,25	1,97
4	594,84	295,02	595,99	652,08	1,3	2,17
5	569,29	282,22	564,74	657,04	1,0	2,21
6	569,96	281,20	590,57	649,91	0,5	1,97

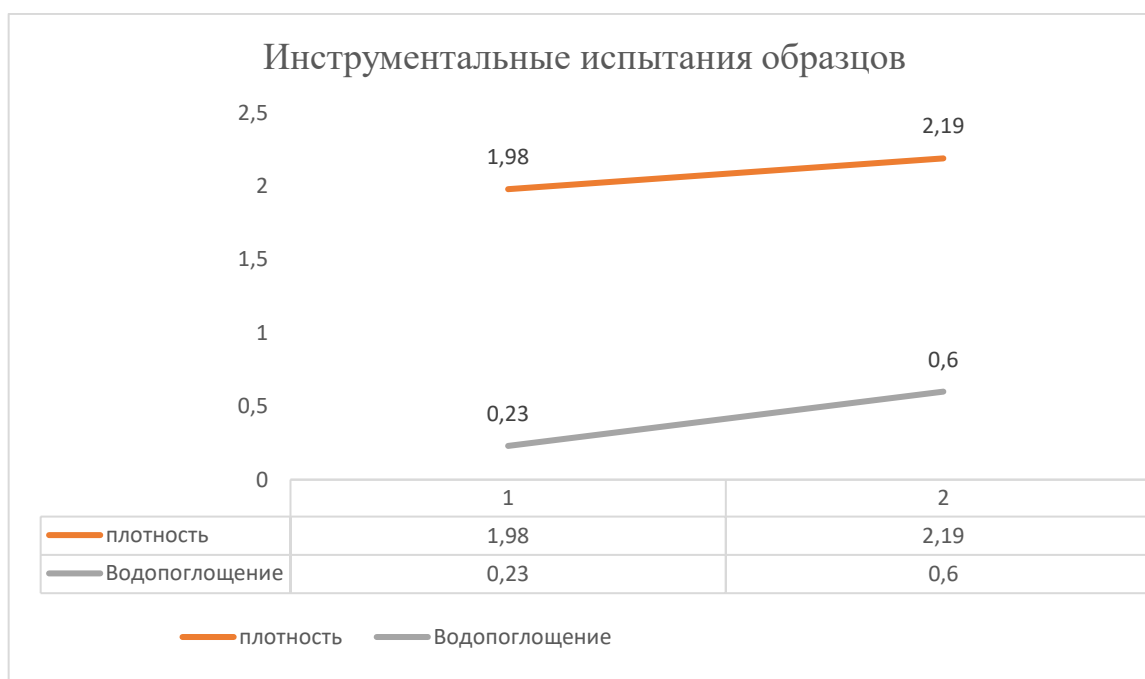


Схема 1 – Инструментальные испытания образцов

Заключение

Целью нашей работы был поиск возможности использования резиновой крошки и асфальтобетонного гранулята, после проведенных исследований, мы выяснили что резиновую крошку необходимо подготавливать для увеличения эластичности и образования связей с битумом. Были проверены разные способы обработки к лучшему результат приводит использование стеариновой кислоты. Было проведено много испытаний и экспериментов, в следствии чего удалось составить рецепт, отвечающий нашему техническому заданию. Также этот рецепт можно использовать на приближенных к жилым зонам дорогах, для шумопоглощения, нижним слоем верхнего покрытия. Рецептура передана в ДЭУ и ждёт дальнейшего внедрения.

Список литературы

1. В.С. Прокопец, С.Ф. Филатов, Т.Л. Иванова, М.В. Тарасова, Л.В. Поморова // Башкирский химический журнал том 13 № 5 УДК 691. 168: 666. 964. 3
2. С. Духовный, к. т. н., профессор, А. В. Сачкова, А. О. Короткова (БГТУ им. В.Г.Шухова)/ Восстановление асфальтобетонных покрытий методом холодного ресайклинга и добавками химических веществ // Сибирская государственная автомобильнодорожная академия (СибАДИ) Мир транспорта. 2013;(1):60-63.
3. Быстро и надежно, Срок службы асфальтового покрытия (асфальта) // [электронный ресурс] <https://gruntovozov.ru/chasto-zadavayemiye-voprosy/harakteristiki-i-svoystva-asfalta/ekspluatacionnye-svoystva-asfaltobetona/srok-sluzhby-asfaltovogo-pokrytiya/>
4. По материалам журнала «Мир дорог» №78 окт 2014 Претор менеджмент. Эффективность применения резинобитумного вяжущего при строительстве асфальтобетонных покрытий // [электронный ресурс] <https://www.pretor-road.ru/stati/125-effektivnost-primeneniya-rezinobitumnogo-vyazhushchego-pri-stroitelstve-asfaltobetonnnykh-pokrytij.html>
5. Строй бетон, Технология ямочного ремонта с использованием литых смесей из регенерированного асфальтобетона // [электронный ресурс] https://strop-snab.ru/tehnologii/proizvodstvo-yamochnogo-remonta.html?utm_referrer=https%3A%2F%2Faway.vk.com%2F
6. А. Аюпов – инженер, А.В. Мурафа – кандидат технических наук, профессор, Ю.Н. Хакимуллин – доктор технических наук, профессор., В.Г. Хозин – доктор технических наук, профессор. Казанский государственный архитектурно-строительный университет строительные материалы и изделия , брошюра// [электронный ресурс] Ayupov_Damir@rambler.rufile:///C:/Users/%D0%9E%D0%BD/Desktop/162/%D1%80%D0%B5%D0%B7%D0%B8%D0%BD%D0%B0%20%D0%BA%D1%80%D0%BE%D1%88%D0%BA%D0%B0.%20%D0%B0%D1%81%D1%84%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D1%82/sovremennye-sposoby-regeneratsii-rezin-i-vozmozhnosti-ispolzovaniya-ih-v-stroitelnoy-otrasli.pdf.
7. Лексор, Использование резиновой крошки в дорожном строительстве // [электронный ресурс] <https://lexor.spb.ru/ispolzovaniye-rezinovoy-kroshki-v-dorozhnom-stroitelstve.html>
8. Молодой ученый, Способ девулканизации резиновой крошки на валковом оборудовании// [электронный ресурс] <https://moluch.ru/archive/35/4021/>
9. Проблемы экологии и старых автопокрышек Покрытия из резиновой крошки// [электронный ресурс] <https://www.uas.ru/article2.html>
10. Полимерные материалы, Девулканизация отходов отработанных шин в двухшнековом экструдере // [электронный ресурс] <https://polymerbranch.com/articles/devulkanizatsiya-othodov-otrabotannyh-shin-v-dvuhshnekovom-ekstrudere/>

Пересади́на Ю.А. ПРИМЕНЕНИЕ КЛЕЕНОЙ ДРЕВЕСИНЫ В КУПОЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Пересади́на Ю́лия Андре́евна

магистрант, Дальневосточный федеральный университет, Инженерно-строительное отделение, 690922, Российская Федерация, Приморский край, г.

Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10

*Научный руководитель: Макарова Наталья Валентиновна, к.т.н., доц.,
Институт автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения
Российской академии наук*

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы применения купольных деревянных конструкций в современной архитектуре. Описываются преимущества купольных сооружений, включая их высокую несущую способность, экономичность, энергоэффективность. Особое внимание уделяется использованию клееной древесины для несущих конструкций куполов, оцениваются свойства клееной древесины как конструкционного материала и описываются некоторые проблемы производства. Рассматриваются современные методы моделирования и расчета, вопросы транспортировки и монтажа конструкций. Обозначена проблема долговечности конструкций в условиях агрессивной среды.

Ключевые слова: строительство, купольные конструкции, древесина, клееная древесина

Введение

Современные требования к объемно-планировочным решениям зданий предполагают большие открытые пространства и гибкие планировки, что в значительной мере усложняет выбор конструктивных решений на этапе проектирования, требует применения более дорогих материалов и ресурсоемких методов ведения строительных работ. Нарастающая популярность экологической архитектуры и идей бионической архитектуры [1], приветствующей применение сложных форм неевклидовой геометрии, придающих значительную выразительность зданию, также способствует спросу на большепролетные сооружения.

Для того, чтобы перекрывать большие пролеты наиболее эффективно, без применения промежуточных опор, в настоящее время зачастую используются пространственные конструкции. Это могут быть цилиндрические оболочки, складки, волнистые своды, поверхности вращения и оболочки переноса. Преимущества купольных конструкций заключаются в повышенной несущей способности, снижении потребности в материалах, что позволяет наиболее рационально использовать их свойства, а также приближенности к природным формам – кривым второго порядка, фрактальным элементам - что благоприятно влияет на восприятие зданий человеком и позволяет вписывать их в существующую застройку и окружающий ландшафт.

Состояние проблемы

Купольные конструкции применимы для общественных, спортивных, зрелищных зданий и обеспечивают благоприятную акустику, энергоэффективность и хорошие аэродинамические свойства.

Несмотря на то, что наиболее распространенная форма купола сферическая, купола могут быть и эллипсоидной формы. Вариативность очертаний купола обеспечивается применением различных купольных структур: ребристой, ребристо-кольцевой, сетчатой, геодезической, Шведлера, Чивитта и др. В работе [11] описаны отличительные особенности различных моделей куполов, способы образования и их преимущества. Отмечается экономичность треугольной сетчатой структуры в результате рационального распределения усилий даже при асимметричной нагрузке.

Для легких сетчатых купольных конструкций, важной характеристикой, является соотношение геометрических параметров – стрелы подъема и пролета, обеспечивающее устойчивость конструкции и определяющее его напряженно-деформированное состояние. В статьях [2], [3] производится сравнительный анализ эффективности работы конструкции в зависимости от геометрических параметров. Применение математического моделирования и варьирование параметров модели позволяет выделить наиболее рациональные варианты поверхностей из ряда однотипных. Не менее важным фактором является способ сопряжения элементов конструкций, что в значительной мере влияет на долговечность конструкции и характер распределения усилий.

Для построения моделей и их расчета применяются современные программные комплексы, реализующие метод конечных элементов, например, ПК ЛИРА САПР, ПК SCAD и другие. Использование расчетных комплексов значительно упрощает и ускоряет расчет, снижает вероятность ошибки вычислений и позволяет быстро вносить поправки в расчетную схему. Эти факторы особенно важны, когда для определения оптимальных параметров требуется выполнить несколько расчетов одной и той же конструкции с некоторыми отличиями. Данный подход применим не только при определении формы и габаритов здания, но и при расчете соединений элементов пространственных конструкций.

Важным вопросом является обеспечение надежности конструкции в процессе монтажа и транспортировки, и недопущение возникновения напряжений, превышающих критические напряжения для применяемого материала. Внутренние усилия будут возникать при любом способе монтажа, однако необходимо выполнить расчет каркаса на все виды возникающих монтажных воздействий и выбрать оптимальный метод временного закрепления конструкций, так как при максимальном количестве временных опор нагрузки на элементы конструкции сопоставимы с их собственным весом, а при сведении количества временных опор к минимуму, возникающие при монтаже напряжения могут значительно превосходить напряжения от проектных нагрузок, а также менять знак [4].

Большой потенциал при проектировании купольных конструкций имеет применение клееной древесины в качестве материала несущих элементов. Этот материал обладает высокой удельной прочностью, что позволяет достигать

значительного экономического эффекта, в том числе при транспортировке, монтаже и строительстве на слабых грунтах, ведь, например, изгибаемые элементы равной несущей способности, выполненные из стали и клееной древесины, будут иметь сопоставимую массу, а железобетонный элемент – массу в десятки раз большую. Также отмечаются эстетические свойства древесины, позволяющие вписывать несущие конструкции в интерьер без дополнительной отделки, а также экологичность материала. Однако однозначно назвать клееную древесину экологически чистым материалом нельзя, так как несмотря на то, что древесина считается возобновляемым сырьем, при обработке используются химикаты и тратится значительное количество энергии [12].

Применение массивной древесины зачастую ограничивается малым резервом сырья большого диаметра, позволяющего изготавливать цельные элементы требуемых размеров, и их высокой стоимостью, а также неравномерным распределением физико-механических свойств, обусловленных древесиноведческими и технологическими проблемами производства. В работе [5] рассматривается неравномерность распределения прочности древесины по сечению ствола, обусловленная естественными процессами формирования древесины. В отличие от массивного элемента, для оптимизации характеристик клееного бруса возможно расположение более плотных, а значит и более прочных, досок, получаемых из периферийных зон ствола, в наиболее напряженных зонах клееного бруса, что позволит значительно повысить прочность и стабильность элемента, а также более рационально использовать ресурсы. В работе [6] освещается вопрос низкой точности визуальной сортировки бруса с учетом количества и характера распределения сучков, так как ряд образцов, отбракованных по визуальным признакам (сорта С), обладают механическими характеристиками, соответствующими древесине сорта А, и при машинной сортировке пиломатериалов по прочности могли бы быть использованы для несущих конструкций, что актуально в условиях исчерпания лесных ресурсов.

На прочность и долговечность клееной древесины оказывает влияние не только качество древесины, но и свойства клеевых слоев. В статье [13] уделяется внимание вопросу определения глубины проникновения клея в древесину с помощью рентгеновской компьютерной томографии, говорится о влиянии глубины проникновения клея на эффективность передачи нагрузки, свойства древесины, а также на расход клеевых составов и, как следствие, на стоимость композитного материала. Отмечается значимость применения современных методов 3D-диагностики для получения более достоверных и актуальных результатов.

Для увеличения несущей способности клееной древесины и повышения жесткости может применяться армирование клееной древесины, как внутреннее, так и внешнее. Армирование позволяет значительно уменьшить массу конструкции и расход древесины, а также снизить стоимость конструкции. В статье [7] исследуется эффективность применения различных видов армирования, как наиболее оптимальное выделяется внешнее армирование стеклопластиковыми ламелями, однако его применение может быть ограничено

условиями среды, поэтому практически более применимым является внутреннее армирование углекомпозитной арматурой.

Наиболее уязвимыми участками конструкций зачастую являются узловые соединения. Древесина в меньшей степени, чем сталь, используемая для соединения элементов, подвержена коррозии, в связи с этим, в настоящее время уделяется внимание разработке узлов с применением неметаллических крепежных элементов, в том числе деревянных, стеклопластиковых [8] и углепластиковых [9].

Особого внимания заслуживает работа конструкций из клееного бруса в условиях атмосферы прибрежных районов. В работе [14] рассмотрена динамика изменения прочностных характеристик клееного бруса при его повторном применении в районах с приморским климатом. В результатах исследования отмечено, что агрессивное воздействие окружающей среды в меньшей степени влияет на прочностные характеристики клеевых слоев, а разрушение древесины, длительное время подвергавшейся воздействию повышенной влажности и солей, возникает в результате сдвига из-за снижения сопротивления сдвигу под воздействием агрессивной среды.

Рассмотренные исследования актуальны для уникального объекта, расположенного на о. Русском в Приморском крае. Здание инновационного культурного центра запроектировано состоящим из двух разноразмерных куполов, объединенных остекленным переходом (рис. 1). Несущими элементами полусфер служат клееные деревянные арки прямоугольного сечения. Строительство центра было начато в 2016 г, но так и не было завершено. Несмотря на то, что объект законсервирован, уникальные для Дальнего Востока конструкции длительное время находятся под воздействием атмосферы, что не может не сказаться на состоянии конструкций. Существенной проблемой для этого случая является оценка остаточной прочности конструкций и возможность возобновления строительства, что обусловлено методологическими проблемами и отсутствием нормативных рекомендаций. Зарубежный опыт при этом показывает, что ресурса прочности клееной древесины, подверженной длительному воздействию морской атмосферы, достаточно для повторного применения после соответствующей переработки [14], [15].



Рисунок 1 – Визуализация проекта инновационного культурного центра на о. Русском [10].

Заключение

Клееные деревянные конструкции сочетают в себе высокую прочность, долговечность, легкость, комфортность для человека и хорошие эстетические качества. Применение клееной древесины позволяет рационально использовать лесные ресурсы и дает простор для применения различных архитектурных решений.

Однако здания, в которых применяются клеедеревянные конструкции, в настоящее время можно назвать уникальными, особенно в условиях Дальнего Востока. В многом это обусловлено отсутствием производственных мощностей, позволяющих изготавливать такие конструкции, что отрицательно сказывается на экономической составляющей строительства.

Особого внимания заслуживают узловые элементы конструкций, возможность применения армированной клееной древесины, а также вопросы, связанные с монтажом конструкций и эксплуатацией в условиях агрессивных сред.

Требуется дальнейшее развитие методов расчета, оценки остаточной несущей способности и технологий производства материалов для повышения экологической и экономической эффективности.

Список литературы

1. Тетиор А. Н. Фрактальные пространственные бионические объекты и конструкции в экоархитектуре //Жилищное строительство. – 2012. – №. 8. – С. 23-27.;
2. Литвинова Ю. В., Капленко О. А. Подбор рациональных параметров и решений металлической купольной оболочки //Системные технологии. – 2020. – №. 3 (36). – С. 40-46.;

3. Гмирач К. М., Козлов А. В., Проскуров Р. А. Подбор оптимальных параметров эллипсоидной железобетонной оболочки вращения //Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – №. 2-3 (56). – С. 100-104.;
4. Лебедь Е. В. Компьютерное исследование работы каркасов большепролетных металлических куполов при различных способах монтажа //Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2018. – Т. 14. – №. 4. – С. 261-272;
5. Черных А. Г., Домбровский И. Г., Парфентьев Е. О. Распределение прочности по сечению ствола сосны и рациональное распределение прочности в клеёных балках //Инновации в деревянном строительстве. – 2021. – С. 214-228.;
6. Титунин А. А., Зайцева К. В. Древесиноведческие и технологические проблемы производства клееных материалов для деревянного домостроения //Жилищное строительство. – 2016. – №. 11. – С. 44-47.;
7. Исупов С. А., Шульгин И. С., Носов Е. А. Армирование клееных деревянных элементов кружально-сетчатого свода //Инженерный вестник Дона. – 2023. – №. 8 (104). – С. 39.;
8. Вдовин В. М., Мартышкин Д. О. Коррозионно-стойкое немагнитное соединение элементов деревянных конструкций //Региональная архитектура и строительство. – 2019. – №. 4. – С. 103-108.;
9. Водяников М. А., Воробьев А. В. Оценка работы соединений деревянных конструкций на стальных и углепластиковых цилиндрических нагелях //Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2017. – №. 1. – С. 159-169.;
10. РБК: сетевое издание [Электронный ресурс] – URL: <https://realty.rbc.ru/news/577d21419a7947a78ce91338> (дата обращения 07.01.2025).;
11. Fredriksson G., Herrström M. Stability Analysis of a Large Span Timber Dome: Master's dissertation / Fredriksson G., Herrström M. — Lund, 2017. — 182 с.;
12. Ramage M. H. et al. The wood from the trees: The use of timber in construction //Renewable and sustainable energy reviews. – 2017. – Т. 68. – С. 333-359.;
13. Paris J. L., Kamke F. A. Quantitative wood–adhesive penetration with X-ray computed tomography //International Journal of Adhesion and Adhesives. – 2015. – Т. 61. – С. 71-80.;
14. Gao S. et al. Mechanical performance degradation of recycled glulam under simulated marine atmosphere //Construction and Building Materials. – 2022. – Т. 346. – С. 128443.;
15. Gao S., Zhou L., Xu M. Freeze-thaw effect on performance degradation of recycled glulam from structural members after cyclic loading //Journal of Building Engineering. – 2024. – Т. 88. – С. 109203.

Пугачев И.П. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ДОМОВ В Г. ВЛАДИВОСТОКЕ

Пугачев Иван Павлович

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

Жабыко Евгений Игоревич, канд. техн. наук, доцент

Аннотация: В статье рассматриваются особенности проектирования солнечных домов в климатических условиях города Владивостока. Особое внимание уделяется анализу факторов, влияющих на эффективность использования солнечных энергоресурсов в регионе, таких как географическое расположение, климатические условия, а также сезонные колебания солнечной активности. Описываются современные подходы и технологии, применяемые в проектировании солнечных домов, включая выбор материалов и архитектурные решения. Работа направлена на повышение осведомленности о потенциале использования солнечных домов в городе Владивостоке.

Ключевые слова: солнечные системы, солнечная архитектура, климатические условия, Дальний Восток, энергоэффективность.

Введение: Понятие солнечной архитектуры появилось ещё в Древней Греции. Суть его заключалась в том, что с помощью солнечной радиации здания могли аккумулировать тепловую энергию для отопления внутренних помещений. Главная проблема данных систем является в сильной зависимости от климатических и географических условий местности. Поэтому необходимо понимать, какие климатические факторы присущи региону строительства, в частности городу Владивостоку.

Материалы и методы: Анализируются климатические факторы, которые влияют на выбор солнечных систем для города Владивостока. Приводятся различные примеры применения солнечных энергетических систем.

Состояние проблемы: В условиях Приморского края, где территория отличается благоприятными природно-климатическими условиями для развития солнечной энергетики, проектирование солнечных домов сталкивается с рядом уникальных вызовов и возможностей. В частности, наличие длительных периодов морозной, но ясной погоды, обусловленных влиянием Сибирского антициклона, а также высокая солнечная радиация, поступающая на юге региона, создают особые условия для эффективного использования солнечной энергии.

Суммарная продолжительность солнечного сияния в Приморье составляет 1900–2400 часов в год, что является одним из самых высоких показателей по России. Эти климатические особенности, включая значительное количество солнечной энергии, поступающей в зимний период, существенно влияют на эффективность солнечных энергетических систем в проектировании малоэтажных жилых домов. Температурные колебания наружных поверхностей зданий, такие как прогрев каменных стен до +12-17°C при наружных

температурах до -15°C , подчеркивают важность учета местных климатических факторов для оптимизации солнечной архитектуры и повышения энергоэффективности домов в условиях Владивостока [1].

В целом, как отмечает автор, эффективность использования солнечной энергии малоэтажных домов в городе Владивостоке достаточно высока благодаря благоприятным климатическим условиям региона. Длительные периоды солнечной активности, особенно в зимний период, а также высокая суммарная продолжительность солнечного сияния позволяют эффективно использовать солнечные системы. Низкие зимние температуры, сопровождающиеся ясной погодой, способствуют более высокой эффективности работы солнечных систем.

Доказав эффективность солнечной архитектуры в городе Владивостоке, можно перечислить основные методы её использования, которые в потенциале могут быть наиболее эффективны для данной местности. Одним из примеров таких систем является использование южной ориентации окон и теплопоглощающих материалов, таких как каменные или бетонные стены, которые днем поглощают солнечное тепло и постепенно отдают его, поддерживая комфортную температуру внутри здания. Также популярны солнечные фасады и стеклянные крыши, которые позволяют максимизировать поступление солнечного света, создавая «тепличный» эффект. Важную роль играет и тепловая инерция, когда используются материалы с высокой теплоемкостью, способные накапливать тепло и медленно его отдавать, поддерживая стабильный микроклимат в помещении. Эти системы помогают значительно снизить потребность в искусственном отоплении и освещении, повышая энергоэффективность зданий и обеспечивая их устойчивость к внешним климатическим условиям.

Более подробно эффективность солнечного дома рассматривают авторы Брызгалин В. В. и Соловьев А. К. В своей работе они приводят в пример проект экодому SOLAR-K предназначенный для регионов до 60° с. ш. [2]. В доме предусмотрены следующие элементы: витраж в кровельной конструкции с остеклением; теплоотражающие жалюзи; окна в верхней части здания для освещения северных помещений вместо окон, выходящих на север; подсобные помещения на северной стороне. Как отмечают авторы, совокупность архитектурных решений позволила добиться около 50% потребности в тепле при температуре наружного воздуха -15°C . А с использованием активных солнечных систем – 80%. Такие значения показывают, что окупаемость такого дома, расположенного в городе Владивостоке, составит около 10 лет.

Вывод: Проектирование солнечных домов в условиях Владивостока, благодаря благоприятным природно-климатическим условиям региона, предоставляет уникальные возможности для эффективного использования солнечной энергии. Длительные солнечные периоды и высокая солнечная радиация, особенно в зимний период, позволяют существенно повысить энергоэффективность малоэтажных домов. Применение таких методов, как южная ориентация окон, использование теплоемких материалов и солнечных

фасадов, позволяет значительно снизить потребность в традиционном отоплении, повышая комфорт и устойчивость зданий к внешним климатическим условиям. В сочетании с активными солнечными системами, такие решения могут обеспечивать до 80% экономии энергии. Доказанная эффективность солнечных домов в городе Владивостоке, подтвержденная существующими проектами, делает их перспективным решением для региона.

Список литературы:

1. Казанцев П. А. Архитектурные решения жилых малоэтажных домов с солнечным отоплением для 40-50° Северной широты //Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. – 2010. – №. 2 (4). – С. 80–91.
2. Брызгалин В. В., Соловьев А. К. Использование пассивных систем солнечного отопления как элемента пассивного дома //Вестник МГСУ. – 2018. – Т. 13. – №. 4 (115). – С. 472–481.

Секция 8 - Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей

Куверин И.Ю., Гусев С.А., Блинов Д.Г. АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ НА ДОРОГАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Куверин Игорь Юрьевич, Гусев Сергей Александрович, Блинов Дмитрий Геннадьевич

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А. Кафедра «Организация перевозок, безопасность движения и сервис автомобилей», 410054, Приволжский федеральный округ, Саратовская область, г. Саратов, ул. Политехническая, д. 77.

Аннотация. Статья посвящена анализу дорожно-транспортных происшествий (ДТП) с участием средств индивидуальной мобильности (СИМ) в России за 9 месяцев 2024 года. Рассматриваются возрастные группы, типы нарушений, сезонность, мощность СИМ и другие факторы, влияющие на безопасность. На основе анализа данных формулируются рекомендации по повышению безопасности использования СИМ.

Ключевые слова: средства индивидуальной мобильности, электросамокаты, безопасность, дорожная инфраструктура, аварийность.

Средства индивидуальной мобильности стали неотъемлемой частью современной городской среды благодаря их удобству, экологичности и доступности. Однако растущая популярность СИМ сопровождается увеличением количества дорожно-транспортных происшествий. Актуальность данной темы связана с необходимостью разработки комплексных решений,

направленных на повышение безопасности пользователей СИМ и других участников дорожного движения.

Согласно данным научного центра БДД МВД России (рис. 1), количество ДТП с участием СИМ в последние годы демонстрирует устойчивый рост.



Рисунок 1 - Динамика основных показателей аварийности с участием СИМ

За 9 месяцев 2024 года в России произошло 3897 дорожно-транспортных происшествий (ДТП) с участием средств индивидуальной мобильности (СИМ), что на 47,2% больше по сравнению с аналогичным периодом 2023 года. Такая тревожная тенденция сопровождается значительным увеличением числа жертв и пострадавших.

— Погибшие: За 9 месяцев 2024 года в ДТП с участием СИМ погибло 44 человека, что на 41,9% больше, чем за аналогичный период прошлого года. Среди погибших 6 несовершеннолетних, что вызывает особую озабоченность.

— Раненые: В результате аварий с участием СИМ ранения получили 4 052 человека (+48,8% по сравнению с 2023 годом), среди которых 1 392 несовершеннолетних.

Анализ динамики аварий с участием СИМ за последние несколько лет показывает стремительный рост всех показателей. Если в 2018 году было зарегистрировано всего 35 таких происшествий, то к 2024 году этот показатель вырос почти до 3 900. Это свидетельствует о резком увеличении популярности СИМ, но, одновременно, и о значительных рисках, связанных с их использованием.

Особенно заметен скачок аварийности с 2020 года: количество ДТП выросло с 289 до 3 897 за четыре года. Количество погибших увеличилось с 10 человек в 2020 году до 44 в 2024 году, а число раненых — с 275 до 4 052 за тот же период.

На рис. 2 представлена статистика дорожно-транспортных происшествий (ДТП) с участием средств индивидуальной мобильности (СИМ) по регионам России.

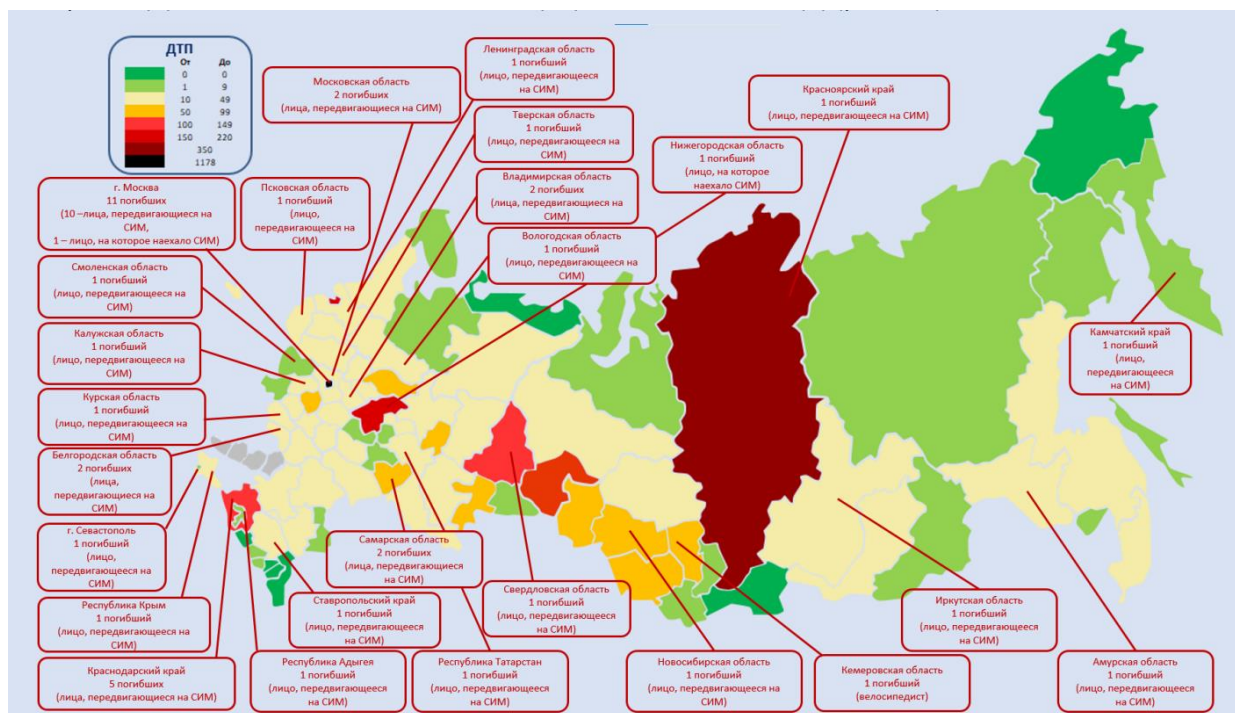


Рисунок 2 - Распределение ДТП с участием СИМ и погибших в них

Особое внимание уделено количеству зарегистрированных происшествий и числу погибших в них.

Наибольшее количество ДТП с участием СИМ зафиксировано в следующих регионах:

- Москва — 1178 происшествий;
- Красноярский край — 350 происшествий;
- Краснодарский край — 136 происшествий;
- Нижегородская область — 216 происшествий;
- Кемеровская область — 97 происшествий;
- Самарская область — 93 происшествия;
- Свердловская область — 117 происшествий;
- Тюменская область — 151 происшествие;
- Санкт-Петербург — 171 происшествие.

Эти регионы выделяются на карте насыщенными цветами, что указывает на высокий уровень регистрации подобных происшествий.

В некоторых ДТП с участием СИМ зафиксированы смертельные случаи. На карте указаны регионы, где погибли участники таких происшествий. Среди них:

- Москва — 11 погибших (10 из которых — лица, передвигавшиеся на СИМ, 1 — лицо, на которого наехало СИМ);
- Московская область — 2 погибших;
- Краснодарский край — 5 погибших;
- Нижегородская область — 1 погибший (лицо, на которого наехало СИМ);
- Санкт-Петербург — 1 погибший;
- Кемеровская область — 1 погибший (велосипедист).

Также летальные исходы зафиксированы в следующих регионах:
Красноярский край — 1 погибший;

Республика Адыгея — 1 погибший;
 Республика Крым — 1 погибший;
 Татарстан — 1 погибший;
 Камчатский край — 1 погибший;
 Свердловская область — 1 погибший;
 Смоленская область — 1 погибший;
 Тверская область — 1 погибший;
 Иркутская область — 1 погибший;
 Псковская область — 1 погибший;
 Самарская область — 2 погибших;
 Владимирская область — 2 погибших;
 Волгоградская область — 1 погибший;
 Белгородская область — 2 погибших.

Выводы:

На карте видно, что наибольшее количество ДТП с участием СИМ зафиксировано в крупных городах и густонаселённых регионах, таких как Москва, Санкт-Петербург, Красноярский и Краснодарский края. Это связано с высокой плотностью населения и активным использованием СИМ, в том числе электросамокатов, велосипедов и других мобильных средств передвижения.

Кроме того, в ряде регионов зафиксированы случаи смертельных исходов, что подчёркивает необходимость усиления мер безопасности на дорогах и повышения осведомлённости пользователей СИМ о правилах дорожного движения.

Анализ аварийности с участием средств индивидуальной мобильности (СИМ) показывает ярко выраженную сезонность. Наибольшие показатели аварийности фиксируются в тёплый период года, что связано с активным использованием данных средств передвижения. Рост количества ДТП с участием СИМ начинается в апреле, достигая пика в летние месяцы, а затем постепенно снижается к осени (рис. 3).

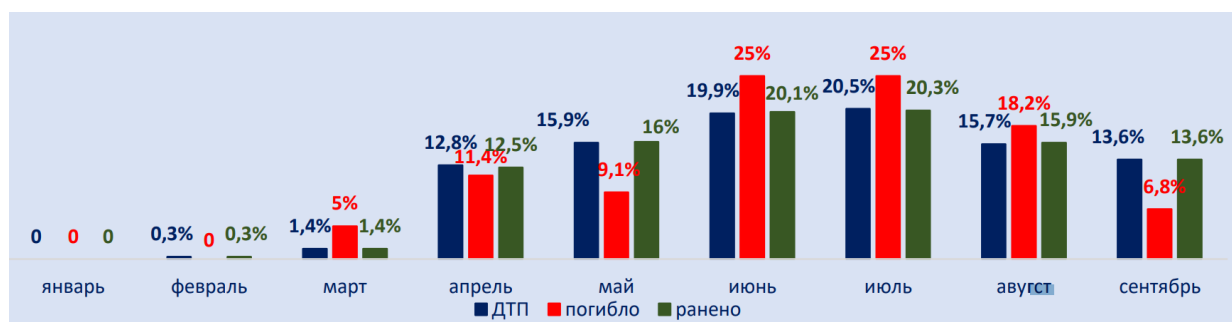


Рисунок 3 - Распределение показателей аварийности с участием СИМ по месяцам

Основные тенденции аварийности по месяцам.

- Январь – февраль: В зимние месяцы аварийность с участием СИМ практически отсутствует. Это объясняется низкими температурами,

неблагоприятными погодными условиями и, как следствие, минимальным использованием СИМ.

- Март: В марте фиксируется незначительный рост аварийности (1,4%), что связано с началом сезона использования СИМ в некоторых регионах.

- Апрель: В апреле наблюдается заметное увеличение ДТП с участием СИМ — 12,8%. Это связано с улучшением погодных условий и началом массовой эксплуатации данных средств.

- Май: В мае доля ДТП возрастает до 15,9%. Количество пострадавших (15,9%) и погибших (11,4%) также увеличивается, что свидетельствует о росте интенсивности использования СИМ.

- Июнь – июль: Летние месяцы характеризуются максимальными показателями аварийности. Наибольшая доля ДТП с участием СИМ фиксируется в июне (19,9%) и июле (20,5%). При этом июнь и июль также лидируют по числу погибших (по 25%). Высокая активность пользователей СИМ в этот период, а также интенсивное движение на дорогах способствуют увеличению риска аварий.

- Август: В августе показатели аварийности начинают снижаться, но остаются относительно высокими: 18,2% ДТП. Число раненых составляет 15,7%, а погибших — 9,5%.

- Сентябрь: В сентябре наблюдается дальнейший спад аварийности (13,6%). Это связано с окончанием активного сезона использования СИМ из-за ухудшения погодных условий.

На основании представленных данных можно сделать вывод, что аварийность с участием СИМ имеет ярко выраженный сезонный характер. Пик аварийности приходится на летние месяцы — июнь и июль, когда наблюдается максимальное количество ДТП, погибших и пострадавших. Основной причиной такой сезонности является активное использование СИМ в тёплое время года.

Проанализируем распределение числа ДТП с участием средств индивидуальной мобильности (СИМ) на различных объектах улично-дорожной сети. Средства индивидуальной мобильности (СИМ) все чаще становятся участниками дорожно-транспортных происшествий (ДТП), что связано с активным использованием этих транспортных средств в городах. Данные, представленные на рис. 4, показывают распределение ДТП с участием СИМ в зависимости от объектов улично-дорожной сети.



Рисунок 4 - Удельный вес ДТП с участием СИМ в зависимости от объекта улично-дорожной сети, на котором зарегистрировано происшествие (%)

Наибольшее количество ДТП с участием СИМ зафиксировано на тротуарах, пешеходных дорожках и пешеходных зонах — 34,2%. Это свидетельствует о том, что даже в зонах, предназначенных для передвижения пешеходов, возникает значительное количество аварий.

На втором месте по числу аварий находятся места пересечения проезжей части, не оборудованные регулируруемыми пешеходными переходами (14,9%). Это может указывать на то, что многие пользователи СИМ выбирают для пересечения дорог не самые безопасные места.

Регулируемые пешеходные переходы, несмотря на наличие сигналов для организации движения, также являются местом концентрации ДТП — 7,2% происшествий произошло именно на этих участках. Это подчеркивает необходимость повышения внимательности как со стороны водителей, так и пользователей СИМ при пересечении дорог.

Другие значимые места аварий включают выезды с прилегающих территорий (8,9%), внутридворовые территории (8,4%) и нерегулируемые пешеходные переходы (7,1%).

Анализ данных показывает, что значительное количество ДТП с участием СИМ происходит на пешеходных зонах и тротуарах, которые традиционно считаются безопасными для передвижения. Это требует пересмотра подходов к регулированию движения СИМ, ужесточения контроля за их использованием и, возможно, введения дополнительных ограничений для повышения безопасности пешеходов и самих пользователей СИМ.

Согласно приведенным данным, в 33,4% случаев СИМ принадлежали физическим лицам, а в 66,3% — хозяйствующим субъектам, в большинстве случаев предоставляющим услуги краткосрочной аренды. Это подчеркивает значительное участие сервисов проката в общем количестве ДТП с СИМ.

При этом в 124 случаях (примерно 3,2% от общего числа ДТП с СИМ) лица, управлявшие этими средствами, находились в состоянии опьянения или отказались от медицинского освидетельствования. В этих происшествиях

погибли 4 человека и 122 получили ранения. Данные лица были виновниками в 85,5% таких случаев, что указывает на необходимость усиления контроля за соблюдением правил управления СИМ, особенно в условиях аренды.

Согласно статистике, большинство травм приходится на падения и столкновения с другими транспортными средствами (рис. 4). Основные причины:

- отсутствие средств защиты (шлемов, наколенников);
- неспособность пользователей справляться с управлением на высоких скоростях;
- игнорирование правил дорожного движения.

Наиболее распространенные травмы — черепно-мозговые повреждения, переломы и ушибы.

На основе представленных данных (рис. 5) можно сделать важные выводы о распределении аварийности с участием средств индивидуальной мобильности (СИМ) в зависимости от мощности их электродвигателей.

В половине (49,9%) дорожно-транспортных происшествий (ДТП) участвовали СИМ с электродвигателем мощностью от 0,25 до 4 кВт. На эти происшествия приходится значительная часть погибших — 70,5%, а также 50,5% пострадавших. Эти данные свидетельствуют о том, что СИМ с такой мощностью двигателя представляют большую угрозу для жизни участников движения, что, возможно, связано с их более высокой скоростью по сравнению с менее мощными средствами передвижения.

В другой половине происшествий (49,6%) участвовали СИМ с электродвигателем мощностью до 0,25 кВт. На них приходится почти треть погибших (29,5%) и почти половина раненых (49,1%). Это указывает на то, что, несмотря на меньшую мощность и, как следствие, меньшую скорость данных транспортных средств, риск получения травм для их пользователей остается высоким, что может быть связано с отсутствием защиты и низкой устойчивостью таких средств к ударам и столкновениям.

Интересно отметить, что в ДТП с участием СИМ с мощностью двигателя свыше 4 кВт было зафиксировано минимальное количество происшествий (0,1%), в которых 3 человека получили ранения. Это может свидетельствовать о том, что такие транспортные средства реже используются в условиях, где возможны аварии, либо их пользователи более осторожны на дорогах.

Таким образом, данные указывают на необходимость повышенного внимания к безопасности СИМ с электродвигателями средней мощности (от 0,25 до 4 кВт), так как на них приходится наибольшая доля как погибших, так и раненых в ДТП.

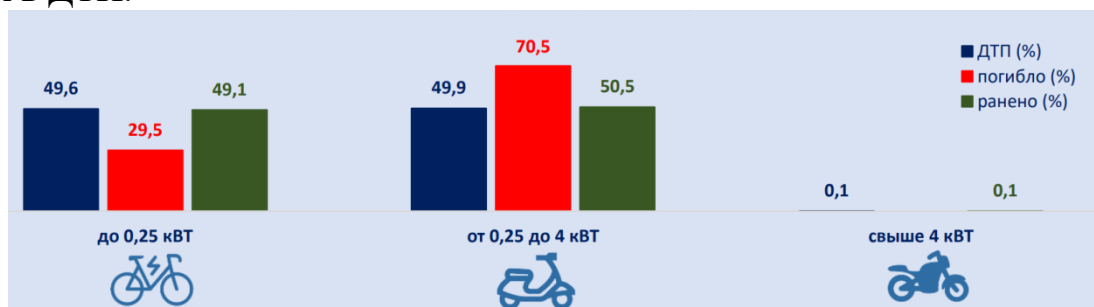


Рисунок 5 - Распределение показателей аварийности в зависимости от мощности электродвигателя

Проблемы регулирования и инфраструктуры.

Отсутствие четкого регулирования.

На момент составления анализа законодательство по использованию СИМ в России остается недостаточно проработанным. Основные проблемы:

- отсутствие обязательной регистрации и страхования;
- недостаточная ответственность владельцев СИМ за нарушение правил дорожного движения;
- неопределенность разрешенных мест для движения (тротуары, проезжая часть, велосипедные дорожки).

Недостаточная инфраструктура.

Городская среда не адаптирована под использование СИМ. Недостаточное количество выделенных дорожек и парковочных зон приводит к хаотичному движению и создает угрозу для других участников движения.

Рекомендации по снижению аварийности.

Введение законодательных норм.

Для обеспечения безопасности пользователей СИМ необходимо:

- ограничить максимальную скорость движения (например, до 25 км/ч);
- ввести обязательное использование средств защиты (шлемов, наколенников);
- разработать правила движения для СИМ с учетом их технических характеристик.

Развитие инфраструктуры.

Создание выделенных дорожек для СИМ, организация парковочных зон и улучшение освещения на улицах позволят снизить вероятность столкновений.

Образовательные кампании.

Повышение осведомленности пользователей о правилах дорожного движения и важности использования защитного снаряжения является важным шагом в снижении аварийности. Необходимо проводить массовые информационные кампании, лекции в школах и университетах, а также распространять материалы о правилах безопасного использования СИМ через социальные сети, мобильные приложения и медиа.

Технические меры.

Производители СИМ должны внедрять функции, повышающие безопасность:

- ограничители скорости на уровне программного обеспечения;
- системы предотвращения столкновений, например, датчики близости;
- улучшенные системы торможения и устойчивости устройства.

Таким образом, рост популярности средств индивидуальной мобильности требует комплексного подхода к решению проблемы обеспечения безопасности. Анализ статистических данных показывает, что основными причинами аварийности являются человеческий фактор, недостатки инфраструктуры и отсутствие законодательных норм. Для снижения числа ДТП с участием СИМ

необходимо сочетание нескольких направлений: разработка четких правил эксплуатации, модернизация городской инфраструктуры, повышение осведомленности пользователей и внедрение технических инноваций. Только комплексные меры позволят минимизировать риски для всех участников дорожного движения и сделать использование СИМ безопасным и эффективным.

Список литературы

1. Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации за 9 месяцев 2024 года. Информационно-аналитический обзор. М.: ФКУ «НЦ БДД МВД России», 2024. - 41 с.

Яшнов А.Н., Руденко С.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ПОЯВЛЕНИЯ ТРЕЩИН В СТЕНКАХ КОРОбЧАТЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ ИЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

Яшнов Андрей Николаевич, Руденко Сергей Анатольевич
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения»
(СГУПС), ул. Д. Ковальчук, 191, г. Новосибирск, Россия

Аннотация. Железобетонные пролетные строения с предварительным натяжением арматуры получили широкое распространение в мостостроении как в России, так и за рубежом при перекрытии больших и внеклассных пролетов. При этом технология их сооружения предполагает применение как навесной сборки, так и бетонирование в навес. При этом уже в процессе сооружения могут появляться горизонтальные и наклонные трещины в стенках балок, снижающие долговечность конструкций. Целью данной работы является изучение причин появления трещин в стенках коробчатых пролетных строений из предварительно напряженного железобетона (ПНЖБ) для предотвращения их появления и развития. Для достижения поставленной цели решены следующие задачи: анализ результатов обследования пролетных строений с трещинами, составление конечно-элементной модели (КЭ-модели), проведение численного эксперимента на модели, разработка рекомендаций по конструированию коробчатых балок из ПНЖБ.

Ключевые слова: мост, пролетное строение, коробчатые балки, преднапряжение, КЭ-модель, армирование.

Коробчатые пролетные строения – основной конструктивный тип для перекрытия больших и внеклассных пролетов предварительно напряженными железобетонными конструкциями (ПНЖБ). Монтаж таких пролетных строений осуществляют полунавесной и навесной сборкой или бетонированием. Установка и натяжение верхней рабочей арматуры в блоке производится после приведения его в проектное положение и устройства поперечных швов. Арматура устанавливается в соответствии с эпюрой материалов. Вследствие

поэтапной сборки в блоках пролетного строения возникает увеличение усилия преднапряжения за счет натяжения новых пучков арматуры. Замыкание противоположных консолей пролетного строения производится путем бетонирования монолитного замыкающего блока, после чего система моста из консольной становится балочно-неразрезной с соответствующим изменением распределения усилий.

Как свидетельствует опыт строительства таких мостов и их обследования при приемке в эксплуатацию, стенки коробчатых балок подвержены трещинообразованию уже на этапе строительства. В качестве примеров неразрезных балочных пролетных строений рассмотрены сборные конструкции Мызинского моста через р. Оку в г. Нижнем Новгороде и монолитные конструкции Академического моста через р. Ангару в г. Иркутске.

Мост через р. Оку в г. Нижнем Новгороде (рис. 1) был построен в 1972-1981 годах и имеет схему $(28,5+85,0+6 \times 128,0+85,0+28,5)$ м [1]. В поперечном сечении пролетное строение составлено из двух коробчатых балок, объединенных по плите проезжей части монолитным швом. Монтаж пролетного строения выполнен методом уравновешенной сборки с применением монтажного агрегата. Объединение блоков осуществлялось посредством клеевых стыков с обжатием с помощью рабочей и монтажной арматуры. Объединение «птичек» выполнено монолитными клиновидными стыками с обеспечением строительного подъема. Блоки пролетных строений изготовлены методом «торец в торец» на специально изготовленных стендах длиной, равной длине «птичек».



Рисунок 1 – Мызинский мост через р. Оку в г. Нижнем Новгороде

Мост через р. Ангару в г. Иркутске (рис. 2) выполнен в монолитном железобетонном исполнении с русловым пролетным строением неразрезной системы по схеме $(84,0+4 \times 105,0+84,0)$ м отдельно в двух направлениях и сдан в эксплуатацию в 2008 году [2]. Шестипролетная балка коробчатого сечения имеет переменную высоту сечения от 3,0 м в середине пролета до 6,0 м над промежуточными опорами.



Рисунок 2 – Академический мост через р. Ангару в г. Иркутске

При обследовании этих мостов специалистами СГУПС было отмечено развитие наклонных и горизонтальных трещин в стенках коробчатых балок раскрытием более 0,2 мм. Картина трещин показана на рис. 3 и 4 [1, 2].

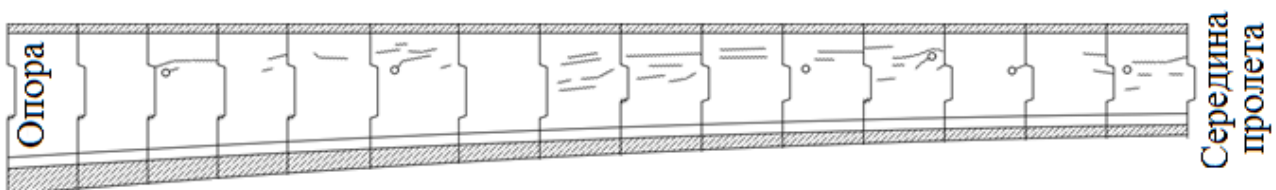


Рисунок 3 – Характерная картина трещин в стенках блоков коробчатого сечения на Мызинском мосту через р. Оку в г. Нижнем Новгороде

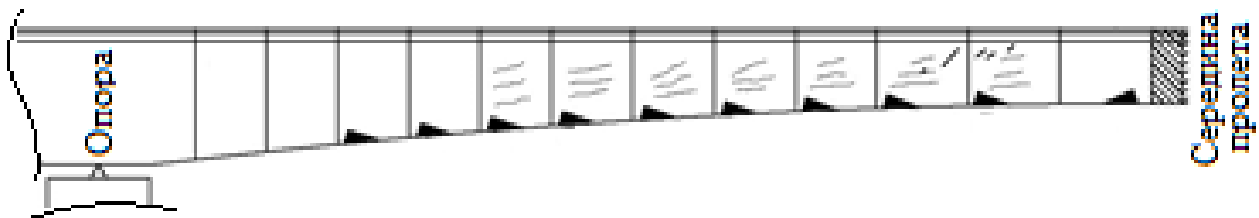


Рисунок 4 – Характерная картина трещин в стенках блоков коробчатого сечения на Академическом мосту через р. Ангару в г. Иркутске

Заметим, что аналогичные трещины были отмечены и в других большепролетных конструкциях с применением предварительного натяжения арматуры, например, в рамно-подвесных конструкциях Коммунального моста через р. Каму в г. Перми (рис. 5), введенного в эксплуатацию в 1967 году [5]. Мост в русловой части состоит из четырех Т-образных рам с консолями длиной 41,7 м и подвесными пролетами по 43,4 м, что обеспечивает перекрытие русловых пролетов длиной 127 м. Сразу после сдачи моста в эксплуатацию было отмечено развитие трещин на концевых участках ригелей под углом 25° – 35° к горизонту (большее значение соответствует трещинам, начинающимся на конце консоли) и распространяющимся на длине до 10 м к опорам и на высоту до 2 м

от низа плиты проезжей части. Отдельные трещины переходят в вут и в верхнюю плиту. Шаг трещин для наиболее дефектных блоков составляет 20 – 50 см [4].

Естественно, что появление и развитие таких трещин в проектах не было предусмотрено, что позволяет сделать вывод о наличии определенных неточностей в общепринятых методах расчетов, не позволивших своевременно выявить проблему и предпринять меры для ее решения. Конечно, такие трещины не могут оказать существенного влияния на грузоподъемность, но могут стать «триггером» развития коррозии из-за проникновения влаги к арматурным пучкам и существенно снизить долговечность.

Было сделано предположение, что трещины возникают в результате неучета особенностей работы стенок коробчатых балок при передаче усилия преднапряжения верхних пучков арматуры на конструкцию. Проиллюстрируем это простым примером напряженно-деформированного состояния пластины, как элемента стенки коробчатой балки пролетного строения.



Рисунок 5 – Коммунальный мост через р. Каму в г. Перми

Для анализа напряженно-деформированного состояния стенки балки коробчатого сечения составим расчетную схему «фрагмент пластины», представленную на рис. 6. Там же показана КЭ-модель, созданная в программном комплексе Midas Civil из плитных конечных элементов. Модель имеет консольное закрепление, нагрузки и параметры фрагмента стенки приняты аналогично осуществленному проекту Академического моста через р. Ангару. Полученная по результатам расчета картина распределения напряжений показана на рис. 7.

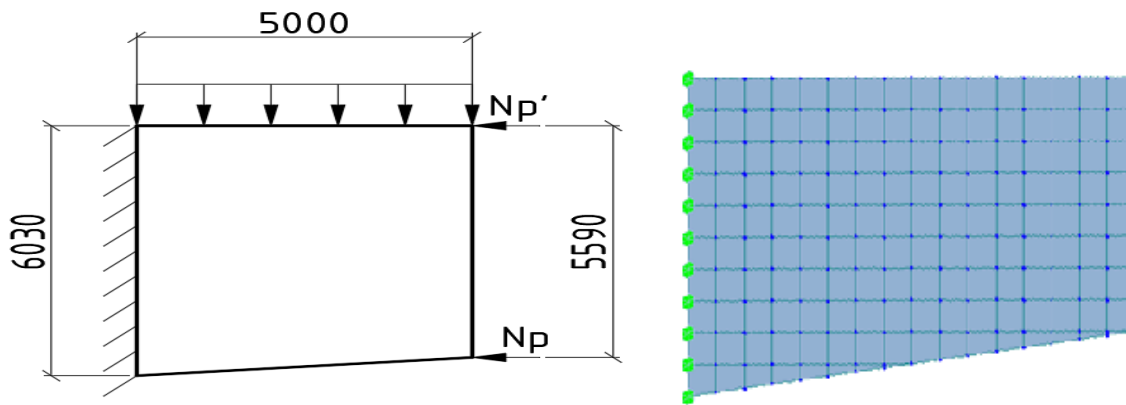


Рисунок 6 – Расчетная схема и КЭ-модель

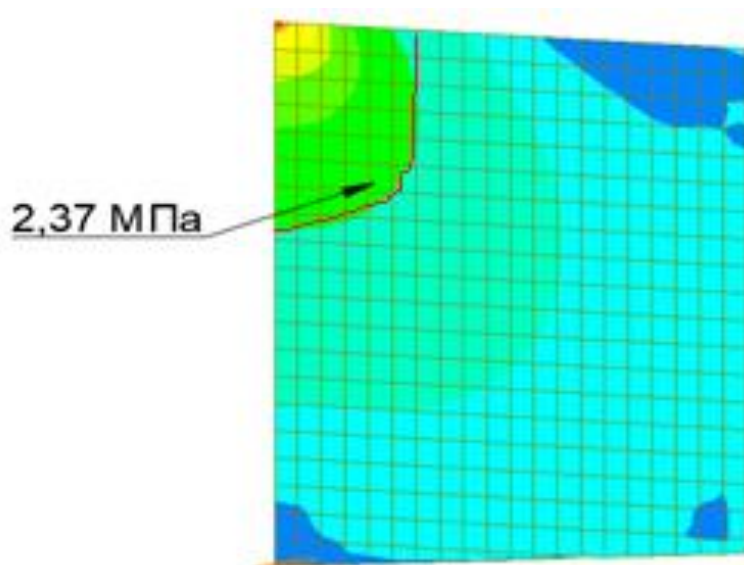


Рисунок 7 – Главные растягивающие напряжения в стенке балки

Проверка по образованию трещин от возникающих растягивающих напряжений в соответствии с действующими нормами [5] не выполняется, что приводит к образованию трещин. Таким образом, на определенных стадиях натяжения арматуры при сооружении таких конструкций неминуемо будут образовываться горизонтальные и наклонные трещины в стенках коробчатых балок.

Решением проблемы возникновения подобных трещин будет расчет с учетом стадийности при строительстве таких конструкций и, в соответствии с этим, предпринятые при конструировании меры.

Для повышения трещиностойкости предлагается применять в конструкции преднапряжение вертикальной арматуры (рис. 8), однако в качестве более дешевого варианта решения проблемы стоит точно добавить в конструкцию дополнительную арматуру в области образования трещин (рис. 9).

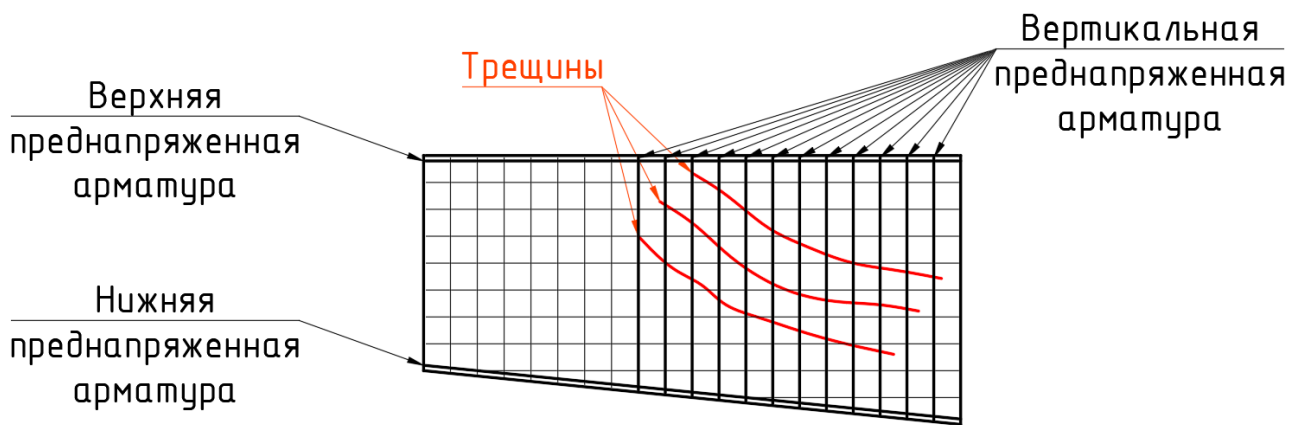


Рисунок 8 – Схема применения преднапряжения вертикальной арматуры

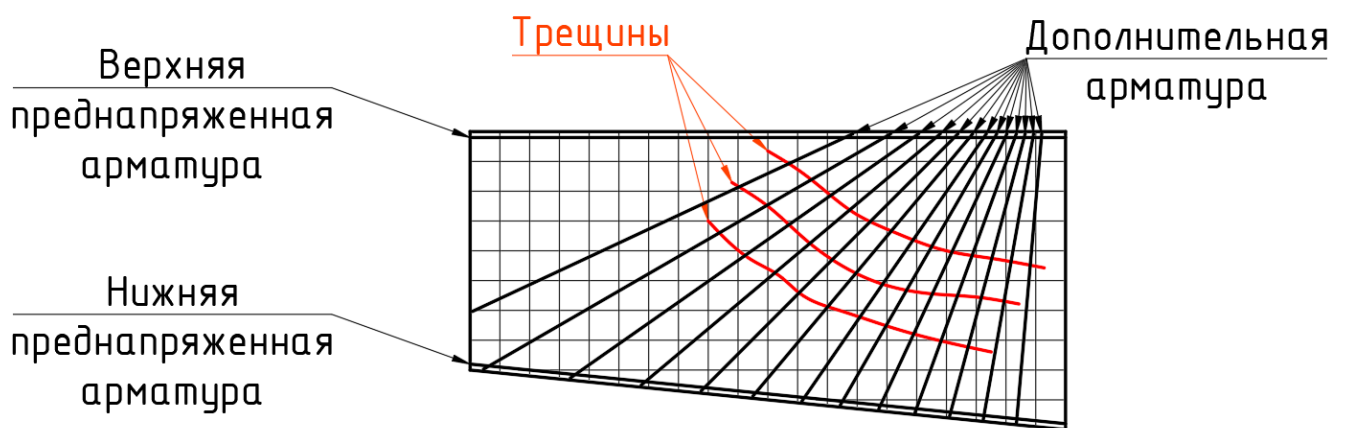


Рисунок 9 – Схема применения дополнительной арматуры в области трещин

Заключение.

Можно отметить, что после 2008 года, когда был сдан в эксплуатацию Академический мост в г. Иркутске, большепролетных сооружений из предварительно напряженного железобетона в России не строили. Однако в связи с разработкой проектов высокоскоростных железнодорожных магистралей Санкт-Петербург – Москва, Москва – Казань и др., такие конструкции могут оказаться востребованными и конкурентно способными. Например, в работе [6] показано, что коробчатые пролетные строения с пролетами более 100 м имеют преимущества перед металлическими конструкциями по своим динамическим параметрам при высокоскоростном движении.

Изучив конструктивные решения в существующих ПНЖБ пролетных строений, технологию их сооружения, а также проанализировав действующую методику расчета, были предложены варианты решения проблемы возникновения трещин:

- расчет конструкции с учетом стадийности преднапряжения арматуры;
- увеличение трещиностойкости посредством установки дополнительной арматуры в области образования трещин.

Таким образом, учитывая особенности образования силовых трещин при расчетах и конструировании, можно создавать надежные пролетные строения из ПНЖБ больших пролетов, в том числе и при строительстве ВСМ.

Список литературы.

1. Технический отчет по результатам обследования технического состояния строительных конструкций и испытания искусственного дорожного сооружения «Мызинский мост» через реку Ока в городе Нижнем Новгороде. Том 1 / СибНИТ – Новосибирск, 2017. - 142 с.
2. Заключение по результатам обследования и испытания моста через реку Ангара низового направления (2-й пусковой комплекс) / Наука-Транспорт – Иркутск, 2008. 71 с.
3. Отчет по экспериментально-исследовательским работам на мосту через р. Кама в г. Перми / НИИЖТ – Новосибирск, 1967. - 102 с.
4. Отчет о научно-исследовательской работе «Обследование моста через реку Кама в городе Перми» / ПГТУ – Пермь, 1997. - 94 с.
5. СП 35.13330.2011 Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84* Мосты и трубы.
6. Михайлов И.И., Яшнов А.Н. К вопросу о выборе типа мостовых сооружений для высокоскоростной железнодорожной магистрали // Фундаментальные и прикладные вопросы транспорта. 2024. № 3(14). С. 71-79.

Ковба Н.С., Могильная Ю.О., Умиров Е.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ (ДОРОГ, ТУННЕЛЕЙ, МОСТОВ) В УСЛОВИЯХ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

¹Ковба Никита Сергеевич, ²Могильная Юлия Олеговна, ³Умиров Елисей Александрович

¹Высшая школа энергетического и гидротехнического строительства, Санкт – Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт – Петербург, Российская Федерация

²Московский государственный строительный университет, Москва, Российская Федерация

³Нижевартовский строительный колледж, Нижневартовск, Российская Федерация

Аннотация. Статья исследует внедрение BIM-технологий в строительство линейных объектов на территории Дальневосточного федерального округа России, где реализация инфраструктурных проектов осложняется сложными климатическими и геологическими условиями. В работе рассматриваются ключевые проблемы, связанные с использованием BIM для проектирования дорог, мостов и туннелей, а также предлагаются пути их решения.

Цель данной статьи заключается в изучении ключевых аспектов модификации и развития существующих отечественных программных продуктов и инструментов для строительной отрасли.

Научная значимость исследования состоит в проведении комплексного анализа и систематизации знаний о развитии отечественных программных решений. Полученные материалы могут стать основой для выбора подходящих программных продуктов для применения на строительных объектах, а также для решения различных методологических задач в строительстве линейных объектов.

Акцент сделан на использовании специализированного программного обеспечения, улучшении интеграции с геоинформационными системами и необходимости создания адаптированных нормативных документов. Одним из примеров успешного применения BIM-технологий является проект строительства Центральной кольцевой автодороги (ЦКАД-4), М-12, М-3 Украина, где использование BIM позволило улучшить качество проектирования, ускорить строительство и повысить координацию между участниками проекта. Работа подтверждает высокую эффективность применения BIM в условиях сложных природных и инфраструктурных задач.

Ключевые слова: строительство; BIM; линейные объекты; информационное моделирование; эксплуатация объектов.

Введение

Развитие транспортной инфраструктуры Дальневосточного федерального округа является одним из приоритетных направлений государственной политики России, направленной на укрепление экономических связей и повышение качества жизни в регионе. Строительство линейных объектов в условиях Дальнего Востока сопряжено с рядом специфических вызовов, включая сложные климатические условия, такие как землетрясения, вулканизм и многолетняя мерзлота, труднодоступность территорий и ограниченность строительного сезона [1]. К тому же, сложное геологическое строение и наличие тектонических разломов лишь усложняют процесс строительства [2]. В этих условиях строительство линейных объектов, таких как дороги, мосты и туннели, требует инновационных подходов, которые обеспечат эффективность, качество и устойчивость построенной инфраструктуры, а также особый подход к мониторингу на этапе эксплуатации.

Одним из таких подходов является использование BIM-технологий (Building Information Modeling). BIM позволяет создавать цифровые модели объектов, учитывающие особенности рельефа, климата, геологии и другие факторы, характерные для сложных условий Дальнего Востока. Благодаря интеграции данных и автоматизации процессов, BIM значительно повышает эффективность и качество проектирования, оптимизирует затраты, позволяя получать существенные экономические преимущества от интеллектуального строительства [3].

В последнее десятилетие технологии информационного моделирования (BIM) получили широкое распространение в сфере гражданского строительства,

демонстрируя значительное повышение эффективности при проектировании и возведении зданий различного назначения [4]. Но несмотря на очевидные преимущества BIM-технологий, их внедрение в сфере строительства линейных объектов происходит значительно медленнее [5]. В данной статье разберем трудности использования BIM для строительства линейных объектов, пути их преодоления и приведем пример успешного внедрения данных технологий в России и за рубежом.

Материалы и методы

Для изучения актуальности применения технологий информационного моделирования (BIM) в области эксплуатации зданий и сооружений в данной статье использован комплексный подход, основанный на следующих методах:

1. Анализ существующих решений и практик: исследование включает подробный анализ доступных BIM-технологий, применяемых для строительства линейных объектов. Рассматриваются особенности программного обеспечения, функциональные возможности, их ограничения, а также реальные примеры их. Анализ позволяет выявить текущее состояние отрасли, а также основные пробелы в использовании BIM для линейного строительства.

2. Изучение научной и технической литературы: поиск по базам данных Web of Science (WoS) и Scopus, РИНЦ. Так, в работе используются материалы таких авторов: Талапов В.В., Астраханцев В.Д., Логвинов П.Р., Грушковский П.А., и других.

3. Обобщение собранных данных: на основе анализа и изучения литературных источников проводится обобщение ключевых факторов, влияющих на эффективность использования BIM в эксплуатации.

Результаты и обсуждение

BIM (Building Information Modeling) представляет собой технологию информационного моделирования, которая позволяет создавать и управлять цифровыми моделями объектов на всех этапах их жизненного цикла — от проектирования до эксплуатации и сноса [4]. В BIM-моделях интегрируются данные о геометрии, материалах, инженерных системах, стоимости и сроках реализации проекта. Эта технология широко применяется в гражданском строительстве, где позволяет оптимизировать проектирование, минимизировать риски, контролировать затраты и сроки, а также улучшать качество конечного результата [6].

Гражданское строительство стало наиболее благоприятной сферой для внедрения BIM, поскольку большинство зданий и сооружений имеют компактные размеры и сравнительно простую структуру данных. Высокая детализация моделей помогает выявлять возможные коллизии между различными системами, прогнозировать ресурсы и создавать четкий план реализации проекта. Так, например, в Московском автодорожном институте, была рассмотрена возможность применения IndorCAD 10, для поиска коллизий. [7]. Несмотря на это, линейное строительство, включающее дороги, мосты, туннели и железнодорожные пути, использует BIM-технологии реже.

Причиной этого являются несколько факторов. Линейные объекты отличаются значительной протяженностью и сложными условиями реализации,

большая протяженность выделенных моделей, которые требуют учета большого количества данных о рельефе, геологии, климате и экологии. Это создает дополнительные трудности для интеграции всех параметров в единую модель [8]. Для работы с линейными проектами существует специализированное программное обеспечение, такое как Civil 3D или InfraWorks, но его функционал зачастую менее развит, чем у решений для гражданского строительства [9]. Это приводит к тому, что компании вынуждены использовать разное ПО для реализации сложных участков с целью их дальнейшего объединения в единую модель. Это вызывает дополнительные сложности и риски потери данных при переносе.

Еще одной преградой становится высокая стоимость внедрения BIM в линейное строительство. Создание детализированных цифровых моделей требует значительных затрат на оборудование, программное обеспечение, лазерное сканирование или использование дронов для съемки труднодоступных участков [10]. Эти расходы особенно тяжело оправдать для проектов с ограниченным бюджетом или в удаленных регионах.

Дополнительной сложностью является нехватка квалифицированных специалистов, способных работать с BIM для линейных объектов [11]. Эти проекты требуют более глубоких знаний и опыта, что затрудняет их реализацию в условиях кадрового дефицита, особенно в регионах с низкой доступностью квалифицированной рабочей силы.

Для преодоления трудностей внедрения BIM в линейное строительство в России необходимо сосредоточиться на нескольких ключевых направлениях. Во-первых, важным шагом является создание нормативной базы [12], которая обеспечит унификацию и стандартизацию процессов применения BIM в линейном строительстве. На сегодняшний день в России существует дефицит четких нормативных документов, которые бы регламентировали использование BIM на всех этапах — от проектирования до эксплуатации. Это приводит к несоответствию различных программных решений с требованиями национальных стандартов и затрудняет внедрение новых технологий в строительную практику. Разработка таких стандартов и методик, с учетом отечественного опыта и потребностей в линейном строительстве, создаст основу для эффективного внедрения BIM и ускорит процесс адаптации программных продуктов под российские реалии.

Далее необходимо развивать специализированное программное обеспечение, которое могло бы учитывать все особенности линейных объектов, таких как дороги, мосты и туннели. Существующие решения, такие как Autodesk Civil 3D, InfraWorks, Bentley OpenRoads и Trimble Quadri, активно применяются, но имеют ряд ограничений, которые затрудняют их эффективное использование в сложных и протяженных проектах, таких как те, которые реализуются на Дальнем Востоке России. Одной из основных проблем является недостаточная интеграция с геоинформационными системами (ГИС) и ограниченные возможности обработки данных о сложном рельефе и геологии [13]. Линейные объекты часто проходят через труднодоступные и географически сложные территории, что требует работы с большими объемами данных, собранных с

помощью таких технологий, как LiDAR, аэрофотосъемка и другие методы дистанционного зондирования. Однако существующие BIM-решения не всегда эффективно обрабатывают эти данные, что снижает точность и детализацию моделей, особенно при проектировании в условиях многолетней мерзлоты, сложных грунтов или сейсмически активных зон. Для решения этого необходимо создать ПО, которое бы обеспечивало лучшую интеграцию с ГИС и было бы способно работать с такими данными, как снимки спутников и 3D-сканирование местности.

Кроме того, современные BIM-решения российского ПО недостаточно развиты для эксплуатации объектов в реальном времени. Линейные объекты требуют постоянного мониторинга состояния на протяжении всего срока службы. Однако большинство существующих программных продуктов для BIM ориентированы на проектирование и строительство, а не на эксплуатацию. Это приводит к тому, что для эффективного мониторинга, планирования ремонтных работ или прогнозирования износа приходится использовать отдельные системы, не интегрированные с BIM-моделями. Для эффективной эксплуатации объектов необходимо внедрить технологии создания цифровых двойников объектов, которые могли бы работать в связке с сенсорами и другими инструментами мониторинга состояния, такими как IoT. Это потребует не только создания дополнительных модулей для обработки данных с сенсоров, но и разработки платформ для хранения и анализа больших объемов данных о состоянии объектов. Цифровые двойники помогут контролировать состояние инфраструктуры в реальном времени, прогнозировать потенциальные проблемы и планировать ремонтные работы заранее, что особенно важно в условиях суровых климатических и географических особенностей Дальнего Востока.

Так, например, для эффективной эксплуатации линейных объектов строительства можно использовать следующие инструменты:

– *Волоконно – оптические датчики (ВОД)*: в основном применяются для мониторинга мостов, на рисунке 1 можно увидеть принцип работы таких датчиков [14]. Такие датчики встроены в несущие элементы конструкции и измеряют деформацию, напряжение или вибрации. ВОД и волоконно-оптические измерительные системы (ВОИС) могут иметь распределенные структуры, устойчиво работать в течение длительного времени в неблагоприятных условиях экстремальных температурах, давлениях, электромагнитных воздействиях, в радиационных, токсичных или агрессивных средах, мало влияющих на оптические волокна [15]. На мостах сенсоры фиксируют изменения напряжения в кабелях под воздействием веса проезжающего транспорта. Если данные выходят за пределы нормы, система отправляет уведомление операторам через BIM. Данная технология применена для эксплуатации моста Чжанцзян в Китае. На этом мосту внедрена система мониторинга с использованием волоконно-оптических датчиков для измерения напряжений, деформаций и вибраций. Волоконно-оптические сенсоры интегрированы с BIM-моделью, которая обновляется в реальном времени. Данные о нагрузках и температуре передаются в единую информационную систему, позволяя оперативно обнаруживать потенциальные дефекты [16].

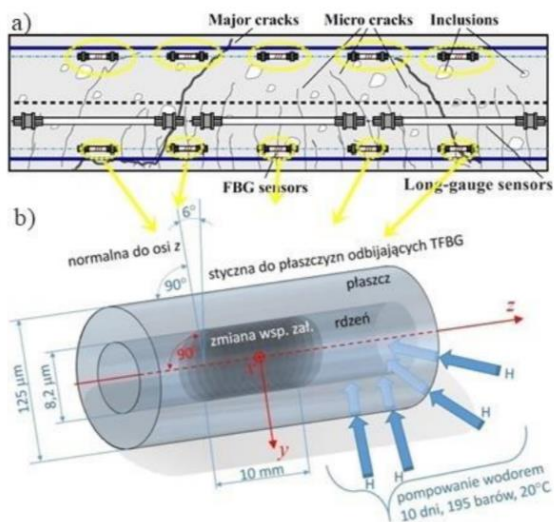


Рисунок 1 - Пример работы ВОД.

– *Беспроводные сенсоры*: используются для отслеживания температуры, влажности, нагрузки или углов наклона в реальном времени. Так, например, на объектах устанавливаются датчики угла наклона – инклинометры (рисунок 2). Они подключены к платформам IoT (Internet of things), что обеспечивает мгновенную передачу данных в модель BIM. Данная технология отлично работает в связке с Dynamo и Revit. Такой пример использования можно увидеть в эксплуатации международного аэропорта Хельсинки-Вантаа в Финляндии, однако данную технологию можно успешно применять и в линейных объектах. Здесь BIM используется для управления эксплуатацией инфраструктуры, включая системы HVAC (англ. Heating, ventilation, and air conditioning) [17], и несущими конструкциями. Система на базе Dynamo и Revit объединяет данные о состоянии инженерных систем с датчиков (температуры, влажности). IoT (интернет вещей) – собирает информацию, преданную сенсорами, которые отслеживают нагрузки на несущие колонны и перекрытия. В результате уменьшаются затраты на обслуживание за счет прогнозного анализа данных.



Рисунок 2 - Сенсор-инклинометр с беспроводным интерфейсом [18].

Кроме того, существует проблема в современных условиях технологических санкций возникает целый ряд рисков, связанных с их использованием. Так, к примеру, поставщики аппаратного обеспечения

перестают принимать оплату для продления лицензии ввиду приостановки работы иностранных ИТ-компаний на территории Российской Федерации. Другие разработчики иностранного программного обеспечения приостанавливают продажи своих продуктов, его поддержку и обновления. Вместе с этим наблюдаются нарушения и в логистических цепочках, что значительно затрудняет поиск заменителей оборудования [19].

Наконец, для преодоления этих ограничений необходимо активно развивать облачные платформы и системы для совместной работы. В крупных инфраструктурных проектах важно, чтобы все участники — от проектировщиков до подрядчиков и служб эксплуатации — могли работать с единой моделью и обмениваться данными в реальном времени. Многие существующие BIM-платформы не обеспечивают такого уровня интеграции, что приводит к разрозненности данных и увеличивает риски ошибок. Поэтому развитие облачных технологий и платформ для централизованного обмена данными и координации участников проекта является важным шагом для повышения эффективности использования BIM в линейном строительстве.

Внедрение BIM в линейное строительство в России требует комплексного подхода, включая создание нормативной базы, разработку специализированного программного обеспечения, локализацию технологий под российские условия, интеграцию с современными системами мониторинга и облачными платформами. Только при решении этих задач можно создать эффективную и устойчивую систему для проектирования, строительства и эксплуатации линейных объектов в условиях сложных природных и географических условий.

В России уже положен старт использованию BIM-технологий для линейных объектов, и существует ряд успешных примеров их внедрения, что позволяет оценить значительный потенциал этих технологий в области дорожного строительства. Одними из таких примеров являются проекты «ЦКАД-4», М-12 «Восток», М-3 «Украина», реализуемые строительным холдингом «Автобан». Эти проекты стали важным этапом в применении BIM в линейном строительстве, так как это первые крупные примеры использования BIM-технологий в таких масштабных проектах, как строительство федеральных трас.

Строительно-инвестиционный холдинг «Автобан» является одним из ведущих игроков на рынке дорожно-строительных работ в России. Компания участвует в проектировании и строительстве ключевых объектов инфраструктуры, таких как федеральные трассы М3 «Украина», М4 «Дон», М5 «Урал», М7 «Волга», а также в реконструкции Центральной кольцевой автодороги (ЦКАД). Для строительства ЦКАД-4, которое началось в 2019 году, холдинг впервые использовал BIM-технологии на столь масштабном линейном объекте [20].

Вместе с компанией Айбим, «Автобан» разработал единую информационную модель объекта, включающую модели местности, линейных участков, инженерных коммуникаций и искусственных сооружений. Для создания этой BIM-модели использовались как зарубежные программные продукты, такие как AutoCAD, Autodesk Revit, Autodesk Civil 3D, Autodesk InfraWorks и Autodesk Navisworks, так и отечественная программа Топоматик

Robur. Эта отечественная разработка использовалась для геодезических расчетов и моделирования земляных работ, что позволило интегрировать результаты в общую модель проекта. После разработки в различных программных комплексах модель, разбитая на участки, собиралась воедино с помощью IFC форматов.

Модель включала все конструктивные элементы земляного полотна, слои дорожной одежды, водоотводные сооружения, элементы обустройства и другие важные компоненты инфраструктуры. Разработка BIM-модели с высокой детализацией позволила не только точно учитывать объемы работ, но и интегрировать модель с календарно-сетевым графиком строительства и графиком работы строительной техники.

Одним из важных аспектов применения BIM в этом проекте стала детализация по пикетам (каждые 100 метров линейного объекта). Такая детализация дала возможность легко отслеживать готовность участков и координировать процессы, например, при решении юридических вопросов по землеотведению. Это позволило избежать задержек в строительстве, которые могли бы возникнуть при недостаточной визуализации и мониторинге этих процессов. Для управления земельными участками и получения разрешительной документации BIM-модель позволяла наглядно отображать участки, по которым все вопросы были решены, и те, где работы требовали переноса на более поздний срок.

Единая информационная модель стала основой для регулярных совещаний на всех этапах строительства, где участники проекта обсуждали возникающие коллизии, как временные, так и пространственные, а также контролировали выполнение планов и графиков. Интеграция BIM-модели с другими IT-системами позволила оперативно вносить изменения и немедленно оценивать последствия этих корректировок для всей строительной работы.

Для создания информационной модели на проекте ЦКАД-4, М-12 использовался Autodesk InfraWorks для создания инфраструктурной подложки, а также Autodesk Revit для моделирования мостов, переходов, водопропускных труб и других сложных искусственных сооружений. Особое внимание было уделено моделированию съездов, которые меняли своё положение в трех плоскостях, включая уклон на вираже, что представляет собой сложную задачу при проектировании и строительстве таких объектов.

Проект «ЦКАД-4» показал высокую эффективность применения BIM-технологий для линейного строительства в России. Использование BIM позволило повысить прозрачность процессов, ускорить принятие решений, улучшить координацию между участниками проекта и контролировать расход ресурсов. Применение BIM в таких крупных проектах открывает новые возможности для повышения рентабельности и оперативности работы. Строительный холдинг «Автобан» планирует внедрить BIM-процессы и на других строительных площадках, продолжая развивать и совершенствовать эту технологию в области линейного строительства.

Заключение

Внедрение BIM-технологий в строительство линейных объектов на Дальнем Востоке России, несмотря на ряд вызовов, связанных с уникальными

природными и климатическими условиями, представляет собой важный шаг в повышении эффективности и качества проектирования инфраструктуры. Технология информационного моделирования позволяет значительно улучшить процессы проектирования, оптимизировать затраты и сроки, а также повысить точность и координацию при выполнении строительных работ. В условиях, когда линейные объекты требуют учета большого объема данных о рельефе, климате и геологии, BIM предлагает эффективные инструменты для интеграции этих факторов в единую цифровую модель.

Практическое применение BIM в проекте ЦКАД-4, М-12, М-3 Украина реализуемом холдингом «Автобан», является ярким примером успешного внедрения данной технологии в линейное строительство на российском рынке. Применение как зарубежных, так и отечественных программных решений, таких как Топоматик Robur, а также интеграция BIM с другими IT-системами, позволило существенно улучшить управление проектом, ускорить принятие решений и повысить точность строительства.

Для дальнейшего успешного внедрения BIM в линейное строительство необходимо продолжить развитие специализированных программных решений, создать соответствующую нормативную базу и развивать кадры, способные эффективно работать с BIM-технологиями. Применение этих технологий в крупных инфраструктурных проектах не только улучшает качество и безопасность строительства, но и способствует оптимизации затрат, что открывает новые возможности для развития транспортной инфраструктуры, особенно в регионах с уникальными условиями, таких как Дальний Восток.

Благодарности

Авторы выражают благодарность Лесюта Олегу Сергеевичу, сотруднику АО «ДСК «Автобан», за предоставленную информацию.

Список литературы

1. Хабаровский съезд местных деятелей Амурской и Приморской областей. Труды IV Хабаровского съезда, созванного приамурским генерал-губернатором Д.И. Суботичем. 1903 г.
2. Аминова Л.И., Добудько О.В., Ростовская Н.Е. Инженерно-геологические условия районов строительства материковой части юга Дальнего Востока // Жилищное строительство. 2017. № 1-2. С. 52-54.
3. Hao Liu. Application and benefits of building information modeling (BIM) in intelligent Engineering construction // Applied Mathematics and Nonlinear Sciences. 2024. № 9(1). С. 1-15.
4. Талапов В.В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 392 с.: ил. – С. 7.
5. Скворцов А.В. BIM для дорожной отрасли: что-то новое или мы этим уже занимаемся? // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2022. № 1(12). С. 4-11.
6. Мова Е.В., Кононенко О.Г. Цифровизация дорожно-транспортной инфраструктуры. 2024. УДК 65.012.8:339.9. С. 48 – 50.

7. Бойков В.Н., Мирза Н.С., и др. IndorCAD 10 как BIM-инструмент анализа проектных решений и обнаружения коллизий. // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 2(5). С. 108–113.
8. Гура Т.А., Погодина П.В., и др. Среда AUTOCAD CIVIL 3D: анализ программы, способы и методы обработки данных инженерно-геодезических изысканий // Отраслевые научные и прикладные исследования: Строительство. Транспорт. 2017. УДК 528. С. 240–242.
9. Логвинов П.Р. Применение BIM-моделей в дорожном строительстве // Сборник докладов XVI Международного молодежного форума. Белгород. 2024. УДК 625.71. С.72.
10. Грушковский П.А., Ситков Р.А., Щельников В.Н. Перспективы развития информационного моделирования в ходе строительства и эксплуатации зданий и сооружений // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2020. – Вып. 8. – С. 207 – 211.
11. Астраханцев В.Д., Золотарев И.И. О возможности интеграции развития геосистем и BIM-технологий, УДК 528.4; 69.
12. Котов А.Ю. Классификация подходов к расчету сметной стоимости объектов транспортной инфраструктуры с учетом использования технологии информационного моделирования // Сборник докладов. 82-я Международная научно-методическая и научно-исследовательская конференция МАДИ. Москва. 2024. УДК 625.72. С.164–170.
13. Oluwaseun Akindele, Saheed Ajayi, A. Oyegoke. Application of Geographic Information System (GIS) in construction: a systematic review // Smart and Sustainable Built Environment. 2023. № 14 (7).
14. Kalizhanova A., Kozbakova A., and al. Testing of an optoelectronic system of distributed fiber-optic sensors for monitoring and diagnosing the state of building structures. 2023. P. 294-295.
15. Калижанова А., Кашаганова Г. и др. Анализ и исследование существующего опыта проектирования и использования различных современных волоконно – оптических датчиков для контроля состояния механических и строительных конструкций // Вестник КазАТК. – 2021. - №3 (118). – С. 112 – 123.
16. Zhoe H.F. Analysis of structural health monitoring data from the suspension Jiangyin bridge [Электронный ресурс] // ResearchGate. – URL: https://www.researchgate.net/publication/290567753_Analysis_of_structural_health_monitoring_data_from_the_suspension_Jiangyin_bridge (дата обращения: 18.01.2025 г.)
17. First – class construction: How BIM data brought Helsinki Airport into the future [Электронный ресурс] // Tecla. – URL: <https://www.tekla.com/resources/case-studies/first-class-construction-how-bim-data-brought-helsinki-airport-into-the-future> (дата обращения: 18.01.2025 г.)
18. Каирова Е.В., Вольф Е.В. Применение автоматизированных систем мониторинга при возведении и эксплуатации зданий и сооружений // Ползуновский альманах. 2024. № 1. С. 71-72.

19. Берчун И.Ю., Овчинников И.Г. Импортзамещение программного обеспечения в строительной отрасли — актуальность, перспективы и вектор развития // Вестник Евразийской науки. 2023. Том 15. № 3. С.3.

20. BIM для проектирования и строительства ЦКАД-4 [Электронный ресурс] // Айбим – URL: <https://bim-info.ru/projects/bim-dlya-proektirovaniya-i-stroitelstva-tskad-4/> (дата обращения 11.01.2025 г.)

Сведения об авторах

Ковба Никита Сергеевич, магистрант высшей школы энергетического и гидротехнического строительства, направления инженерные системы зданий и сооружений, Санкт – Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт – Петербург, Российская Федерация. Email: nkovba@list.ru

Могильная Юлия Олеговна, студентка кафедры испытания сооружений, Московский государственный строительный университет, Москва, Российская Федерация. Email: iuliya.1234@mail.ru

Умиров Елисей Александрович, студент кафедры промышленного и гражданского строительства, Нижневартковский строительный колледж, Нижневартовск, Российская Федерация. Email: umirov.elisey@mail.ru

Лиходедова Н.Р., Рогова Е.Д. АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МОРСКОЙ ТУРИСТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

*Лиходедова Наталья Романовна, Рогова Елизавета Дмитриевна
Дальневосточный федеральный университет, Политехнический институт
(школа), 690922, г. Владивосток*

Научный руководитель Китаев Максим Владимирович, к. т. н., доцент,

Аннотация. Настоящее исследование посвящено анализу перспективных проектов и направлений развития морской туристической инфраструктуры Приморского края с позиций реализации имеющегося потенциала, направленного на развитие экономики региона.

Ключевые слова: морская инфраструктура, перспективные проекты, Приморский край, энергосберегающие технологии

Введение

Начиная с 2012 года (после проведения первого Восточного экономического форума в г. Владивостоке) в Приморском крае наблюдается устойчивая тенденция к росту туристического потока. Помимо роста внутреннего турпотока наблюдается увеличение числа туристов из стран АТР.

Географическое положение Приморья является основным преимуществом региона. регион, который обладает наиболее благоприятным во всей азиатской части страны климатом, имеет большое количество курортных зон, богат

полезными ископаемыми и лесными ресурсами, а Японское море – одно из наиболее богатых [1]. Приморский край играет роль ворот России в Азию.

Анализ существующих и реализуемых инфраструктурных проектов

Для развития туризма в Приморье запланированы и реализуются в настоящее время инвестиционные проекты, перечисленные ниже [2].

1. Многофункциональный семейный центр «Аквапарадайз».

Проектом предусмотрено строительство первого на территории Приморского края многофункционального семейного центра, на базе крытого круглогодичного аквапарка, сконструированного и управляемого в соответствии с передовыми мировыми операционными технологиями. Проект рассчитан на обслуживание жителей Владивостока, Приморского края, а также российских и иностранных туристов. Основными функциональными центрами комплекса являются аквапарк, гостиница, оздоровительно-рекреационная зона, предлагающая услуги СПА и саун. Проект подразумевает парковую зону.

2. Комплексное развитие бухты Лазурной для круглогодичного отдыха.

Проект направлен на развитие туризма в г. Владивостоке, посредством привлечения туристов для отдыха на побережье Японского моря, создание соответствующей инфраструктуры и новых рабочих мест.

3. База отдыха «Зарубино».

Объект предполагается разместить в Хасанском районе, площадь земельного участка 26 080 м². Проект создается с целью предоставления полного комплекса услуг по отдыху. На территории базы будут построены домики летнего типа, капитальные домики, летние беседки для отдыха большой и маленькой компанией, баня, кафе, в котором каждый желающий сможет попробовать свежие морепродукты.

4. Гостиничный комплекс «Теплое море».

Комплекс расположен в п. Славянка Хасанского района на берегу Японского моря, предоставляет услуги круглогодичного семейного отдыха и лечения на побережье.

5. Курорт в б. Алеут.

В Хасанском районе строится крупнейший на Дальнем Востоке круглогодичный морской курорт. Гостиницы, рыбный рынок, аквапарк и этнодеревню планируют возвести в бухте Алеут в три этапа до 2031 года [3].

Анализ транспортно-логистической инфраструктуры региона

С учетом развития региона и реализации новых инфраструктурных проектов возникает вопрос о необходимости организации доставки людей к существующим и создаваемым местам отдыха с учетом имеющейся транспортно-логистической инфраструктуры региона, а также с учетом возможностей развития морского транспорта и объектов морской транспортной инфраструктуры как отличительных особенностей Приморья.

Для этого рассмотрим способы доставки людей к местам отдыха, отметим их преимущества и недостатки. В качестве основных показателей будем рассматривать вид транспорта, время в пути и возможность знакомства с

природой и достопримечательностями региона по пути следования. В табл.1 приведено расчетное время в пути [4]. Время в пути морем указано при скорости 22 узла.

Таблица 1 - Время в пути

Проекты	Автобус	Автомобиль	ЖД	Море
Аквапарадайз	≈1 ч. 13 мин.	≈29 мин.	-	≈25 мин.
Бухта Лазурная	≈1 ч 51 мин.	≈34 мин.	-	≈50 мин.
База отдыха «Зарубино»	≈4ч.	≈2 ч. 58мин.	-	≈2ч.42мин.
Славянка «Теплое море»	≈3ч 47мин.	≈2 ч. 44 мин.	-	≈1ч.15мин.
Алеут	≈4ч.	≈3ч.	-	≈3ч.

Преимущества морского транспорта состоят в том, что у туристов появляется уникальная возможность познакомиться с основными достопримечательностями региона, морскими видами и прокатиться на современных комфортабельных скоростных судах, не простаивая в многочасовых пробках в сезон отпусков.

Развитие морской туристической инфраструктуры

Использование имеющегося потенциала Приморского края невозможно без развития морского транспорта и морской туристической инфраструктуры, для развития которых в рамках системного подхода требуется следующее:

1. Создание безопасной и комфортабельной береговой инфраструктуры – гостиницы, причалы с залами ожидания (рис. 1).



Рисунок 1. Безопасная и комфортабельная береговая инфраструктура

2. Проектирование и постройка современных, комфортабельных высокоскоростных судов. В мае 2024 года кораблестроители Ливадийского ремонтно-судостроительного завода (Находка, Приморский край) приступили к постройке первого пассажирского морского судна-катамарана проекта HSC200 (рис. 2) разработки российской компании «Си Тех» (Нижний Новгород) с участием фирмы ICARUS Marine Ltd. (ЮАР) [5].



Рисунок 2. Судно-катамаран проекта HSC200

3. Проектирование и постройка плавучих домов и сопутствующей инфраструктуры для размещения в труднодоступных районах мелководных бухт Приморского края. Примеры плавучих домов представлены на рис. 3.

В Приморье множество закрытых и мелководных бухт, кроме того, в рамках реализуемых прибрежных инфраструктурных проектов использование плавучих домов в летний период времени значительно расширяет туристическую привлекательность, перспективы и возможности региона.



Рисунок 3. Плавучие дома

4. Современные энергосберегающие технологии (рис. 4) обеспечивающие потребности отдыхающих в энергии различного вида - ветрогенераторы, волновые генераторы, солнечная энергетика.



Рисунок 4. Современные энергосберегающие технологии

Внедрение энергосберегающих технологий в реализуемые на территории Приморского края проекты является одним из важных шагов в решении многих

экологических и экономических проблем, в числе которых глобальное изменение климата, чрезмерное загрязнение атмосферы, истощение природных ресурсов, сложности подключения создаваемых объектов к сетям централизованного электро- и теплоснабжения. На рис. 5 показан график, характеризующий эффективность использования различных видов энергии.

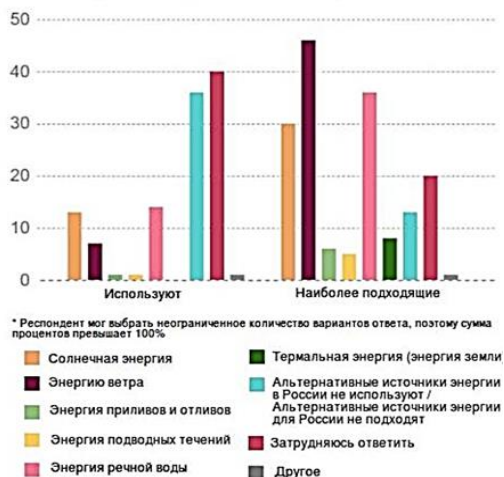


Рисунок 5. Альтернативные виды энергии

График показывает проблему нерационального использования ресурсов в нашей стране [6]. В большинстве случаев в качестве альтернативы рассматриваются возобновляемые источники энергии, такие как энергия солнца, воды, ветра, земной коры, которыми можно, в определенной степени, заменить традиционные энергоносители – нефть, газ, уголь и древесину.

Заключение

В заключении отметим, что Приморский край обладает значительным потенциалом в плане развития морского туризма. Для эффективного развития данного направления необходим комплексный, системный подход развитию морской транспортной инфраструктуры и сопутствующих инженерных сооружений в совокупности с современными энергосберегающими технологиями, только в этом случае реализуемые проекты в положительном ключе будут влиять на развитие экономики региона.

Список литературы

1. Курбатова А.К., Лехтянская Л.В. Географическое положение Приморского края – основное экономическое преимущество / Курбатова А.К., Лехтянская Л.В. [Электронный ресурс] // Российская академия естествознания: [сайт]. — URL: <https://scienceforum.ru/2021/article/2018025046> (дата обращения: 19.11.2024).
2. Инвестиционная карта Приморского края / [Электронный ресурс] // Инвестиционный портал Приморского края : [сайт]. — URL: <https://invest-map.primorsky.ru/ru/> (дата обращения: 01.12.2024).

3. Курорт с вау-эффектом и плавучим энергоблоком: как на ВЭФ обсуждали развитие туризма в Хасанском округе / [Электронный ресурс] // VL.ru : [сайт]. — URL: <https://www.newsvl.ru/eef/2024/09/04/226229/> (дата обращения: 09.12.2024).

4. Карты Владивостока / [Электронный ресурс] // 2gis : [сайт]. — URL: <https://2gis.ru/vladivostok> (дата обращения: 19.12.2024).

5. В России начато строительство 200-местного катамарана для Дальнего Востока / [Электронный ресурс] // Техносфера Россия : [сайт]. — URL: <https://tehnoomsk.ru/archives/12739> (дата обращения: 20.12.2024).

6. Современные энергосберегающие технологии. Пассивные дома / [Электронный ресурс] // PPT онлайн : [сайт]. — URL: <https://ppt-online.org/107771> (дата обращения: 17.01.2025).

Ндайзейе Фуади, Белькова Н.А. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ РЕСПУБЛИКИ БУРУНДИ ДЛЯ ЦЕМЕНТНЫХ ДОРОЖНЫХ БЕТОНОВ

Ндайзейе Фуади, Белькова Наталья Анатольевна
ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет"
кафедра «Технологии строительных материалов, изделий и конструкций»
394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84

Аннотация. В статье изложено обоснование основных требований к дорожным цементным бетонам и сырьевым материалам для них. Проведены исследования основного сырья (цемента, песка и щебня), имеющегося в республике Бурунди на соответствие их характеристик нормативным показателям и возможности получения на их основе цементных дорожных бетонов. Установлено, что производимый бурундийской компанией BUCESO («BURUNDI CEMENT COMPANY») цемент может быть использован только для устройства оснований дорожного полотна. Для материала покрытия дорог может быть использован цемент компании «Tanzania Portland Cement». Что касается материалов используемых в качестве заполнителей, то исследованные песок и щебень могут применяться для таких бетонов после предварительного обогащения. Так же предложены основные технологические мероприятия для обеспечения заданного уровня качества дорожных бетонов на местном сырье.

Ключевые слова: дорожный бетон, качество, цемент, песок, щебень, Бурунди.

Перспективы использования цементных бетонов для дорожных покрытий в различных условиях эксплуатации постоянно расширяются. Это обусловлено их преимуществом по сравнению с асфальтобетонами, прежде всего, такими как достаточно высокая прочность, независимость деформативных свойств от характеристик окружающей среды, высокая износостойкость. Если рассматривать потребности республики Бурунди в качественных материалах для

строительства дорог, то, по данным Дорожного управления, около половины (46%) дорог Бурунди находятся в плохом состоянии и нуждаются в восстановлении [1, 2]. Таким образом, проблема подбора и оптимизации составов для устройства дорожного полотна является актуальной. При этом как к дорожным бетонам, так и к сырьевым материалам для них предъявляются особые требования.

Целью настоящих исследований является оценка качества и определение области применения сырьевых материалов для тяжелых бетонов, имеющихся в республике Бурунди.

Основные задачи исследований:

1. Обоснование нормативных требований к свойствам дорожных бетонов и сырьевым материалам для них.
2. Исследование свойств сырьевых материалов республики Бурунди.
3. Определение области применения исследованных сырьевых материалов.

В рамках первой задачи был проведен анализ источников [3-5], который показал, что на территории республики Бурунди практически отсутствует собственная система нормативной документации. При производстве продукции и оценке ее качества используются французские и европейские нормативные документы. При этом многие европейские нормативные документы соответствуют нормативным документам РФ, большинство европейских стандартов актуализировано на территории РФ в виде международных. Это касается, в частности, требований к сырьевым материалам и основным методам определения их свойств [6].

При проектировании дорог и материалов для них используется ряд нормативных документов, в частности СП 34.13330.2021 «Свод правил. Автомобильные дороги.» и ГОСТ Р 59300-2021 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси бетонные для устройства слоев оснований и покрытий. Технические условия». В соответствии с этими нормативными документами для основных слоев дорожного полотна может быть использован цементный бетон с классами В30 и Вtb 4,0 (для монолитного покрытия) и В7,5 и Вtb 1,2 (для монолитного основания).

Согласно ГОСТ Р 59300-2021 к сырьевым материалам для бетонов предъявляются следующие требования. Бетонная смесь характеризуется несколькими показателями, основными, среди которых, являются: показатель удобоукладываемости (подфижность П1...П5), сохраняемость свойств во времени (классы С1-С4).

При этом особые требования предъявляются к цементам. Та, по вещественному составу используются цементы следующих типов:

- для оснований ЦЕМ II/A-III, ЦЕМ II/B, ЦЕМ III/A, ЦЕМ V/A;
- для для покрытий ЦЕМ I, ЦЕМ II/A-III

Так же нормируются показатели нормальной густоты цементного теста (не более 30%), содержание трехкальциевого алюмината C_3A (не более 8 %),

удельная поверхность цемента при измерении методом Блейна (не менее 280 м²/кг и не более 400 м²/кг).

В качестве мелкого заполнителя могут применяться природные и дробленые пески с молулем крупности 2,3...2,8, содержанием пылевидных и глинистых частиц не более 2 %, содержанием глины в комках не более 0,25 %.

В качестве крупного заполнителя применяется фракционированный щебень с содержанием: зерен пластинчатой и игловатой формы («лещадки») не более 15 %, зерен слабых пород в щебне не более 5 % массы. Так же нормируются показатели содержания пылевидных и глинистых частиц (не более 2 %) и глины в комках (не более 0,25 %). Марка по дробимости должна быть не ниже М400 (для основания) и М 800 (для покрытия дорог).

На втором этапе проводилась оценка качества сырьевых материалов. В качестве объектов исследования были использованы:

- цементы двух производителей: ЦЕМ II/ В-II 32,5 М компании «BUCECO» (BURUNDI CEMENT COMPANY) и ЦЕМ I 42,5 Н компании «TWIGA» (Tanzania Portland Cement).

- песок природный речной из рек Рувиронза и Музази;

- щебень из валунов из рек Рувиронза и Музази.

Свойства материалов определялись в соответствии с методиками, приведенными в российских и международных нормативных документах.

Полученные результаты исследований представлены на рис. 1-3.

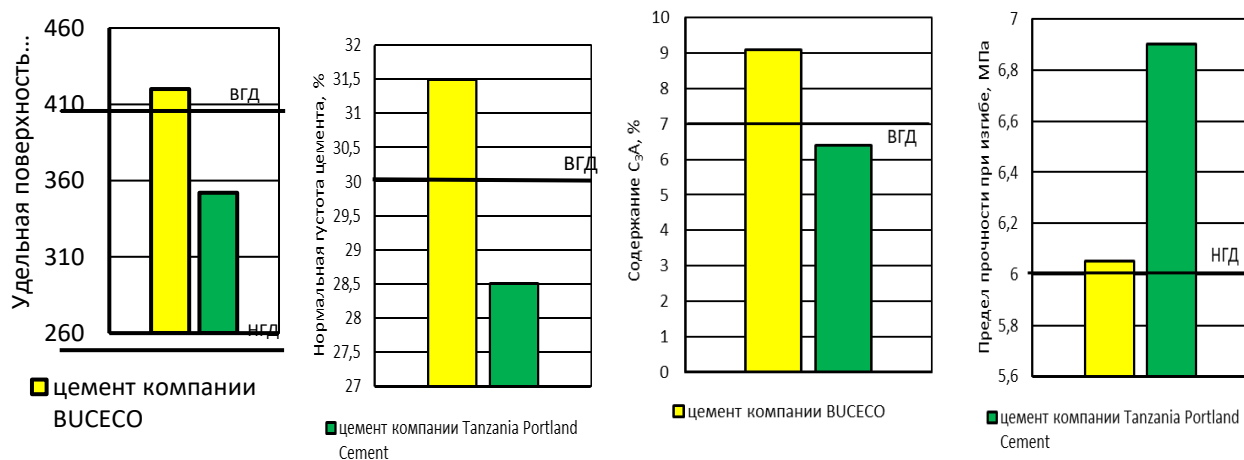


Рисунок 1 – Результаты оценки свойств портландцемента

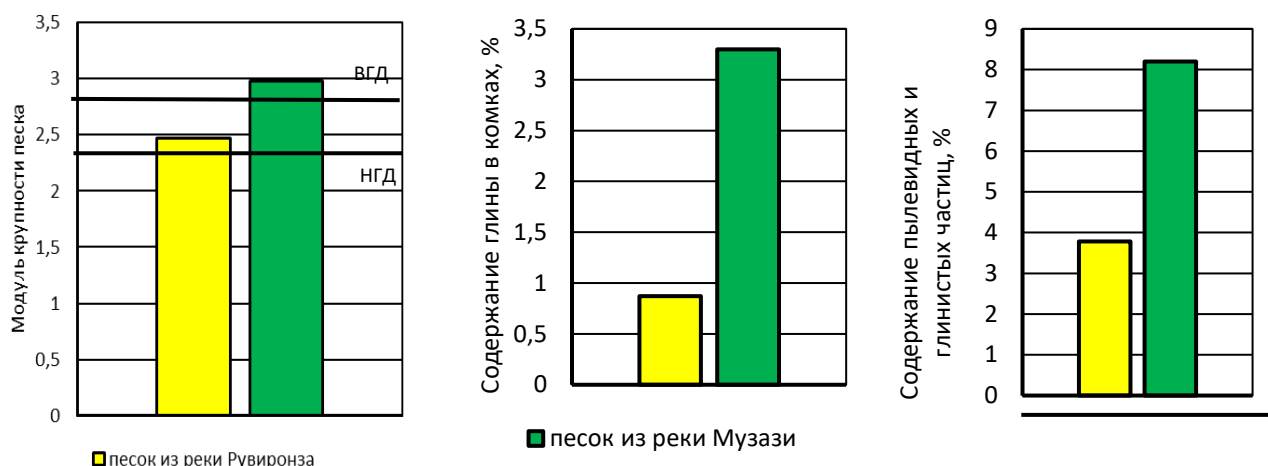


Рисунок 2 – Результаты оценки свойств песка

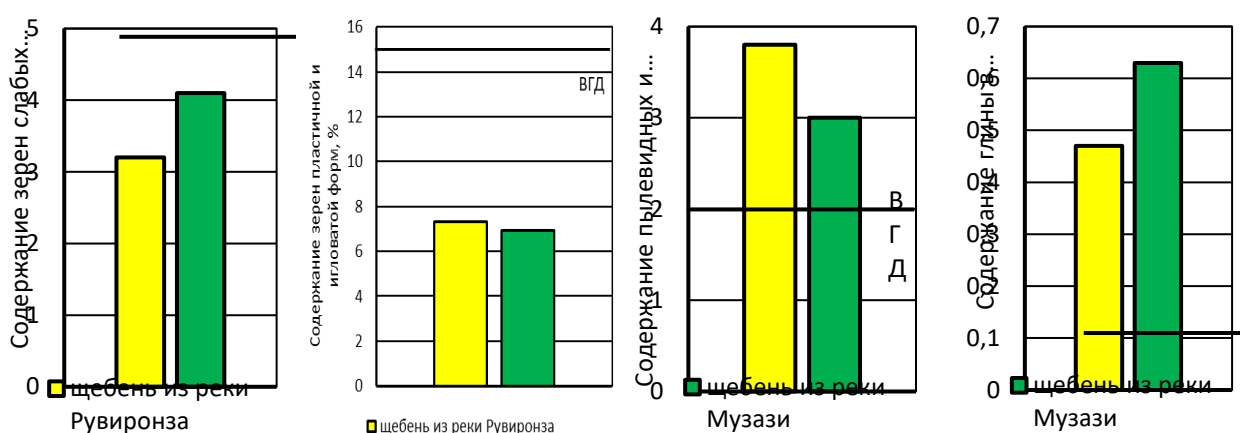


Рисунок 3 – Результаты оценки свойств щебня

На представленных диаграммах обозначены заданные нормативами границы допусков (для бетона покрытия дорожного полотна): верхние (ВГД) и нижние (НГД).

Как видно по данным, приведенным на рис. 1 характеристики цемента компании «BUCESCO» не соответствуют нормативу по всем показателям, кроме показателя предела прочности при изгибе (значение прочности при изгибе составляет 6,05 МПа, что выше нормативного в 6 МПа). При этом показатель величины удельной поверхности выходит за верхнюю границу допуска (400 м²/кг), то есть цемент имеет высокую степень помола. Цемент компании «TWIGA» имеет показатели, не выходящие за нормативные границы допуска. Показатель прочности при изгибе для этого цемента превышает нижнюю границу допуска на 15 % (6,9 МПа), что является положительным фактором при проектировании дорожного бетона. Особенно хочется отметить не соответствие количества трехкальциевого алюмината в цементе компании «BUCESCO», что является основным препятствием для его применения в дорожных бетонах.

Характеристики песков из рек Рувиронза и Музази не соответствуют нормативным требованиям по показателям содержания глины в комках и пылевидных и глинистых частиц. При этом для песка из реки Рувиронза количество пылевидных и глинистых частиц превышает норматив примерно в 2

раза (3,8 % относительно 2 %), для песка из реки Музази этот показатель выше в 4 раза (82 %). По содержанию количества глины в комках песок из реки Музази является более загрязненным (превышение составляет в 13 раз). Показатель модуля крупности для песка из реки Рувиронза находится в заданных стандартом границах, для песка из реки Музази этот показатель несколько завышен (2,98 против верхней границы 2,8).

Для щебня из этих рек так же наблюдается не соответствие по этим показателям (превышены достаточно значительное в 2-2,5 раза). Марки по дробимости соответствуют М800 и М1000 для щебня из реки Рувиронза и Музази соответственно. При этом показатели количества зерен слабых пород и «лещадки» находятся в пределах норматива.

В рамках третьей задачи исследований проведем анализ и определим область применения исследованных сырьевых материалов.

Область применения цементов будет определяться не только их характеристиками, но и типом (минералогическим составом). Цемент компании «ВУСЕСО» относится к типу ЦЕМ II/ В-II – портландцемент с минеральными добавками. Таким образом, согласно ГОСТ Р 59300-2021, а так же полученным результатам основных характеристик, этот цемент может быть использован только для бетона основания дорожного полотна. Цемент компании «TWIGA» имеет тип ЦЕМ I – портландцемент. При этом показатели основных его характеристик не выходят за установленные нормативами границы, поэтому именно этот цемент может быть использован для бетонов покрытия дорожного полотна.

В качестве мелкого заполнителя для бетона покрытия может быть использован песок из реки Рувиронза, так как его модуль крупности соответствует нормативу. В качестве крупного заполнителя как для основания, так и для покрытия дорожного полотна можно использовать любой из исследованных материалов (по показателям прочности и формы зерен).

Однако у исследованных песка и щебня имеется несоответствие по показателям содержания примесей. Применение этих материалов в качестве заполнителей для бетонов дорожного полотна возможно после проведения из обогащения различными способами [7-13]. Так в работе [10, 11] предлагаются эффективные способы обогащения заполнителей путем их промывки и фракционирования.

Так же для получения качественных бетонов на местном сырье возможна корректировка их свойств за счет таких технологических приемов, как использование армирующих волокон и применение добавок-модификаторов различного типа.

Список литературы

1. Бигиримана Ж. Особенности условий эксплуатации автомобильного транспорта в Бурунди / Ж. Бигиримана, А.П. Павлов // Вестник МАДИ. - 2020. - № 1 (60). - С. 38-42

2. Ntunzwenimana J. B. Stratégie nationale en matière de planification et de gestion du secteur du transport et son plan d'actions 2018-2027 au Burundi. Bujumbura, 2018 - 199p.
3. Lapidus A. A. Integrated Quality Index of Organizational and Technological Solutions for Implementation of Burundian Capital Master Plan / A. A. Lapidus, Y. Ndayiragije // Materials Science Forum. – 2018. – Vol. 931. – P. 1295–1300.
4. Meijer F. Quality control of constructions: European trends and developments / F. Meijer, H. Visscher // International Journal of Law in the Built Environment. – 2017. – Vol. 9, № 2. – P. 143–161.
5. Белькова Н. А. Обоснование нормативных и технических требований к характеристикам автомобильных дорог в республике Бурунди / Н. А. Белькова, Ф. Ндайзейе, Е. И. Шмитько // Химия, физика и механика материалов. – 2023. – № 3(38). – С. 69-80. – EDN ZDYIMJ.
6. Усачев С.М., Кукина О.Б., Ками К. Исследование свойств сырьевых материалов для бетонов в республике Бурунди // Научный журнал строительства и архитектуры. 2023. № 1 (69). С. 36-46.
7. Кукина О. Б., Волокитина О. А., Волков В. В., Шуваев Д. И., А. С. Чунихина Проектирование конструктивных слоев оснований фундаментов сооружений и дорожных одежд на модифицированных глинистых грунтах// Строительная механика и конструкции. 2022. № 2 (33). С. 158-167.
8. Теоретические и практические основы минимизации содержания цемента в бетоне путем формирования оптимального зернового состава / П. Л. Федорович// Вопросы внедрения норм проектирования и стандартов Европейского союза в области строительства: сб. науч.-техн. ст. (материалы науч.-метод. семинара), 29 мая 2012 г. Минск, 2012. Ч. 2. С. 155-165.
9. Федорович П. Л. О технологии обогащения мелкого заполнителя для бетона // Проблемы современного бетона и железобетона: сб. науч. тр. Минск: Изд. центр БГУ, 2016. Вып. 8. С. 290-306.
10. Корсак Л. Л. Экологические проблемы использования отходов добычи и переработки кварцевых песков и разработка аэродинамического способа обогащения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – № 11. – С. 305-306. – EDN IFAPCT.
11. Терешкин И. П. Перспективы обогащения природных песков Ускляйского месторождения Республики Мордовия для цементных бетонов и строительных растворов // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 9(60). – С. 47. – EDN ILLNPY.
12. Смирнов Д. С. Цементобетон для дорожных покрытий на местных инертных материалах Республики Татарстан// Международный форум KAZAN DIGITAL WEEK – 2021 : Сборник материалов, Казань, 21–24 сентября 2021 года. Том Часть 1. – Казань: ГБУ «НЦБЖД», 2021. – С. 158-162. – EDN WZLNPB.
13. Степанова М. П., Белькова Н. А., Баранов Е. В. Оптимизация состава бетона для основания и покрытия дорог // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. – 2023. – № 1(54). – С. 83-89. – DOI 10.24866/2227-6858/2023-1/83-89. – EDN BOLUCC.

Примчук А.Г. Бушуев Д.В., Ильинский Ю.Ю. СХЕМЫ ОТВОДА ВОДЫ С ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ И ИХ ОСОБЕННОСТИ

Примчук Анатолий Григорьевич, Бушуев Денис Васильевич, Ильинский Юрий Юрьевич

Дальневосточный федеральный университет, Военный учебный центр, 690922, Российская Федерация, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10

Аннотация. Отвод воды с автомобильной дороги это один из основных факторов проектирования и строительства дороги. Система отвода воды, которая функционирует согласно всем нормам и требованиям препятствует разрушению и увеличивает срок службы автомобильных дорог.

Ключевые слова: автодорога, водоотводные сооружения, водоотводные устройства

Введение. Организация водоотвода с дорожного полотна – важный аспект проектирования и эксплуатации автомобильных дорог, обеспечивающий безопасность движения, сохранность дорожного покрытия и прилегающих территорий. Проблема эффективного отвода воды с поверхности, особенно с автомобильных дорог и магистралей, имеет большое значение для безопасности дорожного движения, сохранности дорожного полотна и окружающей среды. Неисправная система водоотвода – это не просто неудобство, а потенциальная угроза, способная привести к серьезным авариям и дорогостоящему ремонту.

Неэффективный водоотвод приводит к образованию луж, наледей зимой, разрушению дорожного полотна из-за вымывания грунта, а также к подтоплению близлежащих зданий и сооружений. Своевременное удаление талых и дождевых вод – это задача, требующая тщательного инженерного проектирования и грамотной реализации, учитывающей множество факторов, от типа грунта и рельефа местности до интенсивности движения, и климатических особенностей региона.

Обзор литературы

Для сбора и отвода воды от дороги, а также для осушения земляного полотна и дорожной одежды применяют водоотводные устройства и водопропускные сооружения. К водоотводным устройствам относят кюветы, нагорные и отводные канавы, испарительные бассейны. К водопропускным сооружениям относят мосты, трубы, фильтрующие насыпи, лотки. В некоторых случаях, система водоотвода на дорогах включает в себя водосточные трубы, колодцы, решетки, и, более масштабные сооружения, такие как водосборные бассейны и насосные станции [1, 2].

Выбор конкретных элементов и их конфигурация зависят от интенсивности движения, объема осадков, уклонов поверхности и многих других параметров. Например, на высокоскоростных магистралях применяются более мощные и глубокие лотки, рассчитанные на большие объемы воды, тогда как на дорогах с низкой интенсивностью движения может быть достаточно более простой системы.

В работах [3, 4] рассматриваются системы утилизации поверхностных сточных вод с автомобильных дорог, изучаются дефекты систем водоотведения, в которых установлено две группы: отсутствие систем водоотведения и конструктивные дефекты водосборных и водосбросных сооружений.

Исследованиями [5] выявлено, что укрепление грунта шлакосиликатным вяжущим является основным фактором, повышающим устойчивость земляного полотна дорог от воздействия воды на протяжении длительно времени.

Также в работах [6, 7] изучались, вопросы, связанные с реконструкцией, эксплуатацией и строительством сооружений дорожной инфраструктуры, представлена новая конструкция водопропускной трубы, состоящая из фрагментов, выполненных из сталефибробетона. Такие трубы не изменяют жесткость верхней части насыпи и дорожной одежды, что позволяет уменьшить эксплуатационные расходы.

Накопление воды на проезжей части создает целый ряд опасных ситуаций. Во-первых, это резко снижает коэффициент сцепления шин с дорогой, что приводит к увеличению тормозного пути и повышает риск заноса, особенно в условиях дождя или гололеда. Вода под колесами препятствует эффективному разгону и торможению, создавая ощущение "аквапланирования" – потери контроля над автомобилем. Разбрызгивание воды снижает видимость, как для водителя, так и для других участников движения, что особенно опасно в ночное время или при тумане. Дискомфорт водителя и пассажиров, вызванный брызгами и скользкой дорогой, тоже нельзя сбрасывать со счетов.

Кроме того, длительное воздействие воды разрушает само дорожное полотно. Постоянное увлажнение приводит к вымыванию связующих веществ в асфальте, образованию трещин, выбоин и просадок. Вода проникает вглубь дорожного основания, вызывая процессы пучения и промерзания-оттаивания, что существенно сокращает срок службы дороги и увеличивает затраты на ее ремонт. В случае недостаточного дренажа вода может повредить не только асфальтовое покрытие, но и подстилающие слои грунта, снижая несущую способность дорожной конструкции и приводя к ее деформации.

Современные системы водоотвода стремятся не только к отводу воды, но и к ее очистке. Это особенно актуально в городских условиях, где вода может содержать нефтепродукты, тяжелые металлы и другие вредные вещества. В таких случаях применяются специальные очистные сооружения, предотвращающие загрязнение окружающей среды. Также важно обеспечить бесперебойную работу системы водоотвода в условиях засорения, для чего регулярно проводятся профилактические работы по очистке лотков и труб. Игнорирование этих аспектов может привести к катастрофическим последствиям, начиная от локальных затоплений и заканчивая крупномасштабными разрушениями дорожной инфраструктуры.

Результаты и обсуждение

Существует несколько основных методов организации водоотвода, каждый из которых имеет свои особенности, преимущества и недостатки, и выбор оптимального варианта зависит от множества факторов, включая категорию

дороги, климатические условия, особенности рельефа местности и наличие инженерных коммуникаций. Рассмотрим три основных метода подробнее:

Метод 1: Свободное стекание воды по откосам в кюветы. Этот, пожалуй, самый простой метод, предполагает естественный сток воды с проезжей части по уклонам обочин в кюветы – специально сформированные канавы, расположенные по обеим сторонам дороги (рис. 1).

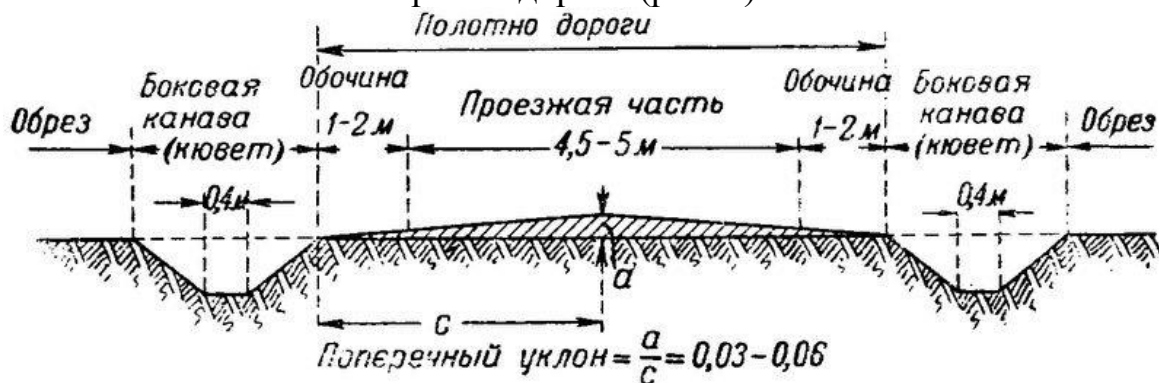


Рисунок 1 - Система стекания воды по откосам в кювет

Эффективность этого метода напрямую зависит от ряда параметров. Во-первых, это продольный и поперечный уклоны проезжей части и обочин. Чем больше уклон, тем быстрее и эффективнее происходит водоотвод. Однако чрезмерный уклон может негативно сказаться на безопасности движения, особенно на участках с ограниченной видимостью. Во-вторых, качество дорожного покрытия играет решающую роль. Пористое или поврежденное покрытие задерживает воду, снижая эффективность естественного стока. В-третьих, важно учитывать тип грунта. Хорошо дренируемые грунты (например, песчаные) обеспечивают более быстрый водоотвод, чем глинистые или суглинистые, склонные к заболачиванию. Кюветы, в свою очередь, должны быть правильно спроектированы и выполнены с учетом расчётного объёма стока, их глубина и ширина зависят от интенсивности осадков в регионе. Для предотвращения заиливания кюветов, их необходимо регулярно чистить. Этот метод, как правило, применяется на низко интенсивных дорогах с небольшим объёмом движения, где другие методы экономически нецелесообразны.

Метод 2: Отвод воды с использованием лотков. Более совершенный метод, предполагающий использование системы лотков для сбора и направления воды в кюветы или другие водоприёмники. Прикромочные лотки устанавливаются непосредственно у края проезжей части, собирая поверхностный сток. Далее вода по лоткам поступает в откосные водосбросные лотки, расположенные с определенным шагом вдоль дороги (рис. 2).



Рисунок 2 - Пример устройства системы водоотвода с использованием лотков

Эти лотки, в отличие от прикромочных, часто имеют большую пропускную способность и служат для транспортировки больших объемов воды. Откосные лотки могут быть выполнены из различных материалов – бетона, пластика, металла – выбор материала зависит от интенсивности движения, климатических условий и финансовых возможностей. Система лотков обеспечивает более организованный и эффективный водоотвод по сравнению со свободным стеканием, снижая вероятность подмыва дорожного полотна и образования луж. Этот метод особенно эффективен на дорогах I-III категорий, где интенсивность движения и объемы сточной воды существенно выше. При проектировании системы лотков необходимо учитывать не только их пропускную способность, но и гидравлический расчет, учитывающий скорость потока, наличие перепадов высот и другие факторы, влияющие на эффективность водоотвода. В некоторых случаях, водосбросные лотки могут быть подключены к системе ливневой канализации.

Метод 3: Отвод воды с использованием бордюра. Этот метод, часто применяемый в городских условиях и на дорогах с интенсивным движением, предполагает использование бордюров для направления воды в лотки или непосредственно в водоотводные сооружения. Бордюры, помимо функции водоотвода, также служат для разделения проезжей части и пешеходных зон. Вода стекает с проезжей части к бордюрам, которые имеют специальный уклон для направления воды в лотки, после чего вода отводится в откосные лотки, водоотводные каналы, очистные сооружения (при наличии), закрытую канализацию или за пределы дорожного полотна (рис. 3). Выбор способа отвода воды за пределы бордюрной зоны зависит от конкретных условий. Например, в городских условиях вода часто направляется в ливневую канализацию, в то время как на загородных дорогах может использоваться система кюветов или открытых каналов.



Рисунок 3 - Система отвода воды с помощью бордюра и ливневой канализации

Этот метод применяется на дорогах I-II категорий, мостах, путепроводах, городских улицах и промышленных территориях. Материал бордюров может быть различным – бетон, камень, железобетон, – и выбор зависит от интенсивности движения и нагрузок. Критичным является правильное проектирование уклона бордюров, чтобы обеспечить беспрепятственный сток воды и предотвратить застой и образование наледей зимой. Необходимо также учитывать прочность и долговечность бордюров, их устойчивость к механическим повреждениям и воздействию агрессивных сред.

Заключение. Эффективный водоотвод – это залог безопасного и комфортного движения, сохранности дорожного полотна и защиты окружающей среды и комплексная задача, требующая тщательного планирования и учета множества факторов. Выбор оптимального метода зависит от специфики конкретного проекта и требует профессионального подхода. В современных условиях широкое применение находят комбинированные системы водоотвода, сочетающие элементы разных методов для достижения максимальной эффективности. Не менее важна регулярная очистка и техническое обслуживание системы водоотвода, чтобы обеспечить её бесперебойную работу и долговечность.

Список литературы:

1. Федюк, Р. С. Военные дороги и колонные пути : учебное пособие для вузов / Р. С. Федюк, П. Г. Козлов. — 2-е изд., перераб. и доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 168 с. — ISBN 978-5-507-48488-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/385994> (дата обращения: 22.12.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Высоцкий, Л. И. Элементы водоотведения на автомобильных дорогах : учебное пособие для вузов / Л. И. Высоцкий, Ю. А. Изюмов, И. С. Высоцкий. — СПб. : Лань, 2015. — 181 с.
3. Курас, М. В. Утилизация поверхностных сточных вод с автомобильных дорог / М. В. Курас, В. А. Селезнев // Водоснабжение,

водоотведение и системы защиты окружающей среды, Уфа, 20–22 ноября 2012 года. – Уфа: ЦИТО, 2012. – С. 125-127. – EDN VRUYST.

4. Рыбальченко, С. В. Влияние дефектов систем водоотведения автомобильных дорог на изменение геосистем морских террас / С. В. Рыбальченко, А. С. Оганезов // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2021. – № 4. – С. 87-96. – DOI 10.31857/S0869780921040093. – EDN GKITYK.

5. Водостойкость земляного полотна лесовозных автомобильных дорог укрепленного шлакосиликатными вяжущими / И. А. Викулин, А. В. Скрипников, Д. Г. Козлов, А. С. Сергеев // Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса : Материалы X Международной научно-практической конференции, в рамках 10-го Международного научного форума Донецкой Народной Республики, Горловка, 31 мая 2024 года. – Горловка: Донецкий национальный технический университет, 2024. – С. 239-244. – EDN FCWDPW.

6. Пермикин, А. С. Разработка новой конструкции водопропускных труб под насыпями автомобильных и железных дорог / А. С. Пермикин, И. Г. Овчинников // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. – 2024. – Т. 2. – С. 399-405. – EDN DJQIE.

7. Шевель, А. Е. Строительство и реконструкция автомобильных дорог и сооружений дорожной инфраструктуры / А. Е. Шевель, П. Г. Козлов // Инженерное дело на Дальнем Востоке России : Материалы конференции, Владивосток, 21–27 января 2024 года. – Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2024. – С. 367-372. – EDN CLZUVV.

Понкратьев В.С., Сабодаш О.А. МЕТОДЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗИМНИХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Понкратьев Владислав Сергеевич, Сабодаш Ольга Алексеевна

Политехнический институт

Департамент морских арктических технологий

Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, п. Аякс, 10;

Индекс: 690922

Аннотация: Транспортная составляющая в обустройстве территорий Сибири и Арктики определяет темпы развития и поэтому является одним из ключевых пунктов всей достаточно сложной системы промышленного освоения этих территорий. В этом случае важнейшим звеном транспортного обеспечения является автомобильный транспорт. Поэтому в северных регионах нашей страны большая часть дорог создаются искусственно и функционирует только в зимнее время: с декабря по апрель. Речь идёт об автозимниках. В настоящем

аналитическом обзоре приведены методы и технологии строительства автозимников, а также способы исследования их эксплуатационных характеристик.

Ключевые слова: автозимник, вечная мерзлота, транспортное обеспечение, строительство дороги, зимняя автомобильная дорога, несущая способность, модифицирование льда.

Автозимники имеют ряд требований, которые отличают их от дорог общего пользования, а также ряд очень важных особенностей нормативно-правовой документации [1].

При проектировании автозимников с продленным сроком действия с 1989 года по 1 ноября 2020 года мы работали по ВСН 137-89 «Проектирование, строительство и содержание зимних автомобильных дорог в условиях Сибири и Северо-Востока СССР» [2]. С 1 ноября 2020 года вступил в силу новый ГОСТ Р 58948-2020 «Дороги автомобильные общего пользования. Дороги автомобильные зимние и ледовые переправы. Технические правила устройства и содержания».

Данный ВСН и ГОСТ допускают устройство (строительство) автозимников с продленными сроками действия на сезонных автомобильных дорогах – автозимниках по классификации видов работ по ремонту согласно Приказу Минтранса РФ № 402.

Однако в Приказе Министерства транспорта РФ от 16 ноября 2012 г. №402 «Об утверждении Классификации работ по капитальному ремонту, ремонту и содержанию автомобильных дорог» (ред. от 13.11.2018 г.) не упоминается проведение ремонтных работ на сезонных автомобильных дорогах [3]. Часть 5, пункт «з» данного Приказа допускает восстановление профиля щебеночных, гравийных и грунтовых улучшенных дорог с добавлением щебеночных или гравийных материалов в количестве до 900 кубических метров на один километр дороги. Указанного объема материала должно хватить на 281 метров шириной 8 метров и толщиной 40 см или 562 метра шириной 8 метров и толщиной 20 см.

Проведение ремонтно-восстановительных работ на сухопутных автозимниках или сезонных автомобильных дорогах в условиях Крайнего Севера продленного действия такое же необходимое мероприятие, как и содержание автомобильной дороги. Нередко отсыпанный участок зимника продленного действия тонет, т.к. автозимник пролегает по труднодоступным местам, и указанного объема в фактических условиях недостаточно.

Таким образом, для обеспечения надлежащего состояния сухопутных автозимников и для увеличения сроков эксплуатации, предлагается внести изменения в данный Приказ №402 в части проведения работ по ремонту автозимников, а именно устройства земляного полотна и искусственных водопропускных сооружений (ИССО). Объемы работ по земляному полотну и ИССО соответственно принимать на основании проектно-изыскательских работ и технико-экономическом обосновании таковых объемов.

До начала разработки проекта нового строительства автомобильного зимника заказчику необходимо составить техническое задание (ТЗ) на проектирование и инженерные изыскания [4].

Для составления ТЗ на проектные работы и инженерные изыскания заказчику необходимо определиться с основными технико-экономическими показателями объекта, особыми условиями, сроками выполнения работ, требованиями к разделам проектной документации, уровнем ответственности объекта и т.п. [5].

К основным технико-экономическим показателям относятся: тип автозимника, протяженность и ширина полотна, категория, число полос движения, грузонапряженность, интенсивность движения, расчетная нагрузка и т.п.

Далее на основе технических заданий подрядчики (проектная и изыскательская организация) выполняют необходимые работы и разрабатывают всю обязательную документацию по объекту.

Перед разработкой проектной документации нового строительства автомобильного зимника необходимо провести комплексные инженерные изыскания, а именно: гидрометеорологические, геодезические, геологические и экологические изыскания [6], для расчета и обоснования вариантов трасс автозимников. Изыскания необходимо проводить в зимний период времени, так как физико-механические свойства грунтов летом и зимой отличаются (автомобильный зимник эксплуатируется при отрицательных температурах с достаточной толщиной снежного покрова на местности).

При труднодоступности территории изысканий целесообразно использовать аэрофотосъемку. Для обеспечения работы изыскательских партий при отсутствии путей сообщения следует предусматривать применение вездеходов и вертолетов.

По каждому виду изысканий составляется программа инженерных изысканий, выполняются полевые и камеральные работы, на основе которых выдается технический отчет с соответствующим заключением. Организация, производящая изыскания обязательно должна иметь действующее свидетельство СРО о допуске к определенному виду или видам работ [7], а также свидетельства о поверках, необходимого для проведения работ, оборудования. По требованию заказчика результаты инженерных изысканий должны пройти экспертизу, результатом которой является ее положительное решение. При разработке проектной документации, создаются следующие разделы:

- ПЗ (Пояснительная записка);
- ППО (Проект полосы отвода);
- ТКР (Технологические и конструктивные решения линейного объекта);
- ПОС (Проект организации строительства);
- ПОД (Проект организации по сносу (демонтажу) линейного объекта);
- ООС (Мероприятия по охране окружающей среды);
- ПБ (Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности);
- СМ (Смета на строительство).

Строительство дорог зимнего действия предполагает учет многих факторов, это климатические условия, грунтовые характеристики, технологии и материалы. Они могут строиться на основе существующих автомобильных дорог или пролагаться новыми маршрутами [8].

В зависимости от местности и ее условий, на которой будет пролагаться временная дорога, могут использоваться различные технологии строительства. Например, для ее укрепления на снежном покрове может использоваться специальный грунтовый состав из снега, соли и песка. Это позволяет улучшить сцепление шин с дорогой и повысить устойчивость транспорта на снежных участках [9].

Однако, помимо материалов и технологий, при строительстве дорог зимнего действия необходимо учитывать их взаимодействие с окружающей средой. Важно помнить о том, что строительство дорог зимнего действия может иметь отрицательное воздействие на окружающую среду: уплотнение снега и почвы, изменение ландшафта, отходы и загрязнения, поэтому необходимо вести экологически ответственное строительство и контролировать его воздействие на природу.

Одним из важных факторов в обеспечении транспортной доступности и социальной связности северных и арктических регионов России является работоспособность дорог зимнего действия, которые зависят от климатических условий, наличия технического обслуживания и качества дорожного покрытия [10].

Работоспособность дорог зимнего действия — это способность обеспечивать комфортное и безопасное движение транспорта с заданными показателями интенсивности, нагрузкой и скоростями при низких температурах окружающей среды.

Ключевую роль в работоспособности дорог зимнего действия играют климатические условия. Перепады температуры могут привести к ухудшению состояния дорожного покрытия, и могут привести к образованию на дороге льда, что может повлиять на безопасность движения. Наличие снега важно для работоспособности временных дорог, поскольку снег помогает сохранять дорожное покрытие и обеспечивает лучшее сцепление с колесами автомобилей. Кроме того, надо понимать, что дороги зимнего действия не предназначены для постоянного использования и могут иметь ограниченную проходимость в зависимости от климатических условий, что влияет на пропускную способность.

Пропускная способность — это способность дорог пропускать определенное количество транспорта в единицу времени. Она является одним из основных показателей работоспособности дорог зимнего действия.

Анализ и систематизирование погодных условий для каждого региона, создание программного обеспечения могут помочь повысить пропускную способность дорог зимнего действия.

Для поддержания работоспособности дорог зимнего действия большое значение имеет техническое обслуживание. Техника должна быть в хорошем техническом состоянии, а экипажи, которые работают на временных дорогах,

должны быть обучены правилам эксплуатации техники и обеспечивать ее регулярное техническое обслуживание.

На работоспособность дорог зимнего действия также влияет качество дорожного покрытия. В зимнее время, дорожное покрытие может стать скользким и гололедным, что может затруднить прохождение транспорта. Поэтому необходимо обеспечивать качественную обработку дорог в зимний период, чтобы снизить риск возникновения опасных условий на дорогах и повысить пропускную способность временных дорог.

Строительство дорог зимнего действия, требует учета множества факторов, их технологическое исполнение, экологическую безопасность и обеспечение работоспособности на протяжении всего зимнего периода [11], это сложный и многопрофильный процесс.

Из-за трудных климатических условий, работоспособность временных дорог может сильно снижаться, что может привести к серьезным проблемам в транспортной доступности регионов. Для повышения социально-экономического развития регионов, расположенных в зонах холодного климата, одним их важных условий является улучшение работоспособности дорог зимнего действия [12].

Одним из способов повышения работоспособности дорог зимнего действия является использование инновационных технологий, таких как автоматизированные системы управления дорожным движением, системы мониторинга состояния дорожного покрытия и системы прогнозирования погоды. Эти технологии могут улучшить эффективность и точность проведения работ по обслуживанию дорог зимнего действия и повысить безопасность проезда транспорта.

Для увеличения работоспособности зимних автомобильных дорог, необходимо продолжать развивать технологии и их методы. Это позволит не только обеспечить более надежную транспортную связь с северными регионами, но и повысить безопасность движения на этих дорогах. При этом необходимо учитывать специфические условия и требования для каждого региона, где строятся дороги зимнего действия.

Строительство автозимников, как правило, включает два этапа. На первом этапе выполняют подготовительные работы, на втором (зимой) – устраивают снежное (снежно-ледяное) полотно на сухопутных автозимниках или подготавливают ледяную поверхность на автозимниках, прокладываемых по льду рек, озер и морей [13].

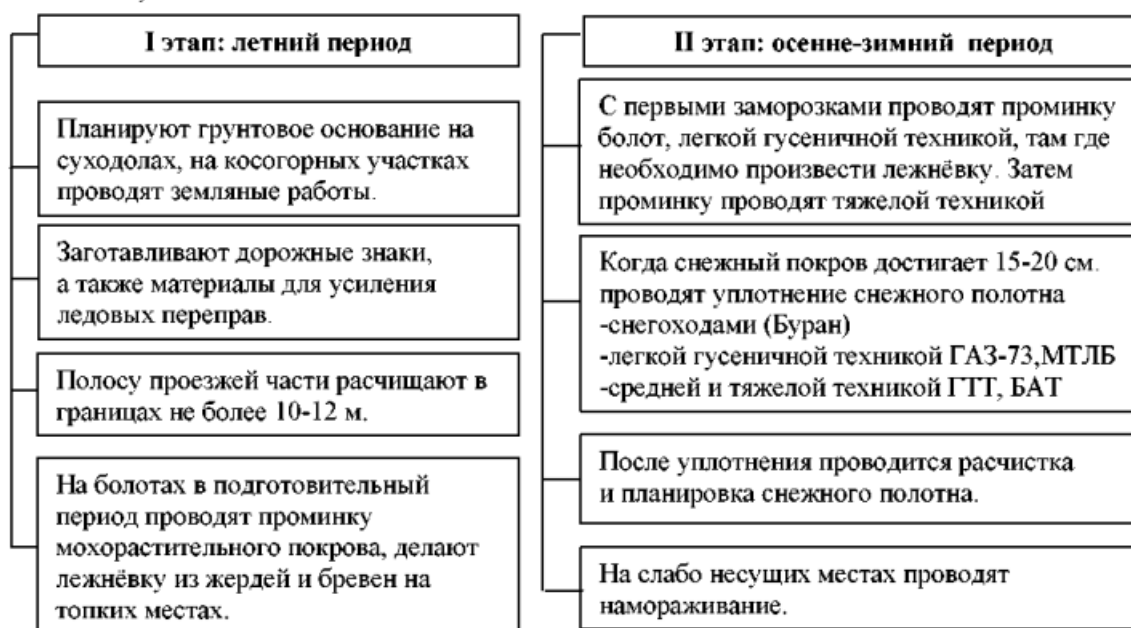


Рисунок 1 – Традиционный метод строительства автозимников [14]

Но в работе [14] предлагается новый метод строительства, который включает дополнительные действия на втором этапе строительства, которые позволят продлить срок эксплуатации автозимника. Суть данных мероприятий заключается в армировании снежного полотна, причем для большей экономической эффективности армирование производят не по всей длине зимней автомобильной дороги, а лишь на участках, на которых это необходимо.

Прежде всего на автозимниках должны быть четко выделены труднопроходимые участки, сокращающие длительность их эксплуатации. Обычно к труднопроходимым участкам относятся [15]:

- заболоченные участки трассы с грунтовым основанием из торфа;
- участки трассы с сильнопересеченным рельефом, где дорога пересекается водными преградами;
- участки трассы с крутыми склонами южных экспозиций, расположенными в грузовом направлении.

Это основные крупные типы участков трассы, которые сильно сокращают длительность эксплуатации. Причем первые два типа отодвигают сроки начала эксплуатации всей трассы на 15-30 дней, последний тип сокращает сроки эксплуатации на 5-10 дней. Поэтому специальный подход к каждому из указанных типов трассы при оборудовании и содержании снежно-ледяных покрытий позволяет увеличить общий срок ее эксплуатации.

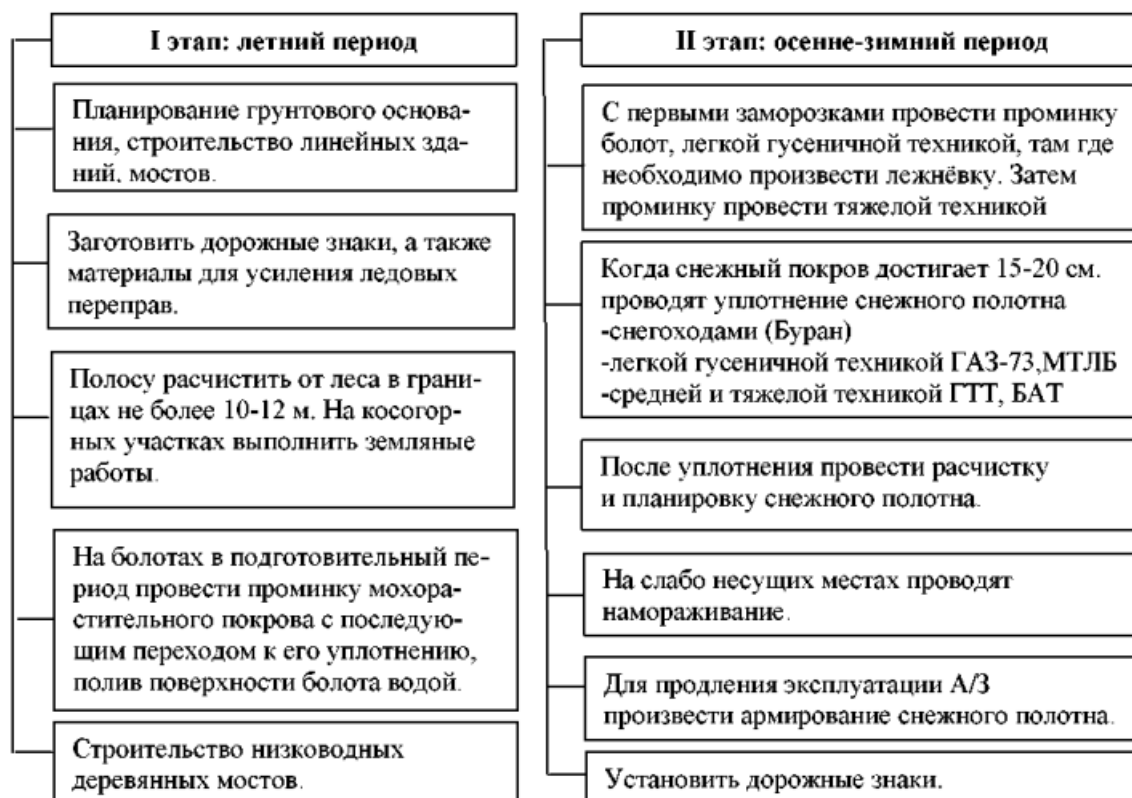


Рисунок 2 –Предлагаемый метод строительства автозимников [14]

Толщина снегового покрова на территории России весьма неравномерна. Она постепенно возрастает с запада на восток на Европейской части страны, уменьшаясь за Уральскими горами на территории Западной Сибири. Обширная территория наиболее глубоких снегов расположена в Красноярском крае, где высота снежного покрова достигает одного метра. В некоторых горных и приморских районах снега накапливается свыше 1.2 метра. На Камчатке высота снежного покрова достигает 1.3 – 1.6 метра, а в отдельных ее районах – 5 – 6 метров. На севере Тюменской области толщина снегового покрова не превышает, как правило, 30 – 40 см. Наиболее интенсивный прирост толщины снега наблюдается в начале зимы. Максимального значения толщина снега достигает во второй – третьей декадах апреля.

Ценность снега как материала для строительства зимних дорог определяется такими его свойствами, как плотность, твердость, несущая способность и характеристики его взаимодействия с движителями машин [16].

Увеличение плотности снега сверх 0.75 т/м³ возможно лишь при сдавливании частиц фирнового снега вплоть до слияния их в монолитный лёд. Плотность снега 0.500 – 0.600 т/м³ получается в колее после нескольких проходов транспортного средства.

Влажность снега характеризует количество содержащейся в нем жидкой фазы и имеет большое значение при формировании полотна зимней дороги. Относительная влажность снега в основном зависит от температуры и для свежесвыпавшего снега может колебаться от 1% до 25%.

Несущая способность снега, обеспечивающая возможность движения транспорта, зависит от толщины снежного покрова, его плотности, структуры и температуры. Для оперативной оценки несущей способности снега и льда

принимают конический пенетрометр, называемый зондом Хефели. Он состоит из полой трубки длиной 100 мм и диаметром 20 мм, оканчивающейся конусом, и расположенных над трубкой направляющего тержня и груза-ударника. Трубка имеет миллиметровые деления. Конус имеет диаметр основания 40 мм и высоту 35 мм. Сумма масс пенетрометра и груза составляет 1 кг. По принципу действия зонд Хефели аналогичен ударнику ДорНИИ.

Для обеспечения регулярного движения колёсной техники по зимней дороге необходимо, чтобы индекс твердости ее покрытия имел значения больше 350. Если индекс твердости не превышает 170, покрытие после 25 –30 проходов колёсной техники разрушается.

Для поддержания автозимников в пригодном для эксплуатации состоянии и обеспечения требуемой скорости движения транспортных средств необходим постоянный контроль показаний прочности (несущей способности) уплотненного снежного покрытия [17]. Для определения прочности снежного покрытия используют ударник-зонд Союздорнии [18] и твердомер НИАС [19]. Авторы работ В.З. Иофик [20] и японский исследователь Киносита (Kinoshita) [21] предлагают устройства, отличающиеся конструктивным исполнением и геометрическими параметрами инденторов, соприкасающихся со снегом.

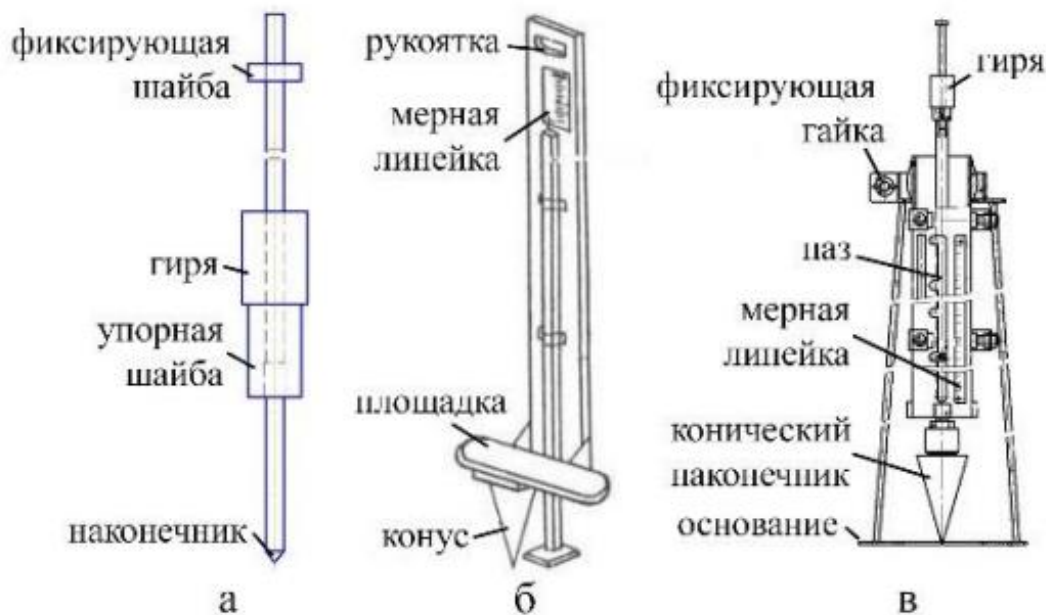


Рисунок 3 – Средства для измерения твёрдости снега

а – ударник-зонд Союздорнии; б – твердомер НИАС; в - твердомер [21]

Полевой контроль твердости снежного полотна с использованием ударника-зонда Союздорнии (рис. 3а) проводят следующим образом. Замеряют толщину снежного полотна. Определяют количество ударов гири, необходимое для полного погружения наконечника в верхний и нижний (соприкасающийся с грунтом) слои снежного полотна. Находят по номограмме допустимую удельную нагрузку на полотно с учетом интенсивности движения автомобилей. Недостатком ударника-зонда Союздорнии является необходимость множества повторений ударов гири, что ведёт к увеличению времени измерения твёрдости [22].

Принцип работы твердомера НИАС (рис. 3б) следующий. Твердомер устанавливается на снежное полотно, вынимают шпильку, скрепляющую стойку с доской-упором, рукой взявшись за рукоятку и, наступив одной ногой на площадку для ступни, перенести на нее тяжесть своего тела, после погружения конуса в снежное полотно, записать показание со шкалы мерной линейки.

Недостатком твердомера НИАС является низкая точность измерения из-за невозможности удерживать продольную ось строго в вертикальном положении при нажатии ногой, кроме того, глубина и скорость погружения конуса зависят от массы экспериментатора.

Твердомер (рис. 3в) работает следующим образом. Твердомер устанавливается на предварительно выровненное снежно-ледяное покрытие. Направляющая труба устанавливается в корпусе вертикально и фиксируется гайкой. Затем стержень с коническим наконечником поднимается вверх на высоту H , и отпускается. Под действием собственной тяжести он движется вниз и наконечник входит в снежно-ледяное полотно. Величина внедрения наконечника отсчитывается по шкале мерной линейки [23].

рамзонд и ударник-зонд Союздорнии требуют больших затрат времени для определения твердости снежного покрытия, микропетрометр и снежный зонд имеют недостаточный предел измерения твердости. Твердомер не обладает данными недостатками и имеет большую точность по сравнению с твердомером НИАС. Для улучшения процесса измерения твердости снежного полотна необходимо твердомер оборудовать цифровыми устройствами для снятия показаний глубины внедрения наконечника и последующего расчёта твёрдости полотна.

Список литературы

1. Копылов, С. В. Особенности нормативно-правовой документации по устройству и эксплуатации автозимников / С. В. Копылов // — г. Якутск: ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени им. М.К. Аммосова», 2021. — С. 273-276.

2. ВСН 137-89. «Проектирование, строительство и содержание зимних автомобильных дорог в условиях Сибири и Северо-Востока СССР», Минтрансстрой СССР, Москва – 1991.

3. Приказ Министерства транспорта РФ от 16 ноября 2012 г. № 402 «Об утверждении Классификации работ по капитальному ремонту, ремонту и содержанию автомобильных дорог».

4. Е.Г. Андреева К вопросу разработки проектной документации на автозимники / Е.Г. Андреева // Инженерный вестник Дона. — 2018. — № 1.

5. Бабков В.Ф., Андреев О.В. Проектирование автомобильных дорог. - М.: Транспорт, 1979. - 407 с.

6. Пасынкев А.Д., Коркишко А.Н., Система саморегулируемых организаций в строительстве // В сборнике: НАУКА СЕГОДНЯ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ материалы международной научно-практической конференции: в 2 частях. Научный центр «Диспут». 2016. С. 92-93.

7. М.Т. Исламова, А.П. Мохирев, Работоспособность дорог зимнего действия в первой климатической зоне / М.Т. Исламова, А.П. Мохирев // — Красноярск: ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», 2021. — С. 43-45.
8. Макаров В.И. Повышение устойчивости транспорта на зимних дорогах / В.И. Макаров, В.А. Лебедев // Дорожное строительство. - 2009. - № 9. - С. 18-21.
9. Арзуманов И.Р. "Методика оценки работоспособности зимних дорог в условиях Севера" // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. - 2014. - № 4(92). - С. 66-71..
10. Кузнецов А.Г. Строительство и эксплуатация зимников [Текст] / А.Г. Кузнецов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2010. - Т. 12, №1-1. - С. 76-81.
11. Синицына О.В., Кузнецов С.Г. "Оценка эффективности мероприятий по повышению работоспособности зимних дорог на примере Красноярского края" // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики" (НТВ ИТМО). – 2018. - № 1(135). – С. 85-88.
12. Управление проектами / И.И. Мазур, В.Д. Шапиро, Н.Г. Ольдерогге, А.В. Полковников, Под ред. И.И. Мазура, В.Д. Шапиро. - 6 изд. - М.: ОмегаЛ, 2010. - 960 с.13. Васильев Н.К. и др. Испытания консолей армированного морского льда // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2015. Т. 277. С. 46–55.
13. Костырченко, В. А., Федотов, В. В., Федотова, Е. А. Методы строительства снежоледовых дорог - автозимников / В. А. Костырченко, В. В. Федотов, Е. А. Федотова // — г. Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2021. — С. 234-236.
14. Ш.М. Мерданов, М.А. Корнилова, О.О. Чернякова, Е.Н. Черняков. Новые технологии строительства автозимников / Ш.М. Мерданов, М.А. Корнилова, О.О. Чернякова, Е.Н. Черняков // — г. Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2021. — С. 194-196.
15. С. А. Федоров. Увеличение длительности эксплуатации автозимников (по материалам, собранным в республике Саха (Якутия) / С. А. Федоров // СЕКЦИЯ ПРОБЛЕМ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА. — Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2020. — С. 193-196.
16. Корнилова М. А., Егоров А. Л. Снег и лед как строительные материалы / Корнилова М. А., Егоров А. Л. // — г. Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2020.
17. А.В. Лысянников, Р.Б. Желукевич, Ю.Ф. Кайзер, Ю.Г. Серебренникова, Н.Н. Лысянникова, В.Г. Шрам, Е.Г. Кравцова, М.А. Плахотникова Контроль несущей способности полотна автозимника / А.В. Лысянников, Р.Б. Желукевич, Ю.Ф. Кайзер, Ю.Г. Серебренникова, Н.Н. Лысянникова, В.Г. Шрам, Е.Г. Кравцова, М.А. Плахотникова // Известия ТулГУ. — г. Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2015. — С. 130-134.
18. Руководство по эксплуатации гражданских аэродромов Российской Федерации (РЭГА РФ-94). Утверждено Приказом директора Департамента воздушного транспорта от 19.09.94 № ДВ-98. Вступило в силу 09/19/1998. Новосибирск: Изд-во НПФ "Бестек-воздух", 1999 232 с.

19. Иофик В.З. Выбор моделей динамического плотномера для определения трудности разработки грунтов // Строительные и дорожные машины. 1990. № 5. С. 31 – 34. 20. Козин В.М. Васильев А.С., Земляк В.Л., Ипатов К.И. Исследование предельного состояния ледяного покрова в условиях чистого изгиба при усилении армирующими элементами // Вестник Томского государственного университета. Математика. Механика. 2019. № 81. С. 61–69. DOI: 10.17223/19988621/61/6.

21. Борьба со снегом и гололедом на транспорте: материалы 2-го Международного симпозиума, состоявшегося 15 – 19 мая 1978 г., Ганновер, штат Нью-Гэмпшир, США / пер, с англ. Л.Я. Менис, М.Н. Шипковой; под ред. А.П. Васильева. М.: Транспорт, 1986. 216 с.

22. Р.Б. Желукевич, Ю.Н. Безбородов, Ю.Ф. Кайзер, А.В. Лысянников, В.А. Артёменко, В.Е. Желукевич, Серебренникова Ю.Г. Твердомер // Патент на изобретение RU 2614336 С, 24.03.2017. Заявка № 2016104704 от 11.02.2016.

23. Н.А. Слипченко, А.В. Лысянников, Р.Б. Желукевич, Д.М. Теслин, Н.Е. Сергиенко. Средства контроля твёрдости снежного полотна автозимников / Н.А. Слипченко, А.В. Лысянников, Р.Б. Желукевич, Д.М. Теслин, Н.Е. Сергиенко // — :Институт Нефти и Газа СФУ, 2020. — С. 70-74.

Бондаренко А.Н., Абайдуллин Р.У., Федюк Р.С. АНАЛИЗ МОТОРНЫХ МАСЕЛ В ПЕРИОД САНКЦИЙ

*¹Бондаренко Андрей Николаевич, ¹Абайдуллин Рифкат Ульмасович,
²Федюк Роман Сергеевич*

*¹Тюменское высшее военно-инженерное командное ордена Кутузова училище
имени маршала инженерных войск А.И. Прошлякова,*

625001, Российская Федерация, г. Тюмень ул. Льва Толстого, д. 1

*²Дальневосточный федеральный университет, Военный учебный центр,
690922, Российская Федерация, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский,
п. Аякс, 10*

Аннотация. В данной статье рассматривается анализ моторного масла в период санкций. Анализ проведен по характеристикам.

Ключевые слова: группа, присадок, базовое масло, базовый, высокий, производитель, моторное масло, моторный, продукт, характеристика, производство, гидрокрекинг, двигатель, показатель, достоинство, качество

В 2022 году мировые марки моторных масел заявили о уходе. И в свободную нишу бросились новые производители из дружественных стран. Кроме новых поставщиков российские производители стали наращивать производство моторных масел. На фоне дефицита качественных масел увеличились поставки контрафактной продукции. Контрафактная продукция в Россию поставляется под марками Mobil, Shell, Castrol и другие.

Возникают вопросы:

Соответствует ли масло с заявленными характеристикам?

Способно ли выбранное масло защитить двигатель в период межсервисного интервала?

С одной стороны, развитие производства масел в России идет по пути соблюдения технологий и использование добротных материалов. В России выпускают «базовые масла». Эти «базовые масла» закупают зарубежные компании. Зарубежные компании добавляют в «базовые масла» комплект присадок и получают свой бренд.

Россия выпускает базовое масло хорошего качества.

Базовые масла делятся на группы:

I группа. «Минеральные» масла, получают из нефти путём грубой очистки.

II группа. Гидрокрекинговые масла производят при помощи процесса депарафинизации (очистка от парафинов) и гидрокрекинга (расщепление углеродов и насыщение водородом). Эта отличная очистка масла, чем очистка масла первой группы.

Достоинства гидрокрекинга

-повышенная стойкость к окислительным процессам.

III группа. Жёсткий гидрокрекинг, или HC-синтетика. Это базовое масло, которое подверглось процессу депарафинизации и гидрокрекинга при большом давлении и высокой температуре. При таких условиях часть химического состава превращается в стабильные компоненты с заданными характеристиками.

Достоинство жесткого гидрокрекинга.

-малый расход масла на угар;

-стойкость к температурным нагрузкам;

-высокая топливная экономичность;

IV группа. Полиальфаолефиновое масло (PAO). Масло получают путем синтеза из этилена. Это синтетическое масло, так как синтез происходит в реакторе.

Достоинства полиальфаолефинового масла:

- высокая стабильность при различных температурах как при высоких, так и при низких температурах;

- высокая устойчивость к окислению;

- низкая испаряемость.

V группа. Эстеры (Esters). Получают сложным химическим путем. Это полностью синтетические молекулы. Главное свойство такой базы — полярность молекул.

Достоинства эстеров

- естественная адгезия (прилипание), молекулы эстеров притягиваются к металлу, создавая прочную масляную пленку;

- высокая смазывающая способность;

- хорошая растворяющая способность, растворяет и удерживает в себе продукты сгорания;

Базовые масла разных групп отличаются друг от друга характеристиками, чистотой (наличие примесей) и индексом вязкости.

Для производства масел используются все группы. Проблема в том, что из I или II группы трудно получить современное первоклассное моторное масло, которое отвечает требованиям производителей автомобилей.

В России на сегодня доступны масла в полном объеме I и II группы, в меньшем объеме производятся масла III группы. Производством III группы занимаются ВИНКИ (вертикально-интегрированные компании), которые сами добывают и перерабатывают сырье. К таким компаниям относятся:

- Лукойл;
- Газпром;
- Роснефть.

Производство IV группы – мизерное для производителей конечных продуктов.

Сделаем вывод что, для покрытия потребности рынка производители ввозят импортные базовые масла IV группы и V группы.

С другой стороны, это применение присадок.

До 2022 года было так:

- купил базовое масло,
- купил запатентованные пакет присадок (Lubrizol, Infineum, Afton, Chevron),
- смешал по рецептуре и получил конечный продукт.

При использовании пакета присадок, масла сразу маркировали. Характеристики, ресурс, качество у производителей зависели от качественного базового масла, и количества надежных присадок.

Сейчас купить и привезти в Россию присадки зарубежных производителей исключено.

На смену пришел китайский RICHFUL (Ричфул), который используют 99% производителей в России.

Присадки RICHFUL отличаются от присадок именитых производителей более низким качеством показателей:

- не имеют стабильности, поэтому для производства продукта количество присадок всегда разное, что приводит к появлению продуктов одного наименования с разными показателями и характеристиками;
- не имеют официальных одобрений автопроизводителей;
- не соответствуют классификациям, таким как API, ACEA.

Сделаем вывод что готовый продукт моторное масло на основе хорошего базового масла и изменчивыми присадками с отсутствием одобрений от автопроизводителей выглядит продуктом низкого качества.

Лабораторный анализ моторного масла Лукойл на китайских присадках.

Лабораторный анализ моторного масла Lukoil Genesis Universal 5W-30 с китайскими присадками показал результаты:

Температура застывания -38, температура при которой теряется текучесть масла. Температура застывания корректируется присадками;

Щелочное число 10,5 (колеблется в пределах от 5 до 14) характеризует моющие свойства, благоприятное значение 9МгКОН. Это говорит о хороших моющих свойствах масла.

Испаряемость масла 9,3 (среднее значение 8) характеризует чем ниже испаряемость, тем экономнее будет расход масла. Результат 9,3 выше среднего, значит будет не большой расход масла.

Температура вспышки - 229°C показывает при какой температуре произойдет воспламенение паров масла. У передовых двигателей минимальный порог 210°- 220°C. Наши результаты выше среднего значит масло можно использовать в форсированных двигателях.

Массовая доля серы 0,287. Наш показатель расположен в пределах 0,200-0,300 и показывает, что базовое масло имеет синтетическую основу и большой пакет присадок.

Зола сульфатная 1,05 эта характеристика сульфатных солей (соли натрия, калия, фосфора), которые образуются при горении топлива. Наш показатель свыше 1.

Первое, масло высокосольное которое используется для двигателей с минимальными требованиями к экологии. Второе, чем выше показатель золы сульфатной, тем больше нагара остается на стенках цилиндров и быстрее засоряются масляные фильтры, что требует более частую замену масла и фильтра.

Заключение

Моторное масло Lukoil Genesis Universal 5W-30 подойдет большинству атмосферных моторов. Так же оно подойдет для турбированных бензиновых двигателей старых выпусков. Но для современных высокофорсированных моторов, которые требовательны к высокой температуре вспышки и малой зольности такое масло, к сожалению, не подойдет.

Учитывая характеристики масла, масло Lukoil Genesis Universal 5W-30 хорошо работает до 7500 км, далее, оно теряет свои свойства.

Список литературы

1. Беляев, С.В. Применение моторных масел в ДВС. Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. – 132 с.

2. Королев А.Е. Применение присадки серы в моторном масле // Международный научный журнал. Вестник науки № 11 (68) ноябрь 2023. - С. 903 - 906

3. Исследование остаточных свойств обработанного моторного масла автомобиля / Н. С. Каминский, П. Р. Гостэва, О. Г. Михайлова, С. М. Угай // International Journal of Advanced Studies. – 2023. – Т. 13, № 3. – С. 115-129. – DOI 10.12731/2227-930X-2023-13-3-115-129. – EDN OOPFUE.

References

1. Belyaev, S.V. The use of motor oils in internal combustion engines. Moscow; Vologda: Infra-Engineering, 2023. 132 p.

2. Korolev A.E. Application of sulfur additives in engine oil // International Scientific Journal. Bulletin of Science No. 11 (68) November 2023, pp. 903-906

3. Kamensky N. S., Gosteva P. R., Mikhailova O. G., Ugai S. M. Investigation of the main functions of automated production // International Journal of Advanced

Секция 9 - Перспективные энерготехнологии

Ким Кум Чол АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛА ИСТОЧНИКОВ СОЛНЕЧНОЙ И ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГИИ КОРЕЙСКОЙ НАРОДНО-ДЕМОКРАТИЧЕСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Ким Кум Чол

*Дальневосточный федеральный университет; Политехнический институт;
Департамент энергетических систем, Посёлок Аякс, 10 к С, пос. Русский,
Владивостокский городской округ, Приморский край, 690922
Научный руководитель: Силин Николай Витальевич*

Аннотация. В этом исследовании количественно оценен потенциал солнечной и ветровой энергетики Корейской Народно-Демократической Республики (КНДР) с использованием высоконадежных спутниковых данных и модели численного прогноза погоды. В исследуемом регионе средний потенциал энергии ветра (с 2013 по 2015 год) составил 3,44 кВтч/(м² · д), тогда как потенциал солнечной энергии был немного ниже — 3,36 кВтч/(м² · д); это можно объяснить горным рельефом страны и высокой широтой. Эти результаты среднегодовой плотности солнечной и ветровой энергии иллюстрируют значительный потенциал возобновляемой энергии КНДР.

Ключевые слова: возобновляемая энергия, потенциал энергии, солнечная энергия, ветровая энергия, источник электроэнергии, солнечное излучение

Основными источниками электроэнергии в Корейской Народно-Демократической Республике являются гидроэлектростанции и ископаемое топливо, на долю которых приходится приблизительно 55% и 45% соответственно от общей установленной мощности. Примечательно, что доступность электроэнергии в КНДР часто снижается зимой, когда основные речные системы, обеспечивающие выработку гидроэлектроэнергии, замерзают, ограничивая производство полезной энергии на гидроэлектростанциях. Возобновляемая энергия считается наилучшим устойчивым решением проблемы дефицита энергии [1].

Настоящее исследование направлено на создание обзора размера и пространственно-временного распределения потенциальных возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в основном солнечного света и ветра, по всей КНДР. Данные были получены из спутниковых снимков и повторного анализа данных численного прогноза погоды (ЧПП). Ресурсы солнечной энергии, полученные из данных спутникового дистанционного зондирования, а также мощность ветровой энергии, рассчитанной с помощью повторного анализа ЧПП,

позволили провести научную и количественную оценку возобновляемых ресурсов, пригодных для эксплуатации в КНДР [2-4].

Расположенная в Восточной Азии и граничащая на севере с Китаем и Россией, а на юге с Республикой Корея, КНДР простирается на 120 408 км² (37° с. ш. - 43° с. ш. и 124° в. д. - 131° в. д.) и имеет высоту от уровня моря до 2744 м. Примерно 80% КНДР покрыто горами и возвышенностями, что предполагает высокий потенциал для ветроэнергетики. КНДР испытывает комбинированное влияние засушливого и морского климата [5]. Зимы приносят ясную погоду, перемежающуюся снежными бурями из-за северных и северо-западных ветров, дующих из Сибири. Летом КНДР получает 60% годового количества осадков от южных и юго-восточных муссонов [6]. В зимний сезон страна получает мало солнечной радиации.

Анализ потенциала солнечной энергии

Основными источниками данных для оценки солнечной радиации и наземного контроля являются данные спутниковых и наземных пиранометров. Солнечная радиация КНДР оценивалась с использованием спутниковых данных, отражающих атмосферные условия в районе исследования [7]. Маскировка облаков выполнена для различения ясных и облачных областей. В целом, оптические и физические свойства облаков включают более яркую отражательную способность и более низкую температуру, чем у любых естественных объектов на суше. Соответственно, обычные алгоритмы пороговой маски облаков опирались на спектральные диапазоны для различения облачных областей по их более высокой отражательной способности и более низкой температуре. Пороговые значения для видимых и ИК-спектральных диапазонов определены эмпирически и отражали атмосферные характеристики КНДР. Для пикселей, считающихся «облачными», солнечное излучение, ослабленное облаками, моделировалось с использованием коэффициента облачности, в то время как для ясных областей использовалось солнечное излучение из параметризации атмосферы.

На рисунке 1 показано ежемесячное пространственно-временное изменение солнечной радиации, полученной со спутника в 2014 году, причем летние высокие значения солнечного ресурса обозначены красным цветом, а зимние низкие значения солнечного ресурса обозначены синим цветом. Изменения солнечной радиации следуют пространственной схеме гор во всех сезонных случаях. Аналогичным образом, поскольку высокая вероятность облачности существует в атмосферном слое над высокогорными регионами из-за физического адиабатического расширения, в целом низкие значения солнечной радиации были отмечены в простирающихся с севера на юг высоких горных хребтах западной части КНДР. В КНДР получает меньше солнечной радиации, ее пространственные схемы достаточно сложны из-за ее высокой широты и большой протяженности гор.

Как правило в КНДР наибольшая солнечная радиация ожидается с конца июня до конца августа, однако в 2014 году пик солнечной радиации пришелся на май (рис. 1). Зимой на западных склонах горного массива сильны северо-

западные ветры и низкие значения солнечной радиации, а летом (особенно в июне), когда преобладают сильные юго-восточные ветры, солнечная радиация на восточных склонах снижается.

На рисунке 2 показаны годовые пространственно-временные изменения солнечной радиации в КНДР с 2013 по 2015 год. Показано, что межгодовая изменчивость ресурсов солнечной энергии в КНДР значительно ниже пространственной изменчивости. Особенно это актуально, если рельеф сложный или земля имеет большое широтное распространение. Более того, влияние топографии на падающую солнечную радиацию является более доминирующим, чем метеорологическая изменчивость, поскольку эффекты топографии сохраняются с течением времени.

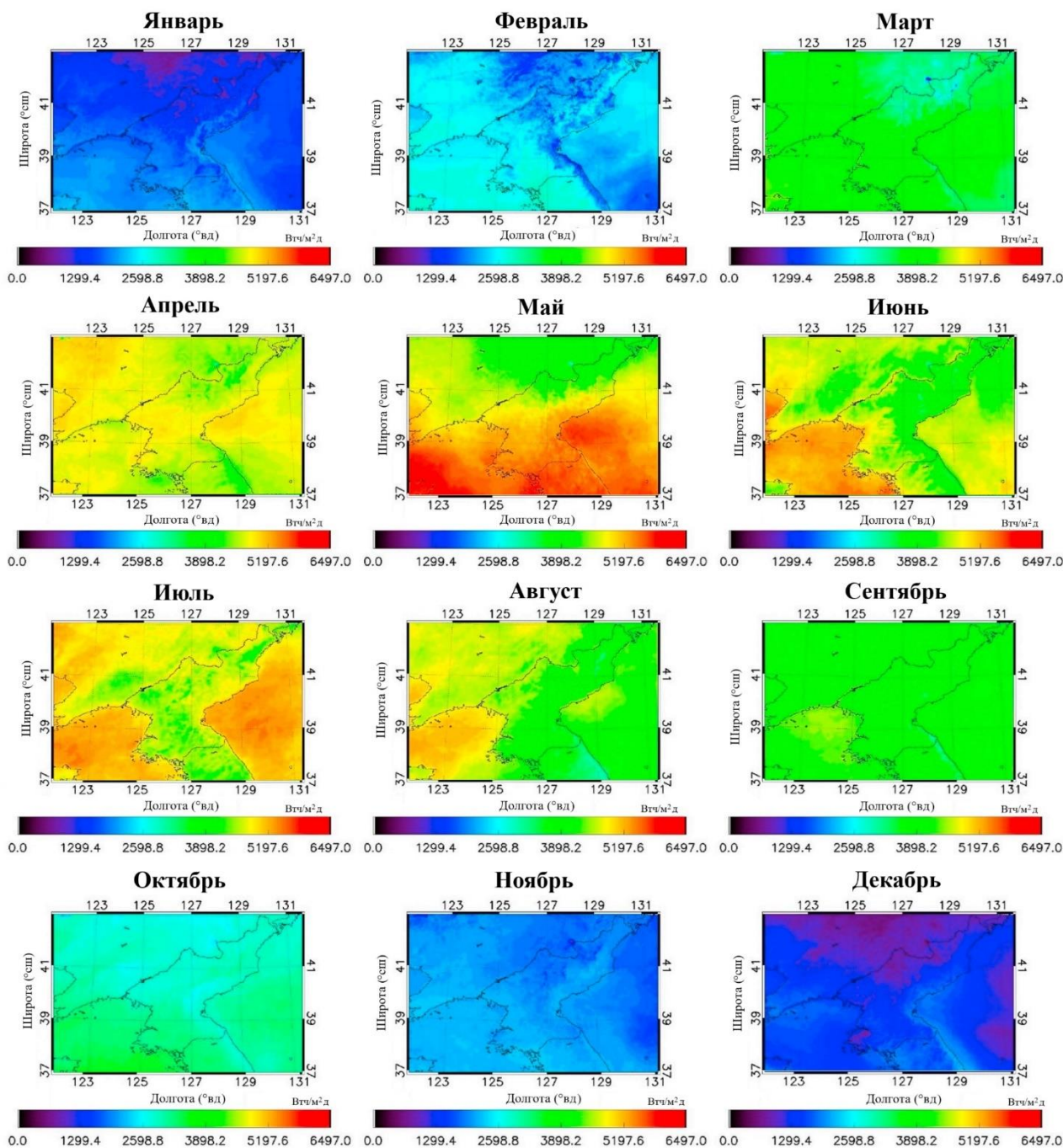


Рисунок 1 - Пространственные карты ежемесячного солнечного излучения, полученные с помощью спутниковой физической модели для КНДР в 2014 году.

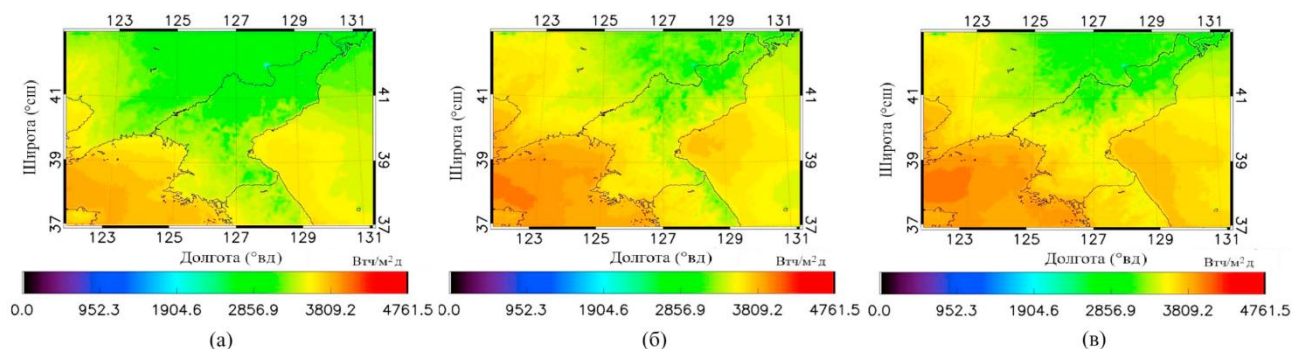


Рисунок 2 - Карты годового солнечного излучения над КНДР, полученные с помощью спутниковой физической модели. (а), (б) и (в) относятся к 2013, 2014 и 2015 годам соответственно.

Анализ потенциала ветровой энергии

Для оценки потенциала энергии ветра были получены и проанализированы данные численного прогноза погоды и информация от Локальной системы ассимиляции и прогнозирования данных (ЛСАПД). Эти данные использованы для разработки выходной статистики ЧПП, а также для ее проверки.

Ежемесячная временная эволюция плотности энергии ветра, полученной с помощью ЧПП, для суши и океана в 2014 году показана на рисунке 3. Возобновляемый потенциал солнечной энергии для земных территорий значителен, поскольку нынешняя технология солнечных панелей в значительной степени ограничена сушей. Однако в случае ветроэнергетических ресурсов можно использовать потенциал возобновляемых источников энергии как на суше, так и на море. На суше чувствительность ветроэнергетических ресурсов к широте ниже, чем у солнечной радиации, а их потенциальная энергия зависит от рельефа местности, особенно в высокогорных районах. Интенсивность энергетического потенциала ветровых и солнечных ресурсов демонстрирует пространственно-инвертированную структуру. Например, высокие горы обладают потенциально высокими ресурсами энергии ветра из-за высоких скоростей ветра, но низкими потенциальными ресурсами солнечной энергии из-за высокой частоты облачности.

Учитывая низкую неровность поверхности морских территорий, потенциальные ветровые ресурсы на море как количественно, так и качественно больше, чем на суше. Однако сезонные закономерности в ветровых ресурсах действительно существуют. Расположенная между азиатским континентом и северной частью Тихого океана, КНДР испытывает зимой северо-западный муссон из-за сибирских континентальных воздушных масс, а летом доминирует юго-восточный муссон, вызванный расширением высокого давления в северной части Тихого океана. Морские территории и прибрежные районы демонстрируют более выраженные сезонные тенденции в ветроэнергетике, чем

сухопутные. Зимой потенциалы обычно высоки из-за сильных северо-западных муссонных ветров, но летом они, как правило, слабее. Зимой пространственные характеристики ветрового потока показывают, что сильные северо-западные муссоны заставляют ветер уходить из внутренних районов в сторону восточного побережья КНДР.

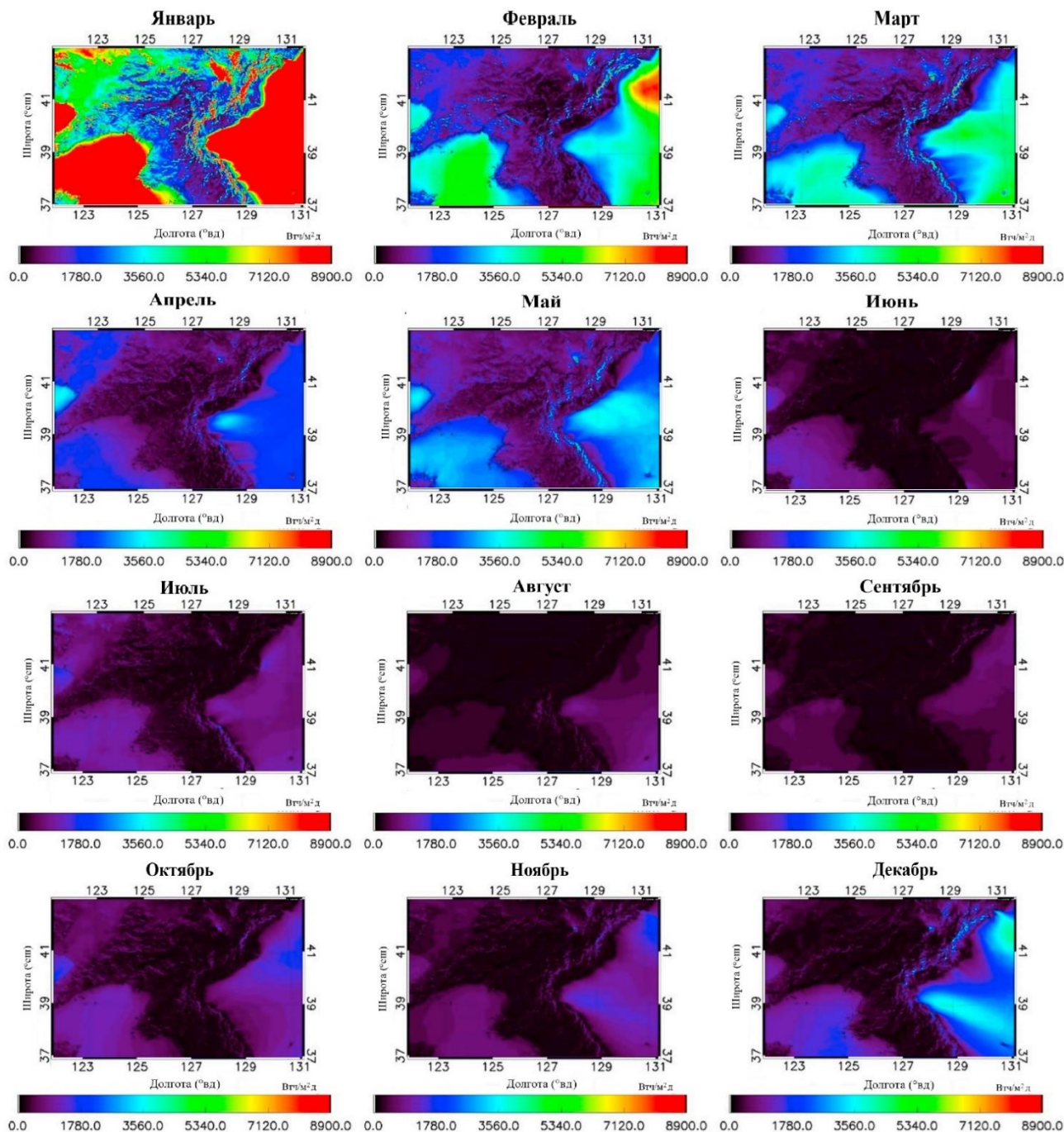


Рисунок 3 - Карты ежемесячных потенциальных ресурсов ветроэнергетики в КНДР за 2014 год, полученные на основе результатов моделирования метеорологических исследований и прогнозирования (МИП).

Как и в случае с ежемесячными картами ветровой энергии, годовые пространственно-временные изменения в ветровой энергии в КНДР с 2013 по

2015 год (рис. 4) показывают четкие пространственно-временные закономерности как для суши, так и для морских районов. Морские регионы показывают относительно больший потенциал, поскольку более высокая шероховатость поверхности в пограничном слое атмосферы снижает потенциал ветровой энергии на суше. Эта закономерность в целом согласуется со сравнениями выходной мощности между ветровыми электростанциями на большой высоте и ветряными электростанциями на море, как описано для генераторов класса Международной электротехнической комиссии (МЭК), работающих при $210\text{--}320 \text{ Вт/м}^2$ и генерирующих приблизительно $5,04\text{--}7,68 \text{ кВтч}/(\text{м}^2 \cdot \text{д})$.

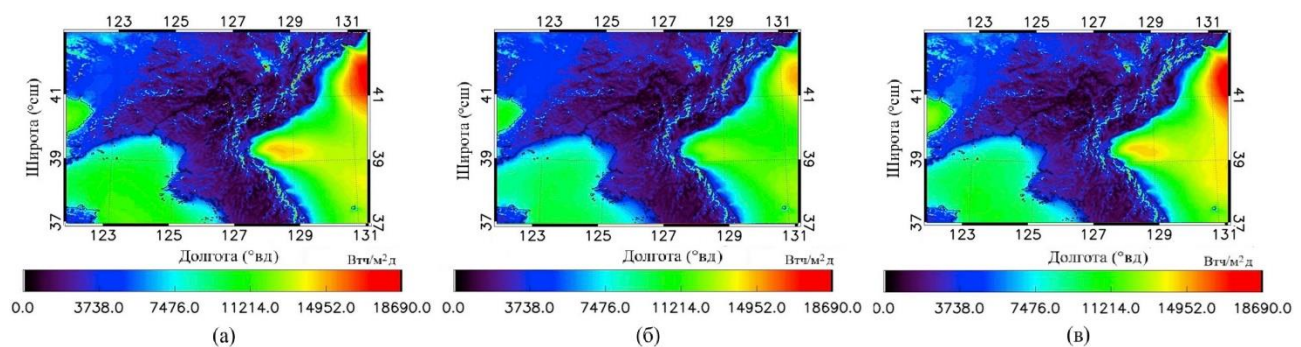


Рисунок 4 - Карты годовых ресурсов ветроэнергетики в КНДР, основанные на смоделированных данных метеорологических исследований и прогнозирования (МИП). (а), (б) и (в) относятся к 2013, 2014 и 2015 годам соответственно.

Средний потенциал солнечной энергии в КНДР за трехлетний период составил $3,36 \text{ кВтч}/(\text{м}^2 \cdot \text{д})$. Потенциал солнечной энергии КНДР достаточно велик, и солнечные электростанции все еще могут быть осуществимы в регионе. По сравнению с потенциалом возобновляемой энергии соседнего Китая (2015) в $3,93 \text{ кВтч}/(\text{м}^2 \cdot \text{д})$ [8], годовой потенциал солнечной энергии КНДР ($3,43 \text{ кВтч}/(\text{м}^2 \cdot \text{д})$) является существенным; общий энергетический потенциал КНДР сопоставим с солнечными энергетическими ресурсами Китая, учитывая, что на китайском Цинхай-Тибетском плато и в пустыне Такла-Макан относительно низкая облачность.

В 2015 году из девяти провинций КНДР Южный Хванхэ продемонстрировал самый высокий потенциал возобновляемых источников энергии в $3,79 \text{ кВтч}/(\text{м}^2 \cdot \text{д})$. Текущее исследование рассматривало только краткосрочные данные, но постоянно высокое количество солнечной радиации, наблюдаемое в течение периода исследования, позволяет предположить, что регион Южный Хванхэ мог бы устойчиво использовать свои ресурсы солнечной энергии. Более того, значительная часть КНДР покрыта равнинами и холмами с низкими высотами, регионами, которые могли бы быть привлекательными местами для строительства объектов солнечной энергии с точки зрения топографии. На основе среднегодовых значений солнечной энергии провинция Рянган показала самый низкий потенциал солнечной энергии в $3,16 \text{ кВтч}/(\text{м}^2 \cdot \text{д})$, что еще ниже, чем у провинции Северный Хамгён ($3,18 \text{ кВтч}/(\text{м}^2 \cdot \text{д})$),

которая находится в высокоширотном регионе КНДР. Возможно, это связано с тем, что провинция Рянган более гористая, чем провинция Северный Хамгён.

Изучение потенциальных ресурсов ветроэнергетики в девяти административных провинциях за три года (2013, 2014 и 2015), а также для КНДР в целом показало, что трехлетний средний потенциал ресурсов ветроэнергетики КНДР составляет около 3,44 кВтч/(м² · д). Однако ветровая энергия имеет гораздо более высокую пространственную дисперсию, чем солнечная энергия. Поскольку облака, связанные с определенными типами рельефа или региональными погодными особенностями, являются прерывистыми, а не непрерывными, потенциал солнечной энергии может упасть до очень низких значений, хотя он редко достигает нуля, даже в экстремальных случаях. Кроме того, падающее солнечное излучение частично передается через облака. Напротив, ресурсы ветроэнергетики больше зависят от топографии, чем от географического положения или облачности; поток воздушной массы наиболее сильно зависит от воздействия рельефа на синоптические и микромасштабные циркуляции. Эти результаты среднегодовой плотности солнечной и ветровой энергии иллюстрируют значительный потенциал возобновляемой энергии КНДР.

Список литературы

1. Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика / В.В. Елистратов. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 239 с.
2. Yim SHL. Developing a high-resolution wind map for a complex terrain with a coupled MM5/CALMET system / Fung JCH, Lau AKH, Kot SC. // J Geophys Res. – 2007. – Vol. 112. – D05106.
3. Salcedo-Sanz S. Hybridizing the fifth-generation mesoscale model with artificial neural networks for short-term wind speed prediction/ Perez-Bellido AM, Ortiz-García EG, Portilla-Figueras A, et al. // Renew Energy. – 2009. – Vol. 34. – P. 1451–1457.
4. Fernandez-Gonzalez. Sensitivity analysis of the WRF model: wind resource assessment for complex terrain / S. Martín ML, E. García-Ortega, A. Merino, et al. // J Appl Meteorol Climatol. – 2018. – Vol. 57. – P. 733–753.
5. Peel MC. Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification. / Finlayson BL, McMahon TA. // Hydrol Earth Syst Sci. – 2007. – Vol. 11. – P. 1633–1644.
6. KMA. Annual report 2015. [Electronic resource] – URL: http://www.kma.go.kr/download_01/Annual_Report_2015.pdf. (accessed: 25.11.2024).
7. NMSC KMA. COMS meteorological data processing system (CMDPS) algorithm theoretical basis document (ATBD). [Electronic resource] – URL: <http://203.247.66.167/html/homepage/en/ver2/static/selectStaticPage.do?view¼satellites.coms.operations.selectATBT#none>. (accessed: 25.11.2024).
8. Qin W. Comparison of deterministic and data-driven models for solar radiation estimation in China. / L. Wang, A. Lin, M. Zhang, et al. // Renew Sustain Energy Rev. – 2018. – Vol. 81. – P. 579–594.

**Силин Н.В., Киншт Н.В., Петрунько Н.Н. ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО
СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО
ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СПЕКТРОВ
СОБСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.
ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ**

*¹Силин Николай Витальевич, ²Киншт Николай Владимирович, ²Петрунько
Наталья Николаевна*

*¹ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»,
Департамент энергетических систем Политехнического института,
Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, 690922*

*²ФГБУН Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного
отделения Российской академии наук,
Лаборатория технической диагностики,
Приморский край, г. Владивосток, ул. Радио, 5, 690041*

Аннотация. Представлена информация, отражающая исторические аспекты разработки и внедрения электромагнитного способа контроля высоковольтного электроэнергетического оборудования, основанного на анализе спектров его собственного электромагнитного излучения.

Ключевые слова: электромагнитный контроль, высоковольтное оборудование, диагностика электрооборудования.

Введение

Для высоковольтного электроэнергетического оборудования (ВВЭО) проблема контроля и технического диагностирования стоит особенно остро в виду большой ответственности выполняемых им функций. Успех ее решения во многом зависит от выбора контролируемых параметров, умения предсказать возможный момент отказа на основании анализа числовых критериев. При разработке методов текущего контроля наиболее перспективными считаются методы, основанные на возможности ранней диагностики. Однако их перечень в настоящее время крайне ограничен. Существенное влияние на конструктивность методов оказывает наличие возможности их технической реализации, широкого использования стандартных метрических средств, простоты обслуживания.

Получение информации как о факте наличия дефекта, так и о динамике его развития на самой ранней стадии этих процессов позволяет кардинально изменить процедуру контроля и технического диагностирования ВВЭО. В этом случае классические испытания, определенные нормативным документом РД 34.45-51.300-97 «Объем и нормы испытаний электрооборудования» [1], можно проводить по мере необходимости и в том объеме, который позволяет определить ресурс работоспособности ВВЭО.

Особенно активно обсуждение этих проблем началось с 1993 года на сессиях СИГРЭ, когда крупнейшие энергосистемы мира представили свои технические системы «On-line мониторинга». С 1995 года эта проблема была в

центре внимания ряда международных симпозиумов и конференций [2-4]. На этих форумах в результате обмена опытом специалисты стран Запада и Востока пришли к выводу о необходимости разработки новых систем непрерывного контроля и диагностики.

Разнообразие методов и средств, предназначенных для этих целей, требуют глубоких теоретических и экспериментальных исследований, анализа полученных результатов, сравнения их эффективности, выработки рекомендаций по выбору наиболее целесообразного комплекса контрольно-диагностических мероприятий.

Состояние изоляции высоковольтного электроэнергетического оборудования в значительной степени определяется появлением и развитием дефектов, связанных с интенсивностью и распределением в них частичных электрических разрядов (ЧР). Появление и развитие ЧР сопровождается многими проявлениями, среди которых наиболее существенными с точки зрения воздействия на изоляцию являются:

- 1) химические процессы, в результате которых появляются продукты разложения органической изоляции и металла;
- 2) появление и распространение электрического сигнала по схеме регистрации;
- 3) акустические процессы, сопровождаемые распространением механических ударных волн по изоляции;
- 4) оптические явления;
- 5) излучение электромагнитных волн;
- 6) тепловые процессы, приводящие к локальным повышениям температуры, росту потерь.

Результатом исследования вышеперечисленных физических процессов стали методы регистрации и анализа частичных разрядов, появление и использование показателей и критериев, по которым с различной степенью достоверности можно контролировать состояние изоляции и самого оборудования. Электромагнитным полям, сопровождающим появление и развитие ЧР, как и другим проявлениям ЧР, уделялось достаточно большое внимание. За последние 30 лет сформировалось направление по использованию электромагнитных полей, источниками которых является высоковольтное электроэнергетическое оборудование, для целей оценки его технического состояния. Практика показывает, что регистрация и анализ интегральных характеристик, таких как число импульсов внешнего электромагнитного поля, плотности потока энергии, превышающих некоторый граничный уровень, позволяют осуществлять контроль частичных разрядов под рабочим напряжением. Однако все разработанные показатели, характеризующие интенсивность ЧР, обладают существенным недостатком, а именно, результаты обследований имеют случайную диагностическую ценность. При анализе диагностической ценности определяющее значение имеет наличие монотонности изменения значения контролируемого показателя во времени при развитии характеризуемого им дефекта [5].

Новые возможности по использованию электромагнитного контроля открываются при регистрации и детальном анализе индивидуальных спектров собственного электромагнитного излучения (ЭМИ) оборудования, научном обосновании выбора исследуемых частотных диапазонов. При этом появляется возможность количественной оценки и введения показателей технического состояния, обладающих детерминированной диагностической ценностью.

Исторические аспекты разработки метода электромагнитного контроля

В 1999 году в четвертом номере журнала «Электричество» была опубликована статья Н.В. Киншта, М.А. Каца «Диагностика точечных источников электромагнитных шумов» [6], в которой изложены принципы построения диагностической модели, описывающей взаимосвязь источников и приемников электромагнитных шумов на электрической подстанции в частотной области. Автор идеи и руководитель направления исследований Николай Владимирович Киншт поставил перед коллективами лаборатории электрофизики и электроэнергетики Института автоматики и процессов управления ДВО РАН и кафедры теоретической и общей электротехники Дальневосточного Государственного Технического университета (ныне Политехнический институт Дальневосточного Федерального Университета) следующие задачи:

- описание особенностей спектрального состава собственного электромагнитного излучения высоковольтного оборудования на электроэнергетическом объекте;
- анализ излучающих свойств оборудования;
- определение информативных частотных диапазонов, на которых можно эффективно проводить контроль оборудования под рабочим напряжением;
- разработка алгоритма построения диагностической электромагнитной обстановки на электроэнергетическом объекте;
- обоснование и установление критериев оценки технического состояния высоковольтного оборудования на основании анализа спектров собственного электромагнитного излучения;
- разработка методики регистрации спектров собственного электромагнитного излучения вблизи высоковольтного оборудования;
- разработка методики оценки технического состояния высоковольтного оборудования под рабочим напряжением на основе анализа спектров собственного электромагнитного излучения;
- формирование базовой диагностической информации о спектрах электромагнитного излучения при наличии дефектов термоэлектрического характера;
- разработка принципов формирования базы данных спектров электромагнитного излучения высоковольтного оборудования;
- выработка рекомендаций по выбору серийно выпускаемой стандартной аппаратуры для формирования стационарных и мобильных информационно-измерительных комплексов.

Исследования по описанию особенностей спектрального состава собственного электромагнитного излучения высоковольтного оборудования на электроэнергетическом объекте были начаты в 1998 году. На подстанциях «А» и «АртемТЭЦ» ОАО Дальэнерго, а также подстанции «Дальневосточная» Приморского предприятия магистральных электрических сетей в 1998-1999 годах были проведены эксперименты по регистрации и анализу электромагнитного излучения вблизи силовых трансформаторов и другого высоковольтного оборудования. В экспериментах участвовали Н.В. Киншт (руководитель, ИАПУ ДВО РАН), Н.В. Силин (зав. каф. ТОЭ ДВГТУ), М.А. Кац (профессор ДВГТУ), В.П. Говорухин, В.И. Сигида, С.Г. Дементьев, А.Д. Стефанюк (преподаватели ТОВВМУ им. С.О. Макарова), В.А. Клыковский (ведущий специалист ОАО НПП ФАРАД). Большую помощь в организации и техническом сопровождении экспериментов оказали руководящий состав и инженеры Дальэнерго, Приморского предприятия магистральных электрических сетей: В.В. Загоскин, А.В. Шатурин, С.Н. Карачун, Б.А. Ищенко, В.В. Меньшенин, А.А. Шнейдер. Состав аппаратуры включал приемные устройства и различные типы антенн: приемник 3000А, радиоприемник с ферритовой и штыревой антеннами, осциллограф С1-83, антенна ненаправленная, направленная антенна П6-23А. В ходе исследований проводился качественный анализ уровней электромагнитных шумов вблизи основного высоковольтного оборудования, расположенного на подстанции. Измерения проводились в мегагерцовом диапазоне. В результате экспериментов были сделаны следующие важные выводы:

- наиболее интенсивное ЭМИ вблизи силового оборудования напряжением свыше 110 кВ наблюдается в мегагерцовом диапазоне на частотах от 40 до 200 МГц;

- выявлена ярко выраженная индивидуализация спектров для отдельных единиц оборудования (автотрансформаторов, трансформаторов тока, напряжения и т.д.);

- оборудование с аномальными характеристиками ЭМИ (увеличением амплитуды и количества спектральных линий, ростом мощности потока) подлежит первоочередному расширенному диагностическому обследованию.

В 1999 году в течение трех месяцев по договору с ЗАО ЛУТЭК было проведено несколько диагностических обследований (регистрация и анализ собственных электромагнитных излучений) трансформатора ТДЦ – 250000/500. Исполнителями работ были: Н.В. Киншт (руководитель, ИАПУ ДВО РАН), Преображенская О.В. (доцент ДВГТУ), Петропавловский Ю.Б. (аспирант ДВГТУ), Говорухин В.П., Сигида В.И. (преподаватели ТОВВМУ им. С.О. Макарова). При проведении диагностического обследования применялись следующие приборы: спектромонитор MN-227 В PROMAX, приемная направленная антенна Дельта К-331, видеокамера SONY. Видеозаписи спектров оцифровывались на ПЭВМ Pentium с помощью программы нелинейного видеомонтажа ADOVA PREMIERA. Регистрировались и анализировались спектры собственного ЭМИ в диапазоне 40–160 МГц. По итогам обследования был сделан вывод о стабильности технического состояния трансформатора,

возможности его дальнейшей эксплуатации и отсутствия необходимости срочной остановки (по данным регламентных испытаний).

Дальнейшие с 2000 по 2004 годы регулярные обследования автотрансформаторов 500 кВ на ПС «Дальневосточная» и «Итатская» позволили накопить базу данных об индивидуальных спектрах каждой единицы оборудования, а также установить факт появления и развития дефекта вплоть до аварии в одном из автотрансформаторов. В результате исследований были выработаны критерии и дана их количественная оценка на различных стадиях развития дефектов, связанных с развитием частичных разрядов. Важным результатом обследований, проводимых на ПС «Дальневосточная» и ПС «Итатская» с.н.с. Н.Н. Петрунько, адъюнктом В.И. Сигидой и аспирантами М.Ю. Белушкиным, А.Б. Поповичем, Ю.Б. Петропавловским, стало установление возможности индивидуализации спектров путем использования направленных антенн (в частности логопериодических). Были разработаны требования по расположению и ориентированию антенн, обеспечивающие регистрацию спектров от отдельной единицы оборудования.

Существенной особенностью разработанного способа является обоснованный выбор информативных частотных диапазонов, а также критериев оценки технического состояния. Решение задачи по определению информативных частотных диапазонов, на которых следует проводить контроль оборудования под рабочим напряжением тесно связано с анализом излучающих свойств оборудования. Исследования показали, что характерные всплески и провалы в интенсивности электромагнитного излучения, присущие каждому виду оборудования, связаны с параметрами излучающих антенн, роль которых выполняют наружные вертикальные части вводов, изолированные от заземленного металлического корпуса. Эти антенны излучают электромагнитные колебания на частотах, близких к значениям резонансных частот колебательных систем, состоящих из наружных и внутренних проводов оборудования.

В качестве количественных показателей оценки технического состояния оборудования целесообразно использовать амплитуду спектральных линий и/или коэффициент интегральной мощности излучения. Оба показателя вычисляются для всех выделенных информативных частотных полос как по основной, так и по высшим гармоникам колебательных систем в рассматриваемых информативных частотных полосах. Заключение о степени дефектности ВВЭО делается на основании расчета вышеназванных показателей, значения которых позволяют дать оценку текущего состояния, составить прогноз на дальнейшую эксплуатацию оборудования, определить вероятность перехода в предаварийное состояние.

Результаты решения задачи по подготовке методик регистрации спектров собственного электромагнитного излучения и оценки технического состояния на основе анализа спектров собственного электромагнитного излучения нашли отражение в докторской диссертации Н.В. Силина «Оценка технического состояния электроэнергетического оборудования по спектральным характеристикам излучаемого им электромагнитного поля».

В диссертационных работах Н.В. Силина, Н.Н. Петрунько, В.И. Сигиды, М.Ю. Белушкина, А.Д. Стефанюка, подготовленных под руководством Н.В. Киншта, подтверждены достоинства и практическая ценность метода, а именно:

1. Обследование оборудования производится дистанционно, под рабочим напряжением, без вмешательства в технологический процесс.
2. Собственное электромагнитное излучение передает информацию о состоянии оборудования непрерывно, его регистрацию можно осуществлять в любое время года.
3. Высокая чувствительность метода позволяет обнаружить дефект на ранней стадии его появления.
4. Информация о появлении локальных дефектов немедленно появляется в информационном электромагнитном поле.
5. Фиксацию дефекта можно считать ранней, поскольку имеется резерв времени для оценки степени опасности дефекта.
6. Возможна организация мониторинга состояния оборудования в режиме реального времени.
7. Возможность использования стандартных информационно-измерительных средств.

В процессе практического применения метода электромагнитного контроля достаточно большое внимание уделялось формированию архивного материала, полученного в период с 1998 по 2024 годы на электроэнергетических объектах Приморского края (подстанциях «Приморская», «Дальневосточная», «Чугуевка-2», «Угольная», «Патрокл», «Владивосток», «Зеленый угол», «Волна», «Русская»), а также на подстанциях «Хабаровская», «Итатская» (Красноярский край), «Академическая», «Научная» (Академгородок, г. Новосибирск), Зейской ГЭС (Амурская обл.), ПС 110 кВ ГНПС-1 МН «Куюмба-Тайшет», мобильных подстанциях 10/110 кВ в Крыму.

Одним из итогов совместной работы коллективов ИАПУ ДВО РАН и ДВФУ под руководством профессора Н.В. Киншта стали заявки на результаты интеллектуальной деятельности (патенты). В общей сложности получено более 20 патентов на способы оценки технического состояния высоковольтного оборудования.

"Работа выполнена в рамках гос. задания ИАПУ ДВО РАН «Развитие теории и методов повышения эффективности сложных технических систем и процессов» (тема № FWW-2021-0003)".

Список литературы

1. РД 34.45-51.300-97. Объем и нормы испытаний электрооборудования. М.: Издательство НЦ Энас, 2004. 254 с.
2. D'Ajello L. A Monitoring and diagnostic System for a High Power Autotransformer and associated Bays // CIGRE Symp. "Diagnostic and Maintenance Techniques, Berlin, 1993, rep. 110-05.

3. Feser K. On-line diagnostic System for monitoring the thermal behaviour of transformer // CIGRE Symp. "Diagnostic and Maintenance Techniques, Berlin, 1993, rep. 110-05.
4. Eudo F., Hama H., Matsomoto S., Hironaka S. Innovation of GIS insulation monitoring techniques and application to remote monitoring system // CIGRE Session. Paris.2002. p.92-98.
5. Майоров А.В., Львов М.Ю., Кулюхин С.А., Львов Ю.Н., Лютько Е.О. Оценка технического состояния силовых трансформаторов и автотрансформаторов напряжением 110 кВ и выше. М.: ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение, 2022. 128 с.
6. Киншт Н.В., Кац М.А. Диагностика точечных источников электромагнитных шумов // Электричество,- 1999. № 4. – С.40-42.
7. Киншт Н.В., Кац М.А., Силин Н.В. Диагностика электроэнергетического оборудования // Труды первого инвест. Конгресса, г. Владивосток, 2000. – С.159–163.
8. Kinsht N.V., Silin N.V., Preobrazhenskaya O.V., Petrun'ko N.N., Popovich A.B. Diagnostics of high-voltage equipment. Logical aspects // Pacific Science Review. – 2001. - Vol. 3. – P.5-8.
9. Киншт Н.В., Силин Н.В., Петропавловский Ю.Б. Мониторинг электромагнитного излучения высоковольтного оборудования // Труды международного симпозиума по ЭМС. Санкт-Петербург.- 2001. – С.110–115.
10. Киншт Н.В., Кац М.А., Петрунько Н.Н. Научные исследования лаборатории электрофизики и электроэнергетики ИАПУ ДВО РАН //Сборник научных статей. ИАПУ ДВО РАН. Владивосток. - 2001г. – С.134-143.
11. Киншт Н.В., Силин Н.В., Загоскин Д.Д. О спектральном составе сигналов вблизи высоковольтного оборудования // Сб. докл. межд. конф. по ЭМС, С.Петербург, 2002. – С.136–140.
12. Киншт Н.В., Силин Н.В., Загоскин Д.Д. Электромагнитная диагностика высоковольтного оборудования // Теоретические и практические проблемы развития электроэнергетики России: Труды межд. научно-практической конференции, С.Петербург, 2002. – С. 230–231.
13. Петрунько Н.Н. Анализ процессов образования и распространения электромагнитных излучений высоковольтного электроэнергетического оборудования // Автореф. канд.дисс. Владивосток, 2002.
14. Силин Н.В., Попович А.Б., Петрунько Н.Н. Представление данных, полученных при изменении спектров сигналов от высоковольтного оборудования // Энергетика: управление, качество и эффективность исследование энергоресурсов: Сборник докладов III Всероссийской научно-технической конференции с межд. участием, Благовещенск, 2003. – С.455–460.
15. Киншт Н.В. и др. Техническая диагностика и мониторинг мощных энергетических установок по полям их излучений // Автометрия. 2003. № 6. – С.24–32.
16. Силин Н.В. Исследование распределения электромагнитного поля вблизи высоковольтного трансформатора // Труды ДВГТУ. – 2004. – вып. 136. – С.196–200.

17. Киншт Н.В., Лосев В.Л., Силин Н.В., Белушкин М.Ю., Попович А.Б. Анализ электромагнитного излучения силового автотрансформатора // Сборник трудов VI международного симпозиума по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии, Санкт-Петербург: Изд-во СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 2005. – С.124–129.
18. Силин Н.В. Оценка стабильности работы высоковольтного оборудования на основе анализа его собственного электромагнитного излучения // Энергетика: управление, качество и эффективность исследования энергоресурсов: Сб. докл. IV Всероссийской научно-техн. конф. с межд. участием, Благовещенск, 2005 . – С. 402–406.
19. Киншт Н.В., Петрунько Н.Н., Загоскин Д.Д., Алпатов М.Е., Тищенко С.Ф. О критериях оценки технического состояния высоковольтного оборудования на основе регистрации электромагнитных излучений // Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования. Вып.30: Методические основы и практический опыт инфракрасного термографического обследования энергетического оборудования, зданий и сооружений. Современные проблемы производства, эксплуатации и ремонта трансформаторного оборудования / Под ред. А.И. Таджибаева. – СПб.: ПЭИПК, 2006. – С.44-50
20. Киншт Н.В., Петрунько Н.Н., Загоскин Д.Д., Алпатов М.Е., Тищенко С.Ф. Диагностика технического состояния высоковольтного оборудования на основе регистрации электромагнитных излучений // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. - 2006. - №5. – С.6–10.
21. Силин Н.В., Конкин Е.А., Попович А.Б. Информационная база данных для электромагнитной диагностики высоковольтного оборудования // Транспортное дело России. –2006. – №1, С.154–156.
22. Силин Н.В. Электромагнитный способ оценки технического состояния высоковольтного оборудования // Промышленная энергетика. –2006.– №1. – С.8–11.
23. Киншт Н.В., Силин Н.В., Лосев В.Л., Попович А.Б. О способе контроля высоковольтного оборудования на основе анализа спектров его собственного электромагнитного излучения// Промышленная энергетика. 2007. - №4, – С.24–29.
24. Силин Н.В. Контроль состояния электроэнергетического оборудования по спектральным характеристикам его электромагнитного излучения // Энергетика, - 2008. - №3. - С. 86 - 92.
25. Киншт, Н.В. и др. Метод дистанционного диагностического контроля состояний высоковольтного оборудования // Известия РАН. Энергетика. - 2009. - №5. – С.86–93.
26. Киншт Н.В., Кац М.А., Петрунько Н.Н., Собственные электромагнитные излучения трансформатора как диагностический признак при оценке его технического состояния // Электроэнергетика: сегодня и завтра. – 2010 - №1. – С.31–38.
27. Павленко, С.В. Применение прогрессивных методов диагностики высоковольтного энергетического оборудования / С.В. Павленко, Н.В. Силин,

Н.И. Игнатъев // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов, 2018. – Т.8. – №1. – С. 92-101. – DOI: 10.28999/2541-9595-2018-8-1-92-101.

Диссертации

1. Белушкин М.Ю. Моделирование и регистрация электромагнитных полей электроэнергетического оборудования высоковольтных подстанций. 2004
2. Силин Н.В. Оценка технического состояния электроэнергетического оборудования по спектральным характеристикам излучаемого им электромагнитного поля. 2009.
3. Сигида В.И. Электромагнитные поля электроэнергетического оборудования в задачах диагностирования. 2000.
4. Петрунько Н.Н. Анализ процессов образования и распространения электромагнитных излучений высоковольтного электроэнергетического оборудования. 2002.
5. Игнатъев Н.И. Исследование и совершенствование метода электромагнитного контроля электроэнергетического оборудования, находящегося под рабочим напряжением. 2021.

Симпозиумы

1. Belushkin M.Y., Klokov V.V., Silin N.V., Katanaev V.A., Popovich A.B. Estimation of electromagnetic environment near the high-voltage power autotransformers // Progress in Electromagnetics: The papers of Int. Research Symp., Pisa, Italy, March 28-31, 2004. - P.839-842.
2. Silin N.V., Popovich A.B., Belushkin M.Y., Katanaev V.A. Experience of the general technical condition on the basis of own electromagnetic radiation spectrum estimation of a power transformers analysis //Euro Electromagnetics: The papers of Int. Symp., Magdeburg, Germany, June 8-12, 2004. - P. 109-111
3. Belushkin M.Y., Klokov V.V., Silin N.V., Katanaev V.A., Popovich A.B. Estimation of electromagnetic environment near the high-voltage power autotransformers // Progress in Electromagnetics: The papers of Int. Research Symp., Pisa, Italy, March 28-31, 2004. - P.839-842.
4. N.V. Kinsht, M.A. Katz, N.N. Petrun'ko A problem of the Partial Discharge Extinction // Proc. of the Second IASTED International Multi-Conference AUTOMATION, CONTROL, AND APPLICATIONS. Calgary. ACTA Press. 2005. – P.98–101.
5. Nikolay V. Kinsht, Natalia N. Petrun'ko The Experience of Inspection of a Technical Condition of the HV Equipment on Substations by a Method of Registration of the own Electromagnetic Radiations // Proc. of the International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis (CMD2008). Beijing, China, – P.738–740.
6. Kinsht N., Petrun'ko N., Research on Characteristics of EMR of the High-Voltage Equipment during the Process of its Diagnostic // Proc. of the International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis (CMD2010). Tokyo, Japan. P.1149–1152.

7. Kinsht N.V., Petrunko N.N. Interpretation of monitoring data of own electromagnetic radiation HV transformers // Proc. of the International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis (CMD2012). Bali, Indonesia. – P.569–572.
8. N.V.Kinsht, N.N.Petrunko, Some Possibility of Constructing of the PD Processes Quasi-Deterministic Model // Proc. of International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis (CMD2014). Jeju, Korea. – P.371–374.
9. N.V.Kinsht, N.N.Petrunko, N.V. Silin An Application of the Frequency Dependent Load as a Circuit Test // Proc. of the 2015 International Conference on Testing and Measurement: Techniques and Applications (TMTA2015). Phuket Island, Thailand. P.243–247.
10. Nikolay V. Kinsht, Natalia N. Petrunko, Regularities of the Formation an Integrated Partial Discharges Picture as a set of Quasideterministic Processes // Proc. of the 8th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering, ELEKTROENERGETIKA 2015. Stará Lesná, Slovakia. – P.315–318.
11. Kinsht N.V., Petrunko N.N., Silin N.V., Tetiora S.Y. TO THE ISSUE OF THE DEVELOPMENT OF PARTIAL DISCHARGE THEORY // Proc. of the 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2019. 2019. С. 8934124.

**Тетиора С.Ю., Силин Н.В., Петрунько Н.Н. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ
СИСТЕМА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ
ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

*¹Тетиора Сергей Юрьевич, ¹Силин Николай Витальевич, ²Петрунько
Наталья Николаевна*

*¹ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»,
Департамент энергетических систем Политехнического института,
Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, 690922*

*²ИАПУ ДВО РАН «Институт автоматики и процессов управления»,
Лаборатория технической диагностики,
Приморский край, г. Владивосток, ул. Радио, 5, 690041*

Аннотация. Рассматриваются вопросы создания и применения автоматизированных систем мониторинга и диагностики высоковольтного электроэнергетического оборудования. Дано описание подобной системы, разрабатываемой в ДВФУ на базе электромагнитного способа контроля, основанного на анализе спектров собственного электромагнитного излучения электротехнического оборудования.

Ключевые слова: высоковольтное оборудование, контроль, автоматизированная система.

Согласно положению о технической политике ПАО «Россети»², диагностический контроль технического состояния оборудования подстанций и линий электропередач должен по составу, объему и периодичности отвечать действующим требованиям ПАО «ФСК ЕЭС»³, СТО ПАО «Россети» 34.01-23.1-001-2017 «Объем и нормы испытаний электрооборудования». Кроме того, в вышеперечисленных документах указывается, что наиболее приоритетным является применение автоматизированных систем мониторинга и диагностики (АСМД), которые должны обеспечить:

- оперативное диагностирование текущего технического состояния оборудования;
- своевременное выявление возникновения и развития дефектов.
- удаленный доступ к оперативной информации о текущем техническом состоянии контролируемого оборудования;
- использование наиболее эффективных и безопасных методов неразрушающего контроля.

Основными целями работы АСМД являются: предупреждение возникновения аварийных процессов из-за внутренних дефектов оборудования и своевременное предотвращение неконтролируемого развития дефектов; определение допустимой нагрузочной способности; повышение электробезопасности оперативного персонала, снижение влияния человеческого фактора в процессе сбора, обработки и формирования результатов технического диагностирования; интегрирование результатов мониторинга и технического диагностирования в АСУ ТП и корпоративные информационные системы. Существенным требованием к АСМД является мобильность системы мониторинга. Это требование предполагает достаточно простой монтаж и демонтаж оборудования системы мониторинга на практически любом силовом трансформаторе «без вмешательства в его конструкцию».

АСМД имеет следующую архитектуру: первичные датчики; контроллеры сбора и обработки сигналов; программно-технический комплекс (ПТК) для обработки и представления информации с локальным и/или удаленным автоматизированным рабочим местом (АРМ) оператора, предназначенным для обработки и анализа получаемой информации.

Количество первичных датчиков должно обеспечивать оптимальное число использования контролируемых параметров для корректной оценки технического состояния трансформатора. Минимальный объем первичной информации для работы экспертного ядра АСМД должен компенсироваться использованием расчетно-аналитически моделей как всего трансформатора, так и его отдельных частей

Достаточно информативными с точки зрения полноты диагностической информации являются методы, использующие характеристики частичных разрядов, в том числе метод электромагнитного контроля состояния

² Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе» М.: 2017. 196 с.

³ Положение ПАО «ФСК ЕЭС» «О единой технической политике в электросетевом комплексе» (новая редакция). Утверждено решением Совета директоров ПАО «ФСК ЕЭС» (протокол от 20.10.2022 № 592).

высоковольтного оборудования [1-2]. Электромагнитные поля, сопровождающие работу высоковольтного электроэнергетического оборудования, создаются источниками, излучение которых не предусмотрено их функциональным назначением. Электромагнитное поле может рассматриваться как информационное, его характеристики использовать для решения задач диагностики. При этом учитывается свойство электромагнитных полей отображать внутреннее состояние объекта, в котором располагается источник [3-4]. Экспериментальные исследования, проводимые с помощью современных информационно-измерительных комплексов, показывают существенную зависимость характеристик внешних электромагнитных полей оборудования от условий эксплуатации, наличия или отсутствия дефектов.

На базе Дальневосточного федерального университета разрабатывается прототип ПТК автоматизированной оценки состояния трансформаторного оборудования по собственному электромагнитному излучению (ПТК АОСТО СЭМИ). Основой комплекса является промышленный компьютер с подсоединенным анализатором спектра и направленные антенны, регистрирующие сигналы собственного электромагнитного излучения высоковольтного оборудования. Благодаря ВЧ коммутатору, через который антенны подсоединяются к анализатору спектра, возможно организовать периодическое измерение до 8 единиц оборудования, поочередно переключаясь между антеннами. Все первичные измерения и результаты оценки технического состояния трансформаторов передаются на АРМ подстанции/предприятия через облачное хранилище посредством 4g модема. Данный ПТК благодаря системе климат-контроля и источнику бесперебойного питания является автономным и может быть использован на удаленных энергообъектах. Данный комплекс при наличии мощного вычислительного компьютера может быть расширен до системы комплексной онлайн диагностики, с включением в нее наиболее эффективных существующих и разрабатываемых методов неразрушающего контроля, что позволит давать наиболее полноценное диагностическое заключение.

Список литературы

1. Киншт Н.В., Петрунько Н.Н. Об оценке параметров частичных разрядов // Электричество. 2016. №7. с. 5127-56
2. Овсянников А.Г., Коробейников С.М. Контроль изоляции по частичным разрядам // Электроэнергия. Передача и распределение, 2021. № 2(65). С. 124-130.
3. Киншт Н.В. и др. Техническая диагностика и мониторинг мощных энергетических установок по полям их излучений // Автометрия. 2003. № 6. – С.24–32.
4. Силин Н.В. Контроль состояния электроэнергетического оборудования по спектральным характеристикам его электромагнитного излучения // Энергетика,-- 2008. - №3. - С. 86 - 92.

"Работа выполнена в рамках гос. задания ИАПУ ДВО РАН «Развитие теории и методов повышения эффективности сложных технических систем и процессов» (тема № FWW-2021-0003)".

Силин Н.В., Фалин С.Г. КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ МАГНИТОПРОВОДА ПО КРИТЕРИЮ ПОТЕРЬ ХОЛОСТОГО ХОДА

*Силин Николай Витальевич, Фалин Сергей Геннадьевич
ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»,
Департамент энергетических систем Политехнического института,
Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, 690922*

Аннотация. Представлена информация, отражающая практические вопросы определения потерь холостого хода трансформаторов напряжением 110 кВ и выше и анализа полученных результатов с целью повышения их диагностической ценности.

Ключевые слова: потери холостого хода, высоковольтное оборудование, диагностика.

Введение

В соответствии с требованиями РД «Объем и нормы испытаний электрооборудования» [1] для силовых трансформаторов и автотрансформаторов потери холостого хода (хх) являются одним из показателей, используемых для оценки их технического состояния. С помощью этого показателя оценивают состояние магнитопровода трансформатора. По результатам изменения данного показателя выявляют замыкание листов стали магнитопровода из-за нарушения изоляции (лакировки), нарушение изоляции стяжных шпилек, образование короткозамкнутых контуров в магнитопроводе. Этот показатель в совокупности с другими, входящими в состав программы комплексного диагностического обследования, позволяет оценить переход силового трансформатора (автотрансформатора) из исправного состояния в неисправное работоспособное состояние [2].

Магнитопровод и его дефекты

Известно, что магнитопровод оказывает большое влияние на технико-экономические показатели трансформатора – его массу на единицу мощности, характеристику холостого хода, потери холостого хода. Магнитопровод набирается из листов электротехнической стали толщиной 0,35-0,5 мм. С семидесятых годов прошлого века горячекатанную сталь почти полностью вытеснила холоднокатанная текстурированная сталь толщиной 0,35 мм. Применение этой стали позволило повысить индукцию и снизить потери холостого хода в 3 раза, а ток холостого хода в 7-9 раз. Следует отметить, что при изготовлении магнитопровода большое внимание уделяется опрессовке, повышая коэффициент заполнения сечения магнитопровода до 97%.

Уменьшение коэффициента заполнения на 1% приводит к увеличению потерь холостого хода примерно на 2%. Кроме того, опрессовка снижает вибрацию пластин. Нарушение опрессовки может повлечь за собой столь большую вибрацию, что возникает механическая усталость металла пластин магнитопровода, вплоть до появления в них трещин и поломок.

Фиксация магнитопроводов в прессованном состоянии осуществляется при помощи шпилек (болтов), пропущенных сквозь активное сечение магнитопровода, или при помощи бандажей. При применении шпилек на них надеваются изоляционные трубки, под головки болтов помещаются изоляционные шайбы для того, чтобы предотвратить соединение шпильки с магнитопроводом. В настоящее время перешли на конструкцию без шпилек, при которой собранный магнитопровод прессуется на стендах, а затем фиксируется в сжатом состоянии металлическими бандажами и замковой пряжкой из изолирующего материала или бандажирется стеклолентой.

Некачественная сборка может привести к повреждению магнитопровода вследствие повреждения изоляции между пластинами или при замыкании между собой краев пластин. Такие замыкания могут возникнуть как на наружной поверхности магнитопровода, так и внутри отверстий, через которые проходят шпильки. Эти нарушения изоляции ведут к нагреву поврежденных участков вихревыми токами и к дальнейшему разрушению изоляции. В результате сталь пластин может выплавиться, в месте нагрева возникнет такое же разложение масла, как при повреждении изоляции шпильки в двух точках [3]. Контроль за состоянием магнитопровода позволяет своевременно выявлять вышеперечисленные дефекты.

Опыт холостого хода. Контрольные показатели.

Согласно стандарту публичного акционерного общества «РОССИЙСКИЕ СЕТИ» СТО 34.01-23.1-001-2017 «ОБЪЕМ И НОРМЫ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ» измерения потерь холостого хода проводятся по ГОСТ 3484.1-88. У трехфазных трансформаторов потери холостого хода измеряются при однофазном возбуждении по схемам, применяемым изготовителем. При вводе таких трансформаторов в эксплуатацию и при капитальном ремонте соотношение потерь на разных фазах не должно отличаться от соотношений, приведенных в протоколе испытаний, проведенных изготовителем (паспорте), более чем на 5%. В отдельных случаях по согласованию с предприятием-изготовителем могут быть допущены большие отличия. Измерения в процессе эксплуатации производятся по решению технического руководителя субъекта электроэнергетики, исходя из результатов анализа растворенных в масле газов. Измеренные значения не должны превышать исходные значения более чем на 30% для всех трансформаторов.

При проведении опыта xx измерению и последующему использованию для диагностики подлежат следующие величины: подводимое напряжение U_{xx} , ток холостого хода I_{xx} , активная мощность P_0 – потери xx .

Ток xx зависит от мощности трансформатора, конструкции магнитопровода, качества электротехнической стали и исполнения.

Активная мощность, подводимая к трансформатору, расходуется главным образом на потери, вызванные перемагничиванием электротехнической стали (потери от гистерезиса), и на потери от вихревых токов. Измеренные при этом потери в трансформаторе называются потерями P_0 .

Потери при малом напряжении измеряют на предприятии-изготовителе при частоте 50 Гц и напряжении не более 10% номинального, обычно при напряжении 220 или 380 В (удобно для сравнения результатов измерения с данными измерения в эксплуатации при питании испытываемого трансформатора от сети переменного тока 220/380 В, 50 Гц).

Потери у трехфазных трансформаторов обычно измеряют при однофазном возбуждении для того, чтобы знать потери каждой фазы в отдельности, и, следовательно, иметь возможность сравнить их и убедиться, что трансформатор имеет правильное соотношение потерь и не имеет дефектов.

Измеренные пофазно потери сравнивают между собой. При отсутствии дефектов в трансформаторе потери P_0 ав и P_0 вс должны быть практически ($\pm 5\%$) равны между собой, а потери P_0 ас в зависимости от конструкции, например, числа стержней магнитопровода, — приблизительно на 25—50% больше потерь P_0 ав и P_0 вс.

Потери P_0 , измеренные при напряжении, отличном от напряжения при заводских испытаниях, приводят к заводскому напряжению по формуле:

$$P_{0\text{прив}} = P_0 (U_{\text{зав}} / U_{\text{изм}})^{1,9}, \text{ Вт}, \quad (1)$$

где: P_0 – измеренное значение потерь, Вт; $U_{\text{зав}}$ – напряжение, при котором проводились заводские измерения, В; $U_{\text{изм}}$ – напряжение, при котором проводились текущие измерения, В.

Показатель степени $n=1,9$ рекомендуется применять для холоднокатаной электротехнической стали магнитопровода ($n = 1,8$ - для горячекатаной). Значения потерь холостого хода, приведенные к напряжению заводских испытаний позволяют вычислить значение изменения потерь относительно заводских - Δ , которая в % определяется по формуле:

$$\Delta = ((P_{0\text{прив}} - P_{0\text{зав}}) / P_{0\text{зав}}) 100\%, \quad (2)$$

где: $P_{0\text{зав}}$ – значение потерь, полученное при заводских испытаниях.

Для оценки технического состояния трансформатора значения Δ сравниваются с предельно допустимыми значениями (ПДЗ), которое для силовых трансформаторов составляет 30%.

Пример контроля состояния трансформатора по параметрам P_0

В качестве примера в таблице 1 представлены результаты измерений по опыту P_0 для трехфазного трансформатора ТДТНГ-60000/110 1966 года выпуска.

Таблица 1. Результаты измерения потерь холостого хода.

Дата	Подано напряжение на выводы фаз								
	а-в (вс замкнуты)			в-с (са- замкнуты)			с-а (ав-замкнуты)		
	U, В	I, А	$P_{\text{ав}}$, Вт	U, В	I, А	$P_{\text{вс}}$, Вт	U, В	I, А	$P_{\text{са}}$, Вт

Заводские	380	1,35	324	380	1,34	325	380	1,88	444
21.02.67	392	1,45	355	392	1,4	350	392	1,95	472
27.07.71	360	1,51	240	360	1,45	240	360	2,14	480
08.07.20	380	1,75	450	380	1,9	457,5	380	2,59	623,5
26.08.21	392	1,8	478,5	392	1,925	495	392	2,64	667,5
21.09.23	392	1,8	480	392	1,795	480	392	2,64	665

Анализ соотношения потерь хх при вводе в эксплуатацию (21.02.67) при заводских испытаниях (1966 г.) показал, что оно находится в пределах 5%, что соответствует нормативному показателю.

Анализ соотношений потерь пофазных измерений как при заводских испытаниях, так и при последующих вплоть до 2023 года показал, что P_0 bc и P_0 ab практически одинаковы (отличие в пределах 5%), а потери P_0 ac больше потерь P_0 bc и P_0 ab - на (25-50) %, что в пределах допустимого.

Для более подробного контроля состояния трансформатора потери хх, измеренные в процессе эксплуатации при напряжении, отличном от напряжения при заводских испытаниях, приводят к заводскому напряжению с помощью формулы (1). Результаты приведения сведены в таблицу 2.

Таблица 2 - Приведенные значения к напряжению 380В

Дата	Подано напряжение на выводы фаз								
	а-в (вс замкнуты)			в-с (са- замкнуты)			с-а (ав-замкнуты)		
	U, В	$P_{ав}^2$, Вт	$\Delta^2 P_{ав}$, % от зав	U, В	$P_{вс}^2$, Вт	$\Delta^2 P_{вс}$, % от зав	U, В	$P_{са}^2$, Вт	$\Delta^2 P_{са}$, % от зав
Заводские	380	324,00	-	380	325,00	-	380	444,00	-
21.02.67	392	334,64	3,28	392	329,92	1,51	392	444,93	0,21
27.07.71	360	265,97	-17,91	360	265,97	-18,26	360	531,93	19,80
08.07.20	380	450,00	38,89	380	457,50	40,77	380	623,50	40,43
26.08.21	392	451,05	39,21	392	466,61	43,57	392	629,21	41,71
21.09.23	392	452,47	39,65	392	452,47	39,22	392	626,85	41,18
Предельно допустимое значение ≤ 30									

Величина потерь холостого хода, приведенная к напряжению заводских испытаний, позволяет вычислить по формуле (2) значение изменения потерь относительно заводских Δ , величина которой нормируется (должна составлять менее 30%) (таблица 2).

Проанализируем данные, представленные в таблице 2, для оценки состояния магнитной системы на примере потерь P_0 ab. В начале эксплуатации (замеры проводились в 1967 и 1971 годах) состояние магнитной системы соответствовало результатам заводских испытаний. Следует отметить, что опыт

xx проводился при значениях напряжения, близких к заводским (392, 360 В соответственно).

Данные испытаний, проведенных через 49 лет эксплуатации (08.07.2020) показали, что состояние магнитной системы изменилось. Величина Δ увеличилась и достигла значений от 38,89% до 40,77%. Результаты последующих испытаний 26.08.2021 и 21.09.2023 гг. указывают на стабильность нового состояния магнитной системы, поскольку величина Δ находилась в пределах от 39,32 до 43,57%. Степень изменения можно оценить путем анализа параметров ветви намагничивания в схеме замещения трансформатора. Результаты расчета полного Z_0 и активного R_0 сопротивлений при различных датах испытаний для режима «питание на а-в» представлены в таблице 3.

Таблица 3. Значения параметров схемы замещения (питание на а-в)

Дата	Напряжение, В	Δ	Z_0 , Ом	R_0 , Ом
Заводские 1966 год	380	0	281	177
21.02.67	392	3,28	270	168
27.07.71	360	-17,91	238	105
08.07.20	380	38,89	217	146
25.08.21	392	39,21	217,8	147,68
21.09.23	392	39,65	217,8	148

Данные испытаний, проведенных через 49 лет эксплуатации 08.07.2020 года показали, что сопротивление Z_0 снизилось от 281 до 217 Ом (на 23 %), а R_0 от 177 до 146 Ом (на 18%). С 2020 по 2023 год эти показатели стабилизировались, что указывает на отсутствие процессов развития дефектов магнитной системы.

Результаты анализа по данным опыта xx указывают на необходимость проведения дополнительных испытаний нетрадиционными методами оценки степени опасности изменений в состоянии магнитной системы. Для этого, как правило, проводятся испытания по виброконтролю, контролю частичных разрядов, тепловизионному контролю, хроматографическому анализу газов (ХАРГ).

Были получены следующие результаты.

- ХАРГ указывает на наличие термического дефекта в сердечнике в диапазоне средних температур (300 – 600 град);
- вибродиагностическое обследование на грузочном режиме указывает на снижение уровня прессовки магнитопровода по всем трем фазам;
- из анализа разрядной активности методом ЧР следует, что наблюдается повышенный уровень разрядов, не представляющих непосредственную опасность;

Таким образом, комплексные диагностические обследования, использующие данные нескольких испытаний, позволяют дать объективную оценку состояния электротехнического оборудования, выявить дефекты всех систем и узлов, разработать рекомендации по устранению дефектов, проведению ремонтных работ и дальнейшей эксплуатации оборудования.

Список литературы

1. РД 34.45-51.300-97. Объем и нормы испытаний электрооборудования. М.: Издательство НЦ Энас, 2004. 254 с.
2. Майоров А.В., Львов М.Ю., Кулюхин С.А., Львов Ю.Н., Лютко Е.О. Оценка технического состояния силовых трансформаторов и автотрансформаторов напряжением 110 кВ и выше. М.: ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение, 2022. 128 с.
3. Грудинский П.Г., Мандрыкин С.А., Улицкий М.С. Техническая эксплуатация основного электрооборудования станций и подстанций. М.: ЭНЕРГИЯ, 1974. 576 с.

Зейлерт А.В. УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МЕТОД ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ НАКИПЕОБРАЗОВАНИЯ В ЭЛЕМЕНТАХ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Зейлерт Андрей Владимирович

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

Научный руководитель Минаев Александр Николаевич, д. т. н., профессор

Аннотация. Статья посвящена исследованию проблемы образования накипи в судовых энергетических установках, актуальной на протяжении более двухсот лет. С момента появления паровых двигателей накипь, состоящая из карбоната кальция и магния, стала серьезной проблемой для морских технологий. Накопление накипи на теплообменниках и котлах снижает эффективность работы, увеличивает расход топлива и снижает надежность систем.

Традиционные методы борьбы с накипью, такие как химическая обработка и ручная очистка, являются дорогостоящими и трудоемкими. Это создает необходимость в разработке новых, более эффективных и экологически чистых методов.

Ключевые слова: накипеобразование, методы борьбы, ультразвук, кавитация, энергетические комплексы

Введение

Ультразвуковой метод предотвращения накипи представляет собой перспективное решение, основанное на принципах кавитации и частотной

модуляции. Он позволяет воздействовать на процесс образования отложений без химических средств и значительных трудозатрат.

Цель данного исследования — оценка ультразвукового метода предотвращения образования накипи в морских энергетических системах. Будут исследованы физические принципы ультразвуковой очистки, его применение в реальных условиях, сравнение с традиционными методами и анализ возможных ограничений.

Объектом исследования являются морские энергетические системы, а предметом — ультразвуковой метод борьбы с накипью. Методы включают обзор литературы, анализ патентов и сравнительный анализ данных эксплуатации ультразвуковой очистки. Работа состоит из введения, пяти разделов, заключения и списка литературы, что позволит понять потенциал ультразвукового метода в современных морских технологиях.

1. Физика ультразвуковых волн и их взаимодействие с водой

Ультразвуковая технология основана на физических принципах звуковых волн, которые проходят через жидкости и твердые тела, заставляя частицы вибрировать. Эти волны создают быстрые изменения давления, приводя к кавитации — образованию и схлопыванию микроскопических пузырьков в жидкости. Когда ультразвук проходит через воду, он вызывает колебания давления, позволяя растворенным газам формировать пузырьки. При их схлопывании выделяется энергия в виде микроструй и ударных волн, которые разрушают минеральные отложения на поверхностях [5].

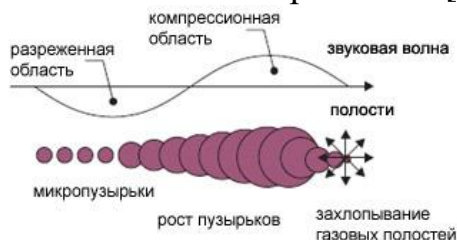


Рисунок 1 – Эффект кавитации

Эта энергия смывает минеральные кристаллы, предотвращая их прилипание к стенкам теплообменников и труб котлов, превращая потенциальную накипь во взвешенные частицы, которые легко удаляются потоком воды. Ультразвуковые волны также не допускают образование твердых отложений, удерживая накипеобразующие материалы во взвешенном состоянии. Кроме того, они способствуют осаждению ионов кальция и магния в виде мелких частиц, что предотвращает накопление накипи [4].

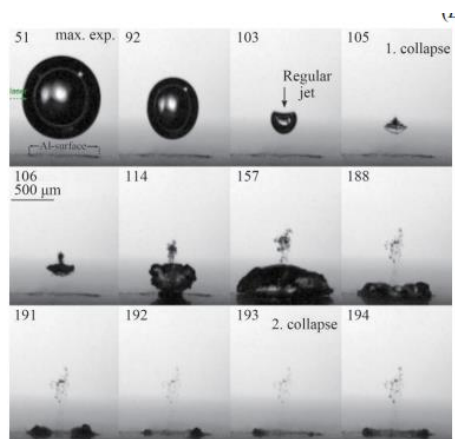


Рисунок 2 – Высокоскоростная визуализация (1×10^{12} кадров/с) пузырьковой струи, образование и захлопывание

2. Сравнительный анализ механического, химического и ультразвукового удаления накипи

Сравнительный анализ механического, химического и ультразвукового удаления накипи показывает, что ультразвуковая очистка от накипи оказывается выгодной для применения в морских условиях благодаря своей неинвазивности, экологической безопасности и экономичности в долгосрочной перспективе [9]. В то время как механическая очистка может обеспечить эффективное немедленное удаление накипи, а химические методы эффективны в краткосрочной перспективе, ультразвуковая технология предлагает устойчивое решение, которое постоянно предотвращает образование накипи, тем самым снижая частоту технического обслуживания и минимизируя время простоя оборудования. Это преимущество делает ультразвуковую очистку более подходящей для морских систем, где доступ ограничен, а поддержание бесперебойной работы является критически важным.

3. Преимущества неинвазивных ультразвуковых методов в морской среде

Неинвазивные ультразвуковые технологии имеют явные преимущества в морской среде, где пространство, доступность и экологические нормы ограничивают использование традиционных методов. Ультразвуковые системы специально разработаны для решения этих проблем. Эти системы работают за счет использования преобразователей, излучающих высокочастотные звуковые волны, которые предотвращают образование накипи, не требуя прямого контакта с поверхностью. Эта особенность позволяет легко интегрировать ультразвуковые системы в существующие конструкции без значительных модификаций, что делает их адаптируемыми к различным морским конфигурациям.

Основным преимуществом неинвазивных ультразвуковых методов является их способность **работать непрерывно, не требуя периодического вмешательства**, как это часто бывает при использовании механических или химических методов [1]. Ультразвуковые устройства, установленные в системе,

обеспечивают постоянное предотвращение образования накипи, снижая необходимость плановых остановок и дорогостоящих процедур очистки.

В заключение следует отметить, что взаимодействие ультразвуковой технологии с водой демонстрирует, как высокочастотные звуковые волны могут эффективно бороться как с биологическими, так и с минеральными загрязнениями, обеспечивая устойчивое решение проблемы образования накипи. Этот метод удаления накипи не только снижает требования к техническому обслуживанию и эксплуатационные расходы, но и соответствует экологическим целям, минимизируя использование химикатов и обеспечивая долговечность компонентов морских электростанций. Это фундаментальное понимание ультразвуковой технологии и ее взаимодействия с водой создает основу для дальнейшего изучения конкретных устройств и их применения в морских системах, которые будут рассмотрены в последующих разделах.

4. Факторы, влияющие на эффективность ультразвука

Эффективность ультразвуковой защиты от накипи зависит от различных факторов, включая жесткость воды, температуру и рабочие параметры. Эти факторы влияют на динамику кавитации и способность ультразвуковых волн эффективно распространяться в жидкой среде.

1. Жесткость воды: Высокое содержание ионов кальция и магния увеличивает вероятность образования накипи, что делает ультразвуковую очистку особенно полезной в жесткой воде. Ультразвуковые волны создают микротурбулентность, препятствующую скоплению ионов на поверхностях.

2. Температура: Температура воды влияет на кавитацию. Более высокие температуры снижают поверхностное натяжение, облегчая образование пузырьков, но слишком высокая температура может снизить эффективность кавитации.

3. Рабочие параметры (частота и мощность): Частоты 20-40 кГц эффективны для предотвращения накипи, создавая пузырьки, достаточно сильные для разрушения кристаллических структур. Оптимальная мощность должна поддерживать кавитацию без чрезмерного потребления энергии [8].

5. Типы и конфигурации устройств

В судовых условиях устройства для ультразвуковой очистки от накипи представлены различными типами и конфигурациями, специально разработанными для предотвращения накипеобразования на ключевых компонентах судовых энергетических установок, таких как теплообменники, котлы и трубопроводы. Эти устройства оптимизированы для передачи ультразвуковых волн в условиях морской среды, создавая кавитацию и колебания, необходимые для разрушения отложений. Конфигурации систем варьируются в зависимости от масштаба применения и типа оборудования, которое они предназначены защищать.

Ультразвуковые системы очистки от накипи обычно делятся на два основных типа: **системы прямого контакта** и **системы косвенного или погружного типа** [1]. Каждый тип настроен на максимальное распределение

ультразвуковой энергии к участкам, склонным к образованию накипи, без вмешательства в работу системы и без ущерба для структуры оборудования.

Ультразвуковые системы прямого контакта устанавливаются на внешней поверхности труб, котлов или теплообменников. Они передают ультразвуковые волны через стенки оборудования в жидкость, вызывая кавитацию и предотвращая образование накипи. Эти системы особенно полезны при ограниченном внутреннем доступе, так как позволяют очищать оборудование без его модификации или остановки. Они высоко адаптивны и подходят для интеграции в сложные судовые энергетические установки.

Косвенные (погружные) системы включают ультразвуковые преобразователи, погружаемые в жидкость, обычно в резервуары с водой, поступающей к оборудованию, подверженному накипи. Эти устройства генерируют ультразвуковые волны, эффективно распространяясь через воду. Погружные системы обеспечивают большую зону покрытия и подходят для крупномасштабных систем с высоким расходом воды, но требуют достаточного пространства для установки, что может ограничивать их применение в компактных судовых энергетических установках.

6. Ключевые компоненты устройств для ультразвуковой очистки от накипи

Эффективные ультразвуковые устройства для удаления накипи включают несколько основных компонентов, которые работают совместно для генерации, передачи и контроля ультразвуковой энергии [11]. Основываясь на патентах, таких как CN202928442U, и коммерческих системах, как EnvSonic, такие устройства состоят из следующих критически важных элементов:

Ультразвуковые преобразователи. Преобразователи являются центральным элементом ультразвуковых устройств для удаления накипи, преобразуя электрическую энергию в высокочастотные звуковые волны, которые распространяются через жидкость или стенки оборудования. Эти преобразователи часто представляют собой пьезоэлектрические элементы, которые изменяют форму под воздействием электрического поля, создавая ультразвуковые волны. Частота и амплитуда этих волн критичны для достижения эффективной кавитации в судовых системах [6].

Генераторы частоты. Генераторы частоты подают точные электрические сигналы, необходимые для привода преобразователей. Эти генераторы разработаны для создания стабильного высокочастотного электрического тока, что обеспечивает постоянный эффект кавитации. В передовых системах ультразвуковой очистки от накипи часто используется модуляция частоты, которая изменяет ультразвуковые волны и предотвращает адаптацию ионов к одной частоте [2].

Современные генераторы частоты позволяют операторам регулировать выходную частоту в зависимости от условий воды, типа накипи и требований к оборудованию, обеспечивая гибкость для различных параметров эксплуатации. Эта адаптивность особенно важна в судовых энергетических системах, где состав воды и температура могут значительно варьироваться.

Крепления и конструкции установки. Монтажная структура ультразвуковых систем для удаления накипи играет важную роль в их эффективности и адаптируемости к судовым энергетическим установкам. Преобразователи прямого контакта обычно монтируются с использованием кронштейнов или зажимов, которые могут выдерживать вибрацию и условия морской среды, что обеспечивает постоянную подачу ультразвуковых волн без повреждения оборудования.

Конфигурации установки варьируются: например, для систем прямого контакта могут использоваться кронштейны для крепления к внешним поверхностям оборудования, в то время как погружные системы часто оснащаются специальными креплениями для подвешивания преобразователей внутри потока жидкости. Эти конструкции спроектированы для работы в суровых условиях морской среды, обеспечивая долговечность и минимальные требования к техническому обслуживанию [7].

Заключение

Анализ литературных источников [1-11] показал, что ультразвуковой метод предотвращения накипи в судовых энергетических установках является перспективным для повышения эксплуатационной эффективности и экологической безопасности морских систем. Образование накипи на критических поверхностях, таких как теплообменники и котлы, снижает теплопередачу, увеличивает расход топлива и требует частого обслуживания. Традиционные методы удаления накипи имеют ограничения, связанные с негативным воздействием на окружающую среду и высокими затратами.

Ультразвуковая технология, основанная на кавитации, эффективно разрушает кристаллические связи в накипи и предотвращает ее прилипание к поверхностям, обеспечивая чистоту на протяжении длительных эксплуатационных циклов. Ультразвуковые устройства, такие как системы «Акустик-Т» и BlueWave Marine Series, предлагают устойчивое решение без использования химикатов.

Долгосрочные экономические и экологические выгоды ультразвуковой очистки включают снижение затрат на обслуживание и предотвращение сброса химических отходов в океан. Таким образом, ультразвуковая технология представляет собой высокоэффективное и экологически безопасное решение для судовых энергетических установок, способствуя переходу к устойчивым практикам в морской индустрии.

Список литературы

1. Головин, В. А. Современные подходы к снижению накипеобразования в теплообменном оборудовании / В. А. Головин, С. А. Тюрина, В. А. Щелков // Russian Technological Journal. – 2022. – Т. 10, № 3. – С. 93-102.
2. Елистратова Ю. В., Семиненко А. С, Уваров В. А., Минко В. А. / Влияние накипных отложений на температурный режим в каналах

теплообменников пластинчатого типа // Вестник МГСУ. – 2023. – Т. 18, № 5. – С. 737-746.

3. Кашинский В.И. Минаев А.Н., Лысенко Л.В.; Под ред. Мартыновой О.И. Энерготехнологические процессы в минерализованных средах. – М.; Изд-во «Инженер», 1994. – 236 с.

4. Коган, И. Ю. Ультразвуковые технологии / И. Ю. Коган // Мастопатия в гинекологической практике : Руководство для врачей. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью Издательская группа "ГЭОТАР-Медиа", 2021. – С. 163-204.

5. Котряхова, Е. А. Изучение темы «ультразвук и дефектоскопия» в рамках предмета «физика» / Е. А. Котряхова // Архитектура многополярного мира в XXI веке: экология, экономика, геополитика, культура и образование : Сборник материалов VII Международной научно-практической конференции, Биробиджан, 30 апреля 2022 года / Под общей редакцией В.П. Макаренко. – Биробиджан: Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема, 2022. – С. 250-254.

6. Поляков А. В., Дубов В. В., Приходько М. Г., Киров И. Д. / Ультразвуковые длинноволновые технологии // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2022. – № 7(355). – С. 10-13.

7. Поляков А.В., Дубов В.В., Терещенко И.А. / Обзор методов борьбы с коррозией // REFERATOTECH: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Краснодар, 24 окт.: в 3 т. - Краснодар: Изд. дом - Юг, 2020. - Т. 1. - С. 293-296.

8. Урманчеева, Э. Ф. Способы борьбы с внутренней коррозией, шламом и накипью в системах теплоснабжения / Э. Ф. Урманчеева // XXV Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный Дню энергетика : Материалы конференции. В 3-х томах, Казань, 07–08 декабря 2021 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Том 2. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 242-244.

9. Smith R., Jones A. Innovative Ultrasonic Solutions for Scale Control in Marine Applications // *Ocean Engineering Journal*, 2021. Т. 237, № 109543

10. EnvSonic Ultrasonic Antifouling Systems // *Globa Tech*. URL: <https://globa.tech/current-products/envsonic-ultrasonic-antifouling-systems/>

11. Ultrasonic water treatment device: патент CN202928442U. URL: <https://patents.google.com/patent/CN202928442U/en>

Зорин А.В. КАТАЛИТИЧЕСКИЕ НЕЙТРАЛИЗАТОРЫ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Зорин Андрей Владимирович

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

Научный руководитель Минаев Александр Николаевич, д. т. н., профессор

Аннотация. В статье представлены экологические проблемы на автотранспорте, возникающие в процессе эксплуатации. Проанализировано применение каталитических нейтрализаторов на титановой и алюминиевой основе с каталитическими покрытиями без применения и с применением благородных металлов для конверсии вредных веществ в отработавших газах.

Ключевые слова: каталитический нейтрализатор, автомобиль, двигатель внутреннего сгорания, электролит, конверсия, каталитическая активность

С ускорением развития производства автомобилей увеличивается количество машин, что является причиной образования пробок на улицах. Это, в свою очередь приводит к резкому росту массового количества токсичного дыма, выходящего из автомобилей, что оказывает вредное воздействие на здоровье человека и окружающую среду. В выхлопных газах содержится около 220 вредных веществ, в том числе окись углерода (СО), углеводород (СН), оксид азота (NOx) и другие газы. Наиболее опасны для здоровья человека: оксид углерода, диоксид азота, которые оказывают отрицательное влияние на сердечно-сосудистую и дыхательную системы. В течение суток автомобиль выбрасывает до 1 кг выхлопных газов. Химический состав выхлопных газов опасен не только для здоровья человека, но и животных, растений, почвы, воды. Кроме того, в республиках СНГ в связи с засушливостью погоды в атмосферном воздухе в течении 8-9 месяцев содержится пыль, частицы которой так же вредны для организма человека и являются причиной болезни дыхательных путей, дерматитов, конъюнктивитов и др. заболеваний.

Химические элементы попадают в организм с выхлопными газами и с выбросами промышленных объектов. Доля загрязняющих веществ, попадающих в атмосферу от автомобилей, составляют 75-90 %. Опасности от выхлопных газов преобладают в крупных городах. Выхлопные газы влияют на демографию, рост инвалидности, на здоровье населения. Стремительное развитие автомобильной промышленности, потоки машин в мегаполисах, многочасовые пробки, все это в конечном итоге наносит огромный вред здоровью населения. Загрязнение окружающей среды отрицательно влияет на организм, если физические и химические параметры превышают предельно допустимые концентрации (ПДК)

Один автомобиль ежегодно поглощает из атмосферы в среднем более 4 т кислорода, выбрасывая при этом с отработанными газами примерно 800 кг угарного газа, 40 кг оксидов азота и почти 200 кг различных углеводородов. В результате по России от автотранспорта за год в атмосферу поступает огромное количество только канцерогенных веществ: 27 тыс. т бензола, 17,5 тыс. т формальдегида, 1,5 т бенз(а)пирена и 5 тыс. т свинца. В целом, общее количество вредных веществ, ежегодно выбрасываемых автомобилями, превышает цифру в 20 млн. т [1].

Приготовление систем катализатор-носитель является, в большинстве случаев, многостадийным и трудоемким процессом [2,3]. Совершенствование существующих и поиск новых методов и способов приготовления, как носителей, так и каталитически активных материалов является актуальной

проблемой. Для защиты окружающей среды часто используют монолиты или сотовые структуры, которые по сравнению с гранулированными катализаторами обеспечивают возможность работы с высокими скоростями потока отработавших газов, которые нуждаются в очистке. Были проанализированы литературные источники [4-11].

В последнее время в автомобильном транспорте и промышленности для защиты окружающей среды особое внимание уделяют применению катализаторов на металлических основах, которые имеют определенные преимущества перед керамическими монолитами: высокую теплопроводность, механическую прочность, более легкий путь получения различных и сложных форм, адаптированных к широкому ряду задач, более тонкие стенки, а, следовательно, возможность формирования сотовых структур с высокой плотностью ячеек, обеспечивающей более низкий перепад давлений, что важно в системах очистки газов.

Для нанесения каталитически активной массы на металлический носитель во многих случаях необходимо использовать “подслой”, или вторичный носитель, который улучшает сцепление с подложкой, придает катализатору более высокую по сравнению с металлом удельную поверхность, позволяет создать высокую степень дисперсности активной фазы. Решение этой задачи также зависит от того, какой металл или сплав будет использован.

Для нейтрализации автомобильных выхлопов нужны носители, выдерживающие самые жесткие условия – высокие температуры (и перепады температур), давления, и механическое напряжение.

Экстракционно-пиролитический метод позволяет формировать различные функциональные оксидные материалы [2,3,12]. В частности, этим методом получены активные в окислении CO в CO₂ системы Eu₂O₃/SiO₂ [2], Pt/SiO₂ и Pt/TiO₂/Ti [3]. Причем последняя получена сочетанием методов плазменно-электролитического оксидирования и экстракционно-пиролитического.

Также были изучены каталитически активные системы Pt+CeO_x+Eu₂O₃ на керамзите (ГОСТ 9757-90) и на γ -Al₂O₃ (ТУ 2163-015-4491-2118-2003), полученные экстракционно-пиролитическим методом.

Особенностью эмульсионного способа предлагаемого подхода для модифицирования стандартных носителей является комбинирование двух широко известных способов золь-гель технологии и матричного (темплатного) синтеза, которые за последние два десятилетия зарекомендовали себя как наиболее перспективные методики получения различного рода функциональных материалов с высокоэффективными каталитическими и сорбционными свойствами, область применения которых весьма разнообразна. Идея использования матричного синтеза заключается в возможности внедрения каталитически активных наночастиц благородных металлов (золото, платина, палладий) через темплат (матрицу) в химически активный оксид переходного металла, формируемый золь-гель методом. Нанесение активных слоев на картридж будет осуществляться на стадии формирования геля гидроксида металла в смеси с темплатом содержащим функциональные добавки в виде наночастиц благородных металлов. Конкретным примером перспективности

таких методов являются катализаторы гидротермального окисления, синтезируемые на базе Института химии ДВО РАН, применимые в технологиях переработки жидких радиоактивных отходов.

В результате данной работы было рекомендовано применение каталитических нейтрализаторов на титановой и алюминиевой основе с каталитическими покрытиями без применения и с применением благородных металлов для конверсии вредных веществ в отработавших газах. Данные образцы показали химическую активность и конверсию вредных выхлопов CO, CH.

Список литературы

1. Каримходжаев Н., Нумонов М.З. Сравнительный анализ токсичности выхлопных газов автомобилей и пути ее снижения // *Universum: технические науки : электрон. научн. журн.* 2020. 11(80). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/10963>

2. Каталитическая активность многокомпонентных оксидных структур на алюминии / Л. М. Тырина, В. С. Руднев, А. В. Зорин [и др.] // *Автомобильный транспорт Дальнего Востока.* – 2014. – № 1. – С. 383-386. – EDN SPSPRV <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22104638>

3. Формирование, состав и каталитическая активность многокомпонентных оксидных структур на алюминии / Л. М. Тырина, В. С. Руднев, А. В. Зорин [и др.] // *Журнал прикладной химии.* – 2013. – Т. 86, № 11. – С. 1691-1697. – EDN FWJQJ. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43815429>

4. Нанесение катализатора на металлические носители для обезвреживания вредных газовых выбросов двигателя внутреннего сгорания автомобиля / Г. И. Павлов, А. Е. Калиновский, С. Ю. Гармонов [и др.] // *Вестник Казанского технологического университета.* – 2014. – Т. 17, № 14. – С. 390-392. – EDN STIBRL.

<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22268905>

5. Яшник, С. А. Каталитические системы нейтрализации выбросов автомобилей с дизельным двигателем: современные задачи и технологические решения по улучшению окислительного катализатора / С. А. Яшник // *Катализ в промышленности.* – 2022. – Т. 22, № 2. – С. 25-41. – DOI 10.18412/1816-0387-2022-2-25-41. – EDN FVNHTI. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48161858>

6. Кузнецова, И. В. Технология получения нанесенного катализатора на основе алюмосиликатной матрицы, модифицированной оксидом европия / И. В. Кузнецова, Д. С. Сугатов, В. И. Грызлова // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий.* – 2022. – Т. 84, № 1(91). – С. 208-213. – DOI 10.20914/2310-1202-2022-1-208-213. – EDN NQJLDB.

<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48382803>

7. Манойлина, С. З. Влияние состояния ДВС на токсичность отработавших газов / С. З. Манойлина, А. А. Лысенко // *Инновационные технологии и технические средства для АПК : Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов, Воронеж,*

09–10 ноября 2023 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2023. – С. 120-127. – EDN ХМQCQY.

<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=61783520>

8. Холиков, М. М. Состав выхлопных газов и способы снижения вредного воздействия отработанные газы двигателей внутреннего сгорания / М. М. Холиков, М. М. Сафаров, Д. С. Джураев // Вопросы физической и коллоидной химии : Материалы IV Международной конференции, посвященной памяти докторов химических наук, профессоров Хамида Мухсиновича Якубова и Зухуриддина Нуриддиновича Юсуфова, Душанбе, 03–04 мая 2019 года. – Душанбе: Таджикский национальный университет, 2019. – С. 202-208. – EDN ВКАQIB.

<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39235477>

9. Re- И Ru-СОДЕРЖАЩИЕ КАТАЛИЗАТОРЫ ПРОЦЕССОВ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ АВТОМОБИЛЯ / Е. В. Фесик, В. И. Заражевский, В. В. Гребнев, Г. Д. Мальчиков // Кинетика и катализ. – 2013. – Т. 54, № 5. – С. 662. – DOI 10.7868/S0453881113050055. – EDN QZXFPF.

<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20193444>

10. Халилов, В. Особенности требований Euro 6c для новых типов легковых автомобилей, связанных с влиянием на здоровье человека / В. Халилов, С. И. Савчук, У. А. Абдулгазис // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. – 2019. – № 2(64). – С. 275-283. – EDN NHEJXU.

<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41145950>

11. Христофоров, Е. Н. Транспорт и окружающая среда : Монография / Е. Н. Христофоров, Н. Е. Сакович. – Брянск : Брянский государственный аграрный университет, 2012. – 196 с. – EDN TUFELP.

<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23497655>

12. Зорин, А. В. Исследование каталитической активности многокомпонентных каталитических нейтрализаторов на стенде-двигателе 4a-Fe / А. В. Зорин, В. В. Пермяков, В. С. Руднев // Автомобильный транспорт Дальнего Востока. – 2013. – № 1. – С. 253-258. – EDN RGSAPN

<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20504202>

Кайтан Д.В. АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Кайтан Денис Викторович

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

Научный руководитель Минаев Александр Николаевич, д. т. н., профессор

Аннотация. Рассматриваются основные методы диагностического обеспечения судового оборудования, а также алгоритм диагностических задач для обнаружения неисправностей. Производится сравнительный анализ на

механическом уровне способов диагностирования судового оборудования с учетом прогнозирования возникновения неисправностей и возможных отказов. Представлен алгоритм реализации диагностических задач. Выявлены основные проблемы и сложности представленных методов диагностирования, и возможные пути решения проблем. Обобщен опыт эксплуатации судового оборудования по результатам дефектации. Произведен анализ возможности применения статистического метода при прогнозировании возможных неисправностей судового оборудования.

Ключевые слова: Метод, судовое оборудование, диагностическое обеспечение.

Введение

Развитие морских перевозок, климатические изменения, загрязнение Мирового океана, обострили проблему диагностирования судовых энергетических установок (СЭУ) и их элементов. В частности, ряд производителей диагностического оборудования пошел по пути контроля рабочих процессов. Алгоритмы контроля параметров индикаторной диаграммы являются основой диагностических комплексов производителей. В основу работы этих систем положен контроль, прежде всего, внутрицилиндрового давления. Другими контролируемыми параметрами могут быть: температуры охлаждающей жидкости и выпускных газов, контроль вибрации (по определению момента впрыска топлива) и др. Однако до настоящего времени прогнозирование работоспособности СЭУ основывается на вероятностных показателях. Значит существует необходимость комплексной оценки возможности эксплуатации СЭУ и их составных элементов в процессе эксплуатации судна.

Эксплуатацией СЭУ занимаются две группы людей; с одной стороны, это экипаж судна (точнее, обслуживающий СЭУ персонал), с другой стороны, это судовладелец, осуществляющий планирование ремонтов и осуществляющий снабжение судна. Соответственно, методика оценки технического состояния СЭУ должна отвечать ряду требований, обусловленных необходимостью постоянного контроля технического состояния СЭУ, основными из которых являются:

- назначенная достоверность;
- живучесть диагностического оборудования;
- надежность диагностической системы;
- минимальное время обработки информации;
- малая стоимость оборудования и затрат на эксплуатацию.

Следовательно, разрабатываемое диагностическое обеспечение должно быть: автоматизированным, то есть иметь возможность отображать результаты технической диагностики как на судне (как правило в центральном посту управления), так и у судовладельца; достоверной, то есть позволять эффективно планировать мероприятия восстановления технической готовности

оборудования; надежной, то есть долговечной, ремонтпригодной, безотказной и сохраняемой.

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 методик [6,7].

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, 8].

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].

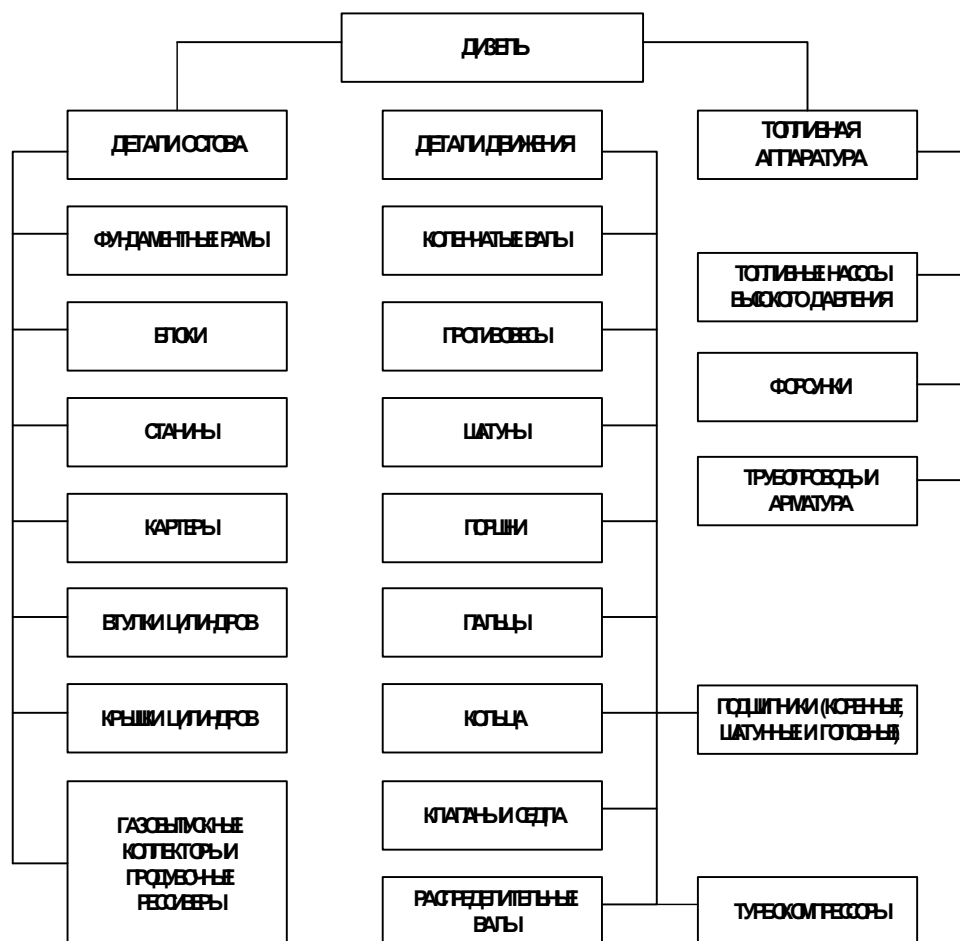


Рисунок – 1 Структурная схема

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 анализ 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.

4. С целью формирования перечня диагностических задач, целесообразно использование формализованного алгоритма (рис. 2) [2].

На первом этапе анализ рассматриваемых диагностических задач выполняется путем комплексного использования методов, представленных в верхней части рисунка 2, а на втором этапе производится минимизация перечня путем исключения из них тех задач, которые будут признаны неактуальными в соответствие с признаками, указанными в нижней части алгоритма.

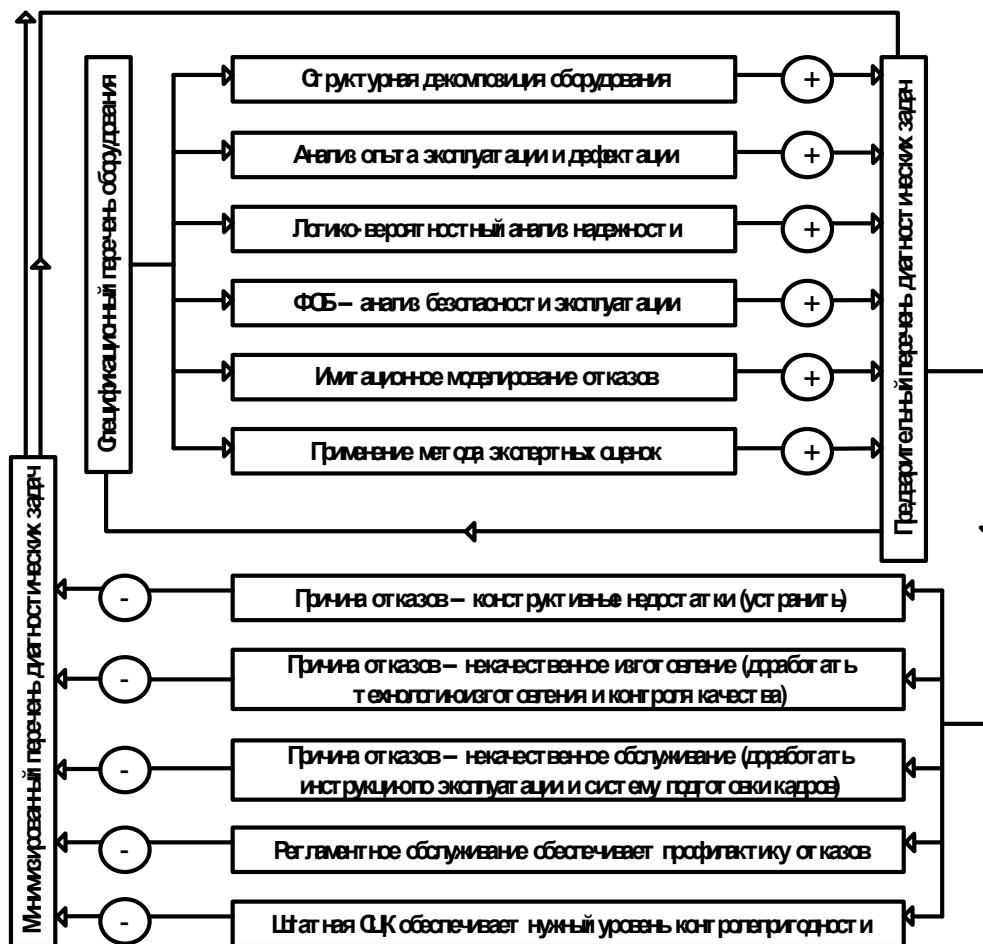


Рисунок – 2 Алгоритм комплексного формирования перечня диагностических задач

5. Поскольку существует большое разнообразие конструкций, принципов действия и условий эксплуатации различных элементов энергетического оборудования, разнородностью физико-химических разрушающих процессов, темпов их развития, влияния на работоспособность оборудования, то с целью упорядочения анализа этих процессов и рационализации выбора диагностических методов и средств применять иерархический подход, распределив все диагностические задачи по трем уровням: энергетический, механический и структурный.

Остановимся подробнее на механическом уровне диагностики оборудования. Снижение вероятности внезапных отказов и аварий, вызванных неконтролируемым развитием триботехнических, абразивных и усталостных износов, коррозии, эрозии, кавитации, температурных деформаций, силовых и ударных нагрузок, вибрации, попаданием посторонних предметов, нарушением качества смазки и другими причинами требует применения специальных методов и средств. К таким методам относятся, прежде всего: контроль вибрационных характеристик, эндоскопический осмотр внутренних полостей оборудования, мониторинг остаточной толщины стенок корпусов и трубопроводов, бесконтактное измерение зазоров в опорных узлах механизмов.

Диагностические сложности вибромониторинга связаны прежде всего с зависимостью параметров вибрации от большого количества факторов и сложностью выделения сигнала, обусловленного наличием неисправности [4], а также влиянием частоты колебаний, формы деталей и несплошности среды на распространение и затухание виброволн;

Диагностические сложности эндоскопических осмотров состоят в их области применения, а именно в осмотре внутренних полостей дизелей, газотурбинных двигателей [5].

Диагностические сложности бесконтактного мониторинга зазоров заключаются в том, что для установки датчиков требуется доработка опорного узла и контроль возможен только на переходных режимах, поскольку неуравновешенность сил, действующих на ротор, не допускает его свободной прецессии на установившихся режимах.

Диагностические сложности ультразвуковой толщинометрии состоят в том, что присутствует ручная технология управления прибором, низкая эффективность точечной технологии в случае язвенной коррозии.

Указанные методы не могут в полной мере решить поставленную задачу. В связи с чем предлагается методика синтеза алгоритмов автоматизированного поиска причин нарушения работоспособности судовых систем, в основу которой положен дискретный метод обработки результатов контроля теплотехнических параметров.

Основные принципы методики заключаются в следующем:

Техническая система представляется в виде набора ФСЭ (насосов, клапанов, теплообменников и т.п.), соединенных коммуникациями в соответствии с принципиальной схемой системы.

Каждый ФСЭ 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 ФСЭ оценивается следующим образом: все параметры в норме – нарушений работоспособности нет; все выходные параметры ФСЭ в норме, а выходной параметр не в норме – причиной нарушения работоспособности системы является данный ФСЭ; не в норме один из входных параметров – причиной нарушения работоспособности системы является один из предыдущих ФСЭ.

Если приведенные выше правила записать для каждого ФСЭ в виде логического уравнения и решать полученную систему уравнений, задавая поочередно отказы различных ФСЭ, можно получить комбинации дискретных значений контролируемых параметров для всех нештатных ситуаций, возникающих в системе при отказах оборудования. Эти комбинации могут быть занесены в столбцы эталонной таблицы (матрица).

Эталонная матрица, дополненная текстами диагнозов, рекомендаций и прогнозов, а также графические файлы с фрагментами мнемосхем, заносятся в память вычислительной машины, входящей в состав судового информационно-

измерительного комплекса, и используются в качестве информационного обеспечения.

Во время эксплуатации судна автоматический режим поиска отказавшего оборудования обеспечивается диагностическим алгоритмом (рис. 3).

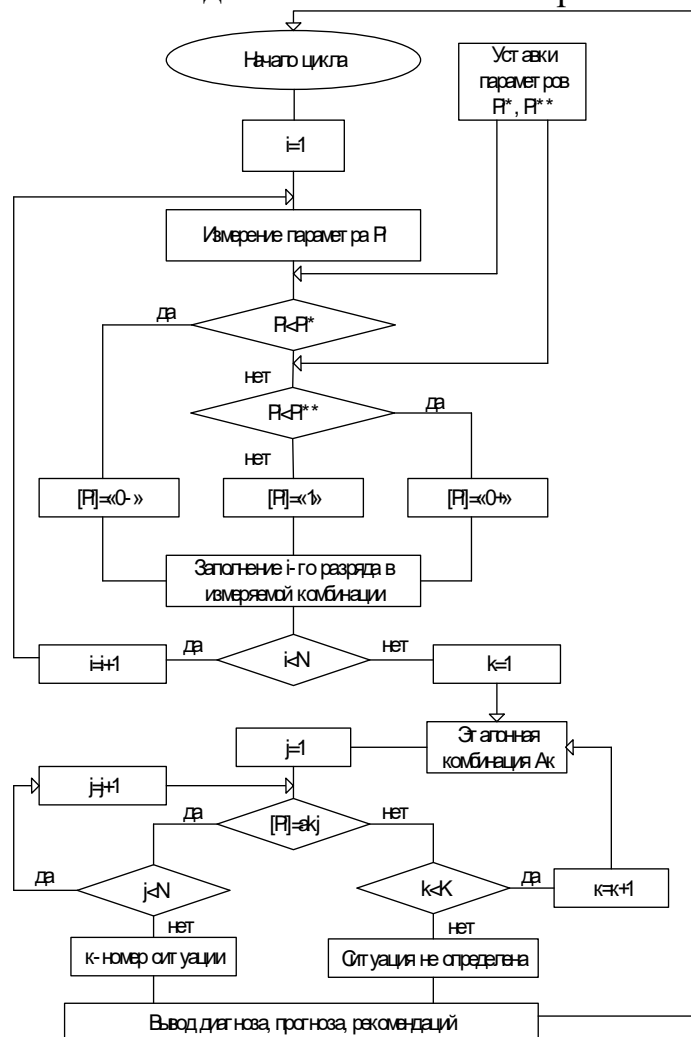


Рисунок – 3 Диагностический алгоритм.

Судовой измерительно-вычислительный комплекс обеспечивает циклический опрос датчиков, измеряющих теплотехнические параметры энергетической установки и ее систем. Результат измерения каждого параметра сравнивается с соответствующими уставками, хранящимися в памяти измерительно-вычислительного комплекса. 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. Его номер соответствует номеру искомой

нештатной ситуации. В соответствии с ним оператору выдается диагноз, рекомендации и прогноз, а также показывается фрагмент мнемосхемы, на котором цветом и анимацией выделяется элемент оборудования, отказ которого явился причиной нарушения работоспособности технической системы (рис. 4).

10:28 28.09.2023		Нет протока смаз. масла лев. сторона 1-4 цил.	
Время	Событие		
0	28.09.2023 10:27:47	Нет протока смаз. масла лев. сторона 1-4 цил.	
1	28.09.2023 10:23:43	Неисправность термодата прав. сторона	
2	28.09.2023 10:23:43	Неисправность термодата лев. сторона	
3	28.09.2023 10:23:43	Неисправность датчика давления смаз. масла ГД	

0: ИСТОРИЯ

1: ГЛАВНАЯ 2: ТВГ 3: ДАТЧИКИ 4: ЖУРНАЛ 5: ГРАФИКИ 6: СЕРВИС

Рисунок – 4 Результат моделирования

Ключевым моментом реализации предлагаемой концепции является выполнение подготовительных этапов, обеспечивающих синтез эталонной диагностической матрицы.

Далее разрабатывается функциональная схема, каждый элемент которой содержит аналоговое описание происходящих в нем рабочих процессов (рис. 5).

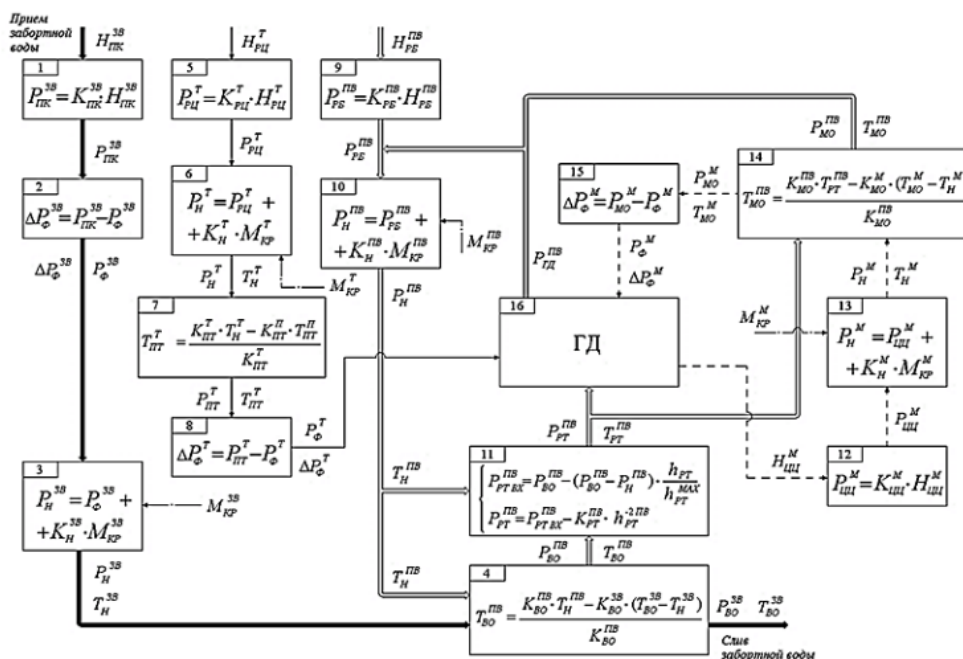


Рисунок – 5 Функциональная схема систем главного двигателя

Преобразование аналоговых выражений, представленных на рисунке 5, в дискретную форму позволяет сформировать систему логических уравнений (1):

$$\begin{array}{lll}
Z_1 = X_1 \wedge \theta_1 & Z_{2-1} = Z_1 \wedge \theta_{2-1} & Z_{10} = X_{16} \wedge Z_{14-3} \wedge X_{10} \vee Z_9 \wedge \theta_{10} \\
Z_{2-2} = Z_{2-1} \wedge Z_1 \wedge \theta_{2-2} & Z_3 = Z_{2-1} \wedge X_3 \wedge \theta_3 & Z_{11-1} = Z_{4-4} \wedge Z_{10} \wedge X_{11-1} \wedge \theta_{11-1} \\
Z_{4-1} = Z_3 \wedge Z_{10} \wedge X_{4-1} \wedge X_{4-2} \wedge \theta_{4-1} & & Z_{11-2} = Z_{4-4} \wedge Z_{10} \wedge X_{11-1} \wedge \theta_{11-2} \\
Z_{4-2} = Z_3 \wedge Z_{10} \wedge X_{4-1} \wedge X_{4-2} \wedge \theta_{4-2} & & Z_{12} = X_{12} \wedge \theta_{12} \quad Z_{13} = Z_{12} \wedge X_{13} \wedge \theta_{13} \\
Z_{4-3} = Z_3 \wedge \theta_{4-3} & Z_{4-4} = Z_9 \wedge \theta_{4-4} & Z_{14-1} = Z_{11-1} \wedge Z_{11-2} \wedge Z_{13} \wedge X_{14-1} \wedge \theta_{14-1} \\
Z_5 = X_5 \wedge \theta_5 & Z_6 = Z_5 \wedge X_6 \wedge \theta_6 & Z_{14-2} = Z_{11-1} \wedge Z_{11-2} \wedge Z_{13} \wedge X_{14-1} \wedge \theta_{14-2} \\
Z_{7-1} = Z_6 \wedge X_{7-1} \wedge X_{7-2} \wedge X_3 \wedge \theta_{7-1} & & Z_{14-3} = Z_{11-2} \wedge \theta_{14-3} \quad Z_{14-4} = Z_{13} \wedge \theta_{14-4} \\
Z_{7-2} = Z_6 \wedge \theta_{7-2} & Z_{8-1} = Z_{7-2} \wedge \theta_{8-1} & Z_{14-4} = Z_{13} \wedge \theta_{14-4} \quad Z_{15-1} = Z_{14-4} \wedge \theta_{15-1} \\
Z_{8-2} = Z_{8-1} \wedge Z_{7-2} \wedge \theta_{8-2} & Z_9 = X_9 \wedge \theta_9 & Z_{15-2} = Z_{15-1} \wedge Z_{14-4} \wedge \theta_{15-2}
\end{array}$$

Выполненное решение указанных уравнений при имитации отказов элементов систем позволяет синтезировать эталонную матрицу, обеспечивающую автоматическое распознавание 46 нештатных ситуаций в системах главного ДВС.

Заключение

Для решения поставленных задач обосновано применение иерархического принципа представления судовой энергетической установки с разделением её на три уровня для дифференциации диагностических задач и методов их решения. Применяя автоматизированные (полуавтоматизированные) системы сбора, хранения и обработки информации о техническом состоянии судовых сложных технических систем и в первую очередь о СЭУ, возможно добиться существенного снижения эксплуатационных затрат. Главным преимуществом предложенной модели является возможность прогнозировать остаточный ресурс оборудования и на основании этой информации осуществлять планирование мероприятий судоремонта, включая:

- определение требуемого количества запасных частей и принадлежностей (ЗИП), их номенклатуры;
- своевременная закупка ЗИП с минимизацией затрат на хранение;
- планирование аренды (выделения) судоремонтных мощностей;
- поиск исполнителей судоремонтных работ;
- уточнение технологии производства судоремонтных работ и т.д.

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. Равин А.А. Диагностическое обеспечение судового энергетического оборудования: проблемы и решения: специальность 05.08.05. «Судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные): автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Равин Александр Александрович, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет. – Санкт-Петербург, 2016. – 40 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. Самсонов А.И. Судовые двигатели внутреннего сгорания: метод. пособие [Электронный ресурс] / А.И. Самсонов; Инженерная школа ДВФУ. –

Электрон. дан. – Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2014. [34] с. - Acrobat Reader, Foxit Reader либо любой другой их аналог. – Режим доступа: <http://www.dvfu.ru/web/nou/metodiceskie-rekomendacii>

5. Самсонов А.В. Современные методы повышения долговечности судовых двигателей внутреннего сгорания / А.В. Самсонов, В.Л. Чурилов // Альманах современной науки и образования. – 2008. - №1 (8). – С.183-185.

6. 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.

7. 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.

8. 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.

Бузиков Р.А., Нецименко В.В. ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МИКРО-, СУБМИКРО- И НАНОПОРОШКОВ SiO₂

Бузиков Р.А.^{1,2}, Нецименко В.В.¹

¹ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет»

Амурская область, г. Благовещенск, ул. Игнатъевское шоссе, 21, 675027

²Российско-Китайский инновационный центр инженерных исследований,

Хэйхэйский университет, Хэйлундзян, г.Хэйхэ, Образовательно-технологический дистрикт No.1, 164300

Аннотация. В статье представлены результаты исследований порошков диоксида кремния (SiO₂) различной размерности: микро-, субмикро- и наночастиц. Все образцы имеют аморфную структуру. Исследованы спектры диффузного отражения и коэффициенты поглощения солнечного излучения при длине волны в диапазоне 200–2500 нм при облучении ксеноновой лампой в вакууме. Выявлено, что микропорошки отражают свет равномерно, тогда как субмикро- и нанопорошки демонстрируют изменчивое поглощение, в частности при облучении длинными волнами. Наночастицы показали наибольший интегральный коэффициент поглощения солнечного излучения, на 28% выше субмикрочастиц и на 6,5% выше микрочастиц. Обнаружены изменения химической структуры поверхности в виде формирования дефектов и функциональных групп, особенно у наночастиц, где прирост концентрации центров поглощения при 15-часовом облучении составил 32%. Продемонстрировано, что указанное изменение вызывает снижение отражательной способности. Фоторазложение SiO₂ связано с собственными дефектами структуры и воздействием примесей, которые особенно выражены у

наночастиц.

Ключевые слова: диффузное отражение, наночастицы, диоксид кремния, центры поглощения, фоторазложение

В данной работе проводилось изучение порошков диоксида кремния (SiO_2), приобретённых с высокой степенью чистоты (99.8 %) у компании Aladdin Chemistry. Исследуемые образцы классифицируются согласно их размерности на микропорошки (3000-10000 нм), нанопорошки (20-50 нм) и субмикropорошки (200-400 нм) (рис. 1).

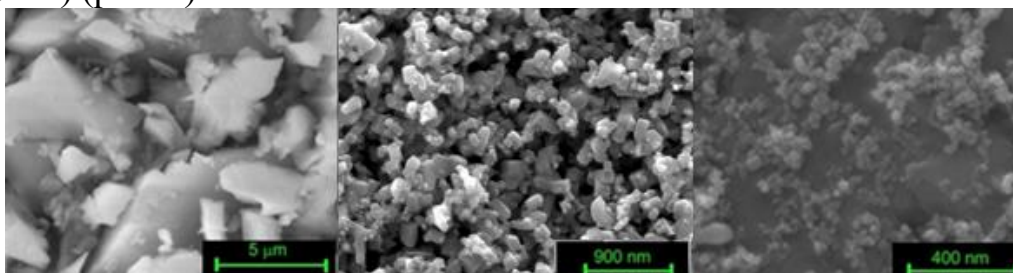


Рисунок 1 – Морфология поверхности микро- (а), субмикро- (б) и нанопорошков (в) диоксида кремния.

После проведения рентгенофазового анализа (РФА) установлено, что все размерности исследуемых порошков SiO_2 обладают аморфной структурой, что можно подтвердить исходя из размытого пика на диаграмме в области 21 градуса. Размер частиц определялся методом растровой электронной микроскопии при помощи установки Helios NanoLab 660, а структура порошков исследована методом рентгенофазового анализа на дифрактометре Rigaku Smartlab X-Ray (40 кВ, 40 мА, $\text{CuK}\alpha$). Спектры диффузного отражения измерялись на спектрофотометре Shimadzu UV-3600I Plus

При последующих экспериментах образцы были подвержены облучению светом ксеноновой дуговой лампы, которая имитирует солнечное излучение с длиной волны от 200 до 2500 нм, а спектры диффузного отражения записывались в установке КИФК. Облучение проводилось в условиях вакуума с интенсивностью излучения 1 эсо (эквивалент солнечного облучения, 1 эсо = 0.139 Дж/(см²·с)) в течение определенных временных интервалов: 2, 5, 10 и 15 часов. Спектры диффузного отражения регистрировались *in situ* как во время, так и после воздействия излучения. Расчёт интегрального коэффициента поглощения солнечного излучения проводился в соответствии с международными стандартами ASTM (E490-00a и E903-96).

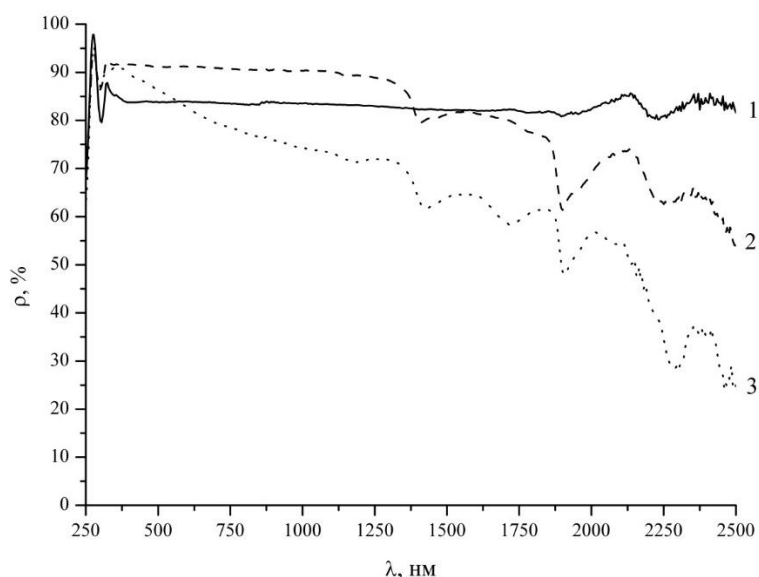


Рисунок 2 – Спектры диффузного отражения микро-(1), субмикро- (2) и нанопорошков (3) SiO₂.

Результаты изучения отражающих свойств порошков SiO₂ (рис. 2) показали, что микрочастицы имеют слабо изменяющийся коэффициент отражения, который превышает 80% на всем диапазоне длин волн, что указывает на их равномерное отражение света. При рассмотрении субмикро- и наночастиц, они демонстрируют более сложную зависимость коэффициента отражения в зависимости длины волны. На длинах волн менее чем 1000 нм коэффициент отражения для субмикро- и наночастиц достигает 90%, но при облучении более длинными волнами он значительно снижается, что свидетельствует о более высокой чувствительности этих частиц к длине волны света.

Данные отличия в отражающих свойствах и выражаются в разнице размеров частиц при их взаимодействии со светом. Микрочастицы, при размерах, превышающим длину волны света, ведут себя как макроскопические объекты, что приводит к их равномерному отражению. Со стороны же наночастиц, которые значительно меньше длины волны, имеют более сложное взаимодействие, проявляющееся в зависимости от длины волны света по отношению к ее размеру. Наночастицы обладают наибольшим коэффициентом поглощения солнечного излучения ($\alpha S = 0,221$), что на 6,5 % больше, чем у микрочастиц, и на 28 % больше, чем у субмикрочастиц. Микрочастицы имеют значение $\alpha S = 0,164$, что немного меньше, чем у наночастиц, но значительно больше, чем у субмикрочастиц с коэффициентом поглощения $\alpha S = 0,112$. Это свидетельствует о том, что размер частиц оказывает значительное влияние на поглощение солнечного излучения: наночастицы поглощают больше всего, затем идут микрочастицы, а субмикрочастицы — наименьше.

Графики изменения интегрального коэффициента поглощения (αS) (рис. 3) для различных типов частиц с течением времени демонстрируют, что увеличение времени облучения способствует росту коэффициента αS для всех типов частиц. Наибольший рост наблюдается у наночастиц, в то время как у микрочастиц он минимален. В течение 5 часов коэффициент αS для микрочастиц составляет 0,016,

а через 15 часов он достигает 0,025. Для субмикрочастиц и наночастиц изменение составляет $0,026 \rightarrow 0,036$ и $0,046 \rightarrow 0,069$ соответственно. Это свидетельствует о динамике изменений поглощения с увеличением времени воздействия солнечного излучения.

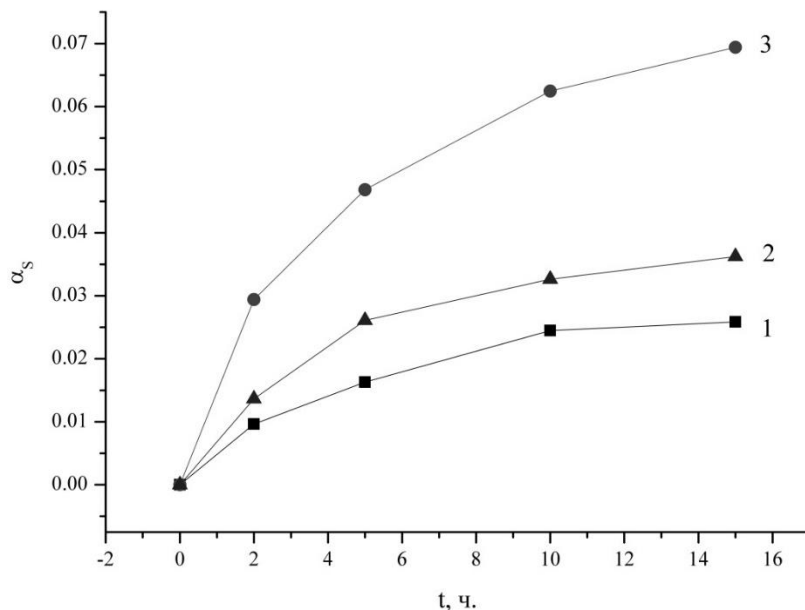


Рисунок 3 – Зависимость значений изменения коэффициента поглощения солнечного излучения, а микро- (1), субмикро- (2) и нанопорошков (3) SiO₂ после облучения ЭМИ Солнца от времени воздействия.

Облучение частиц также вызывает появление пиков в спектре поглощения, интенсивность которых увеличивается со временем. Все типы частиц имеют пик поглощения в диапазоне 270–330 нм, а также пик в УФ-области около 227 нм. В области ближнего ИК не происходит образования центров поглощения. Наибольшая интенсивность наблюдается в видимой части спектра, при этом с увеличением длины волны интенсивность поглощения быстро снижается.

При облучении наночастиц SiO₂ в течение 15 часов наблюдается увеличение концентрации центров поглощения, с увеличением значения Δρ на 32 %. Облучение микрочастиц в течение 15 часов приводит к деградации их оптических свойств в УФ и видимой частях спектра, при этом интенсивность поглощения снижается до 18 %. Для субмикрочастиц в течение 15 часов интенсивность поглощения составляет 14 %, а для наночастиц — 22 %. (рис. 4) Эти изменения могут быть связаны с тем, что облучение приводит к изменению химической структуры поверхности частиц, образованию новых функциональных групп или дефектов, что способствует повышенному поглощению света и снижению отражательной способности.

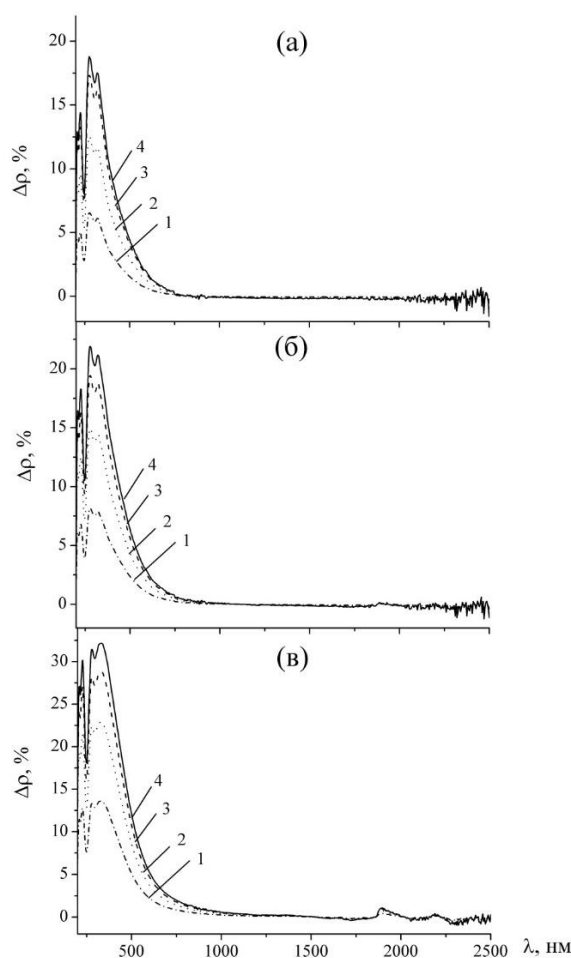


Рисунок 4 – Спектры наведенного поглощения микро- (а), нано-(б) и субмикророшков (в) SiO_2 при разном времени воздействия ЭМИ: 2 (1); 5 (2); 10 (3); 15 ч (4).

Для моделирования сложных физических процессов использовалось программное обеспечение COMSOL Multiphysics, которое применяет метод конечных элементов для решения дифференциальных и интегральных уравнений. Метод заключается в разбиении области на конечные элементы, где аппроксимирующая функция равна нулю за пределами каждого элемента.

Изучали диоксид кремния (SiO_2) с частицами размером 4000 нм, 400 нм, и 40 нм. Показано, что максимальная поглощенная мощность для микрочастиц составляет 100 пВт/м³, а для наночастиц — 200 пВт/м³. На рисунке 5 представлено изображение объёмного распределения поглощённого излучения сплошной микрочастицей. Свет в видимом диапазоне поглощается в значительной степени.

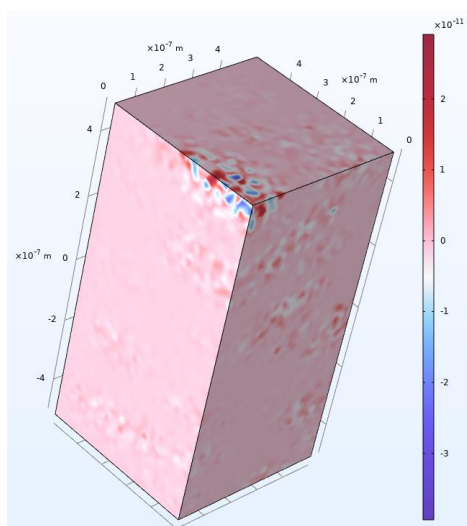


Рисунок 5 – Объемное распределение поглощенного излучения сплошной микрочастицей SiO₂ (Длина волны 600 нм)

На рисунке 6 представлено распределение направленности векторов E и H после отражения излучения сплошной микрочастицей. Видно, что индикатрисы рассеяния соответствуют рассеянию по Закону Ми.

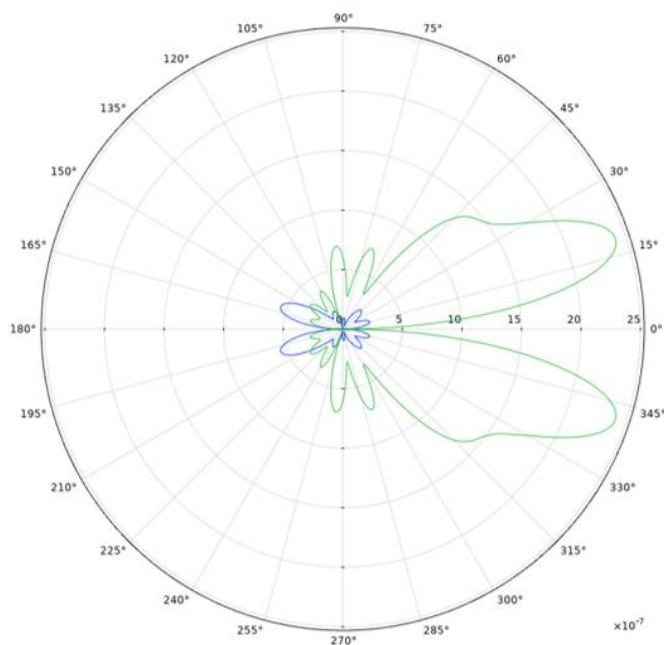


Рисунок 6 – Распределение направленности векторов E и H после отражения излучения сплошным микрокубом SiO₂

В результате проведенных исследований выявлено, что поглощение солнечного излучения зависит от размера частиц. Наночастицы имеют наиболее высокий коэффициент поглощения, превышающий показатели микрочастиц и субмикрочастиц. Они демонстрируют изменения в химической структуре поверхности и прирост концентрации центров поглощения, что приводит к снижению отражательной способности материалов. У наночастиц особенно проявляются процессы фотокатализа и фоторазложения SiO₂, обусловленные дефектами структуры и воздействием примесей.

Список литературы

1. Guzzi M, Pio F, Spinolo G, Vedda A, Azzoni C B, Paleari A. Neutron irradiation effects in quartz: optical absorption and electron paramagnetic resonance. *J. Phys. Condens. Matter*, 1992, 4: 8635-8648.
2. Hosono H, Abe Y, Imagawa H, Imai H, Arai K. Experimental evidence for the Si-Si bond model of the 7.6-eV band in SiO₂ glass. *Phys. Rev. B*, 1996, 44: 12043-12045.
3. Zatsepina A F, Kortova V S, Biryukova D Y. Electron-emission activity of defects in surface layers of crystalline and vitreous silica. *Radiation Effects and Defects in Solids*, 2002, 157: 595-601.
4. Boscaino R, Cannas M, Gelardi F M., Leone M. ESR and PL centers induced by gamma rays in silica. *Nucl. Instr. and Meth. B*, 1996, 116: 373-377.
5. Skuja L. Optically active oxygen-deficiency-related centers in amorphous silicon dioxide. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 1998, 239: 16-48.
6. Vaccaro L., Morana A., Radzig V., Cannas M. Bright visible luminescence in silica nanoparticles. *J. Phys. Chem. C*, 2011, 115: 19476-19481.
7. Nishikawa H, Watanabe E, Ito D, Ohki Y. Kinetics of enhanced photogeneration of E centers in oxygen-deficient silica. *J. of Non-cryst. Solids*, 1994, 179: 179-184.
8. Pantelides S T, Lu Z Y, Nicklaw C, Bakos T, Rashkeev S N, Fleetwood D M, Schrimpf R D. The E' center and oxygen vacancies in SiO₂. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 2008, 354: 217-223.
9. Radtsig V A, Senchenya I N. Hydrogenation of the silanone groups ($\equiv\text{Si-O})_2\text{Si=O}$ experimental and quantum-chemical studies. *Russ. Chem. Bull.*, 1996, 45: 1849-1856.
10. Griscom D L, Friebele E J. Fundamental radiation-induced defect centers in synthetic fused silicas: atomic chlorine, delocalized centers, and triplet state. *Phys. Rev. B*, 1986, 34: 7524-7533.

Голых А.Е., Фомин Д.В. СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНАСТКИ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Голых А.Е., Фомин Д.В.

ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет»

Амурская область, г. Благовещенск, ул. Игнатьевское шоссе, 21, 675027

Аннотация. в статье представлены результаты модельных и натуральных испытаний на воздействие синусоидальной вибрации, (последние из которых проводились в два этапа), спроектированной и изготовленной оснастки, предназначенной для тестирования аккумуляторных батарей строительной, авиакосмической и др. техники. В результате модельных испытаний было установлено, что в диапазоне частот, возникающих при работе строительного

инструмента (перфораторы и ударные шуруповёрты) от 21,8 до 70,5 Гц собственные частоты, отсутствуют, наиболее низкая собственная частота равна 225,06 Гц. При натуральных испытаниях были получены временные зависимости амплитуды и частоты изготовленной оснастки. Незначительные резонансы обнаружены при частотах 64, 70 и 63 Гц. При этом отклонения первого этапа натуральных испытаний от второго не превысили 5% для частот и 20% для амплитуд, что удовлетворяет требованиям стандарта ECSS-E-ST-10-03С, применяемого при тестировании оборудования в том числе на вибрационные воздействия.

Ключевые слова: резонанс, оснастка, синусоидальные вибрации, собственная частота.

В настоящий момент среди компаний, производящих электроинструменты для использования в сфере строительства и других отраслях промышленности наблюдается тенденция отказа от использования сетевого подключения в производимой ими продукции, в пользу применения аккумуляторных батарей. Одним из примеров такого перехода являются аккумуляторные перфораторы, которые сегодня сопоставимы по мощности со своими сетевыми аналогами. Такой тренд обусловлен возможностью использования электроинструмента на отдаленных строящихся объектах, которые не имеют электрических коммуникаций или их использование затруднительно, например, кровельные работы. Немаловажно отметить, что аккумуляторные батареи достаточно часто перестают функционировать из-за механических повреждений внутренних и/или внешних элементов в следствии вибрационных или ударных нагрузок.

Большинство строительных инструментов, использующих в качестве элемента питания аккумуляторные батареи (АКБ) испытывают в процессе своей работы различные механические воздействия, чаще всего ими являются механические колебания (вибрация). Такие колебания обычно возникают непосредственно на рабочих элементах инструментов (например, сверла перфораторов, шнеки снегоочистителей, диски углошлифовальных машинок и т.д.) и передаются от корпуса самого инструмента к АКБ, в следствии чего, например, на плате АКБ могут возникать стойкие резонансы, приводящие к ее повреждению или разрушению. Поэтому важно на этапе разработки тестировать изготовленные прототипы на стойкость к вибрациям (помимо, ударных испытаний и др.).

Для тестирования наиболее распространённых аккумуляторных батарей электроинструмента и АКБ специальной техники, на воздействие синусоидальной вибрации, в программе САПР SolidWorks была спроектирована специальная оснастка (рис. 1 а). Данная оснастка устанавливается на поворотное основание, входящее в состав комплекса, спроектированного ранее для тестирования спутников стандарта CubeSat, и изготовленного в лаборатории малых космических аппаратов Научно образовательного центра им. Циолковского АмГУ (рис. 1 б) [1 - 3]. Данный комплекс также возможно применять для тестирования специальной техники.

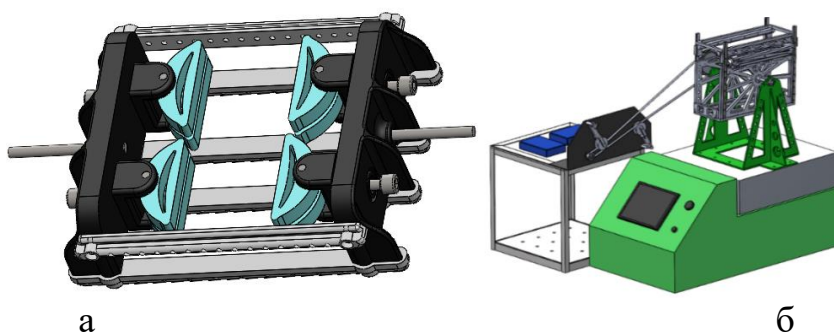


Рисунок 1 – Вид: а) оснастки для тестирования аккумуляторных батарей; б) комплекса для проведения виброиспытаний

В спроектированной оснастке возможно тестировать, в частности, батареи, используемые как в составе космической и летательной техники, так и строительной, а методику испытаний можно использовать соответствующую стандартам наземного тестирования космических аппаратов [4], наиболее требовательны при проведении такого рода испытаний. Так, в соответствии с стандартом ECSS-E-ST-10-03C (европейский стандарт проведения наземных испытаний аэрокосмической техники) в первую очередь проводился динамический анализ частотных характеристик оснастки модельными средствами в программе САПР SolidWorks [5]. При этом немаловажно отметить, что устройство фиксации аккумуляторных батарей проектировалось так, чтобы его собственные частоты были выше 100 Гц. Данное требование связано с синусоидальными вибрациями в диапазоне от 21,8 до 70,5 Гц, возникающими, например, при работе перфораторов и ударных шуруповертов (диапазон был получен эмпирически, путем регистрации частотных характеристик на наиболее распространенных марках перфораторов и ударных шуруповертов, с помощью прибора “Вибротест МГ4.01”). Вторым требованием при проектировании оснастки стал учет воздействий на исследуемый объект в трех взаимно ортогональных плоскостях.

В результате модельного исследования было установлено, что наиболее нагруженными элементами являются “губки” оснастки (рис. 2). При этом наиболее низкая собственная частота соответствует 225,06 Гц, что удовлетворяет первому ранее описанному требованию.

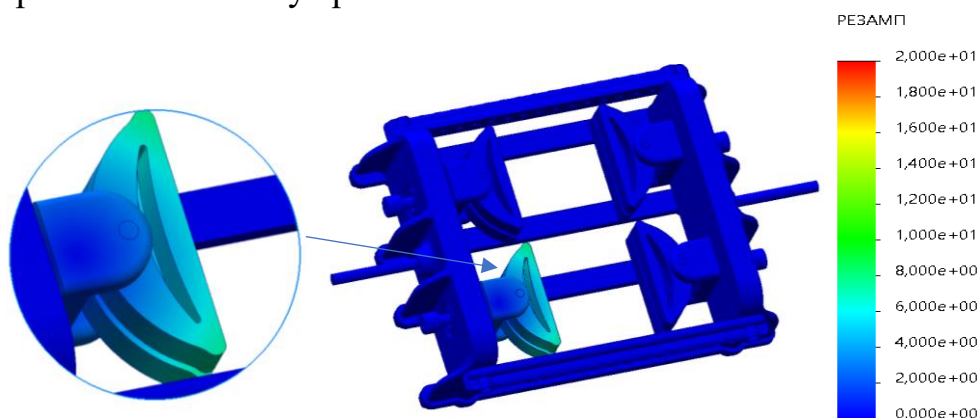


Рисунок 2 – Вид оснастки для АКБ после проведенных модельных вибродинамических испытаний

После оценки модельными средствами, спроектированное устройство было изготовлено с помощью 3D-принтера из PLA пластика с заполнением 55%, при этом накладки на “губки” оснастки были изготовлены из TPU пластика с заполнением 25% (для увеличения трения при фиксации исследуемого объекта). Также для исследования была изготовлена тонкостенная модель корпуса аккумулятора из PETG пластика, для нагрузки фиксирующих элементов оснастки.

Для натурального тестирования, на воздействие синусоидальной вибрации изготовленного образца, датчик регистрирующего прибора “Вибротест МГ4.01” закреплялся в наиболее нагруженном месте (“губке”), определенном ранее модельными средствами (рис. 2). Сама оснастка закреплялась под углом 45° относительно плоскости стола вибростенда, так как в соответствии с ГОСТ 30630.0.0-99 (пункт 6.9) это позволяет уменьшить время испытаний на 1/3. Диапазон частот соответствовал вибрациям возникающими при работе перфораторов и ударных шуруповертов (21,8 – 70,5 Гц, с максимальным ускорение 10g.). Скорость изменения частоты составляла 0,5 окт/мин. Испытание проводилось в два этапа, согласно стандарта ECSS-E-ST-10-03C, с одинаковыми настройками вибростенда, положением оснастки и закреплением регистрирующего датчика. Значения, полученные на первом этапе, выступали в качестве точек отсчета, для сравнения с результатами второго этапа испытаний [4].

В результате обработки полученных данных натуральных испытаний, были построены зависимости амплитуды от времени испытаний (рис. 3) и частоты от времени испытаний (рис. 4) (где первой точке отсчета по шкале времени соответствует 10 с, третьей- 30 и т. д.).

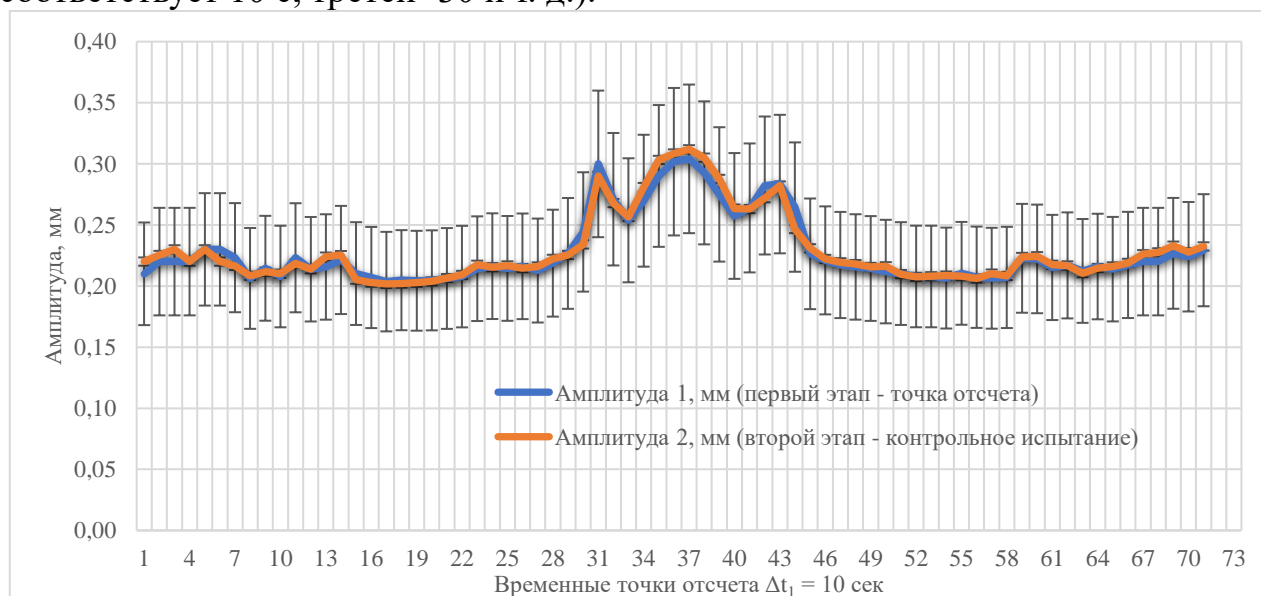


Рисунок 3 – Зависимость амплитуды от времени испытаний

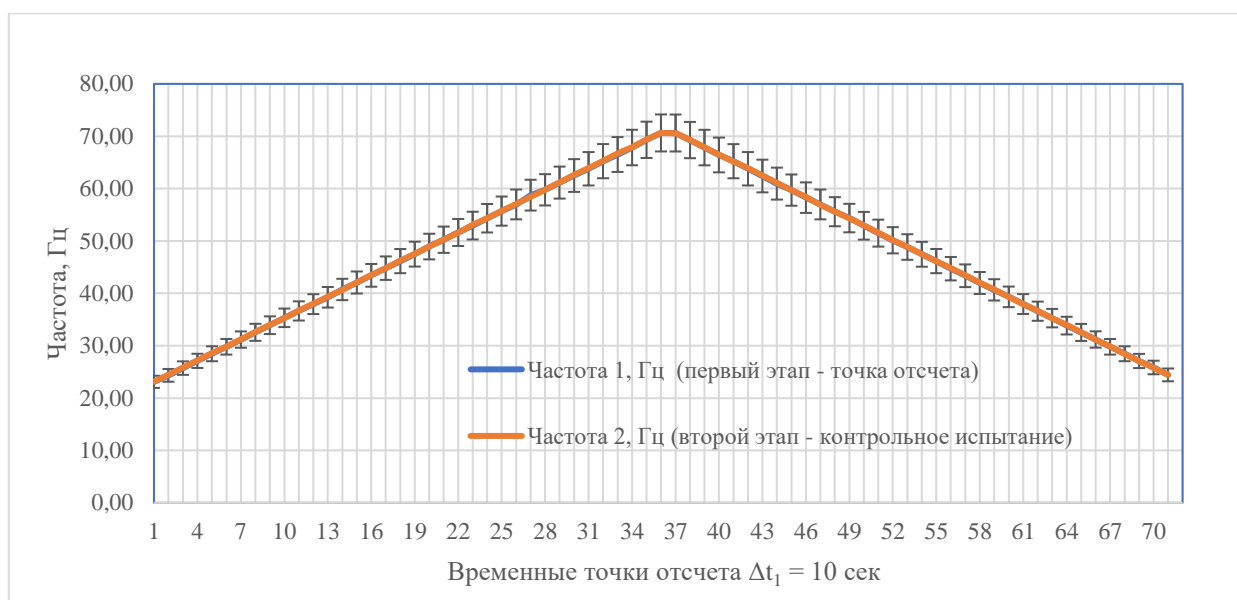


Рисунок 4 – Зависимость частоты от времени испытаний

Анализируя полученные зависимости, было установлено, что расхождения амплитуд на первом и втором этапах испытаний не превышают 20%, а частот 5% что удовлетворяет требованиям стандарта ECSS-E-ST-10-03C. При этом были зарегистрированы незначительные резонансы на 310, 370 и 430 секундах испытания соответственно, кроме того, в первую минуту испытаний на каждом этапе наблюдается нестабильность, связанная с выходом вибростенда на рабочую амплитуду испытаний, что является нормой для используемого вибростенда ВИКАМ 35/14 [6].

Таким образом, в результате проведенной работы была спроектирована и изготовлена оснастка, предназначенная для тестирования аккумуляторных батарей строительной, авиакосмической и другой специальной техники на воздействие синусоидальных колебаний. В результате модельных испытаний было установлено, что в диапазоне частот работы строительного инструмента (перфораторы и ударные шуруповерты) от 21,8 до 70,5 Гц собственные частоты отсутствуют, наиболее низкая собственная частота равна 225,06 Гц. При натурных испытаниях были получены временные зависимости амплитуды и частоты изготовленной оснастки, анализ которых выявил незначительные резонансы на частотах около 64, 70 и 63 Гц соответственно. При этом отклонения первого этапа натурных испытаний от второго не превысили 5% для частот и 20% для амплитуд, что удовлетворяет требованиям стандарта ECSS-E-ST-10-03C. Из чего можно заключить, что спроектированную и изготовленную оснастку можно применять для тестирования АКБ специального оборудования испытываемого вибрации в диапазоне выше указанных частот, при этом она не вносит изменений в спектральные характеристики исследуемого объекта.

Работа выполнена при поддержке внутреннего гранта АмГУ на 2024-2025 годы.

Список литературы

1. Голых, А. Е. Поворотный комплекс для проведения вибродинамических испытаний наноспутников / А. Е. Голых, Д. В. Фомин // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2023. – Т. 66, № 6. – С. 472-482. – doi 10.17586/0021-3454-2023-66-6-472-482.
2. Фомин, Д. В. Имитатор транспортно-пускового контейнера для вибродинамических испытаний наноспутников стандарта CubeSat 6U / Д. В. Фомин, А. Е. Голых // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2024. – Т. 67, № 7. – С. 586-592. – DOI 10.17586/0021-3454-2024-67-7-586-592.
3. Патент № 2796176 С1 Российская Федерация, МПК В64G 7/00. Поворотное устройство имитатора транспортно-пускового контейнера спутника CubeSat 1-3U : № 2022134380 : заявл. 27.12.2022 : опубл. 17.05.2023 / Д. В. Фомин, А. Е. Голых ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Амурский государственный университет".
4. Европейский стандарт проведения наземных испытаний аэрокосмической техники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.abbottaerospace.com/downloads/ecss-e-st-10-03c-space-engineering-testing/> – 16.01.2025
5. Справка SolidWorks, раздел Simulation, подраздел “динамический анализ”. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://help.solidworks.com.-16.01.2025>
6. Электромеханический вибрационный стенд ВИКАМ-35/14 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://technoprism.ru/catalog/proizvodstvo-ispytate-inogoborudovaniya/ispytatelnye-stendyvikam/elektromekhanicheskiy-vibratsionnyy-stend-vikam-35/> . – 16.01.2025.

Рябов И.А., Фомин Д.В., Шолыгин И.О., Поляков А.В. РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА УСТРОЙСТВА СМЕНЫ МАСОК

*Рябов И.А., Фомин Д.В., Шолыгин И.О., Поляков А.В.
ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет»*

Амурская область, г. Благовещенск, ул. Игнатьевское шоссе, 21, 675027

Аннотация. В работе представлен результат разработки прототипа устройства для смены прецизионных масок в вакууме. Устройство позволяет осуществлять ступенчатое легирование, а также выполнять точное позиционирование масок относительно образца и их смену в зависимости от скорости сублимации легирующей добавки из резистивного испарителя. Разработка прототипа проведена на основе модернизации ранее изготовленного лабораторного образца устройства (заявка в Роспатент № 2024135444 от 27.11.2024). К элементам модернизации относятся: изменение геометрии и расположения резистивного испарителя, а также способ передачи вращения ведущего вала к валу каретки с масками.

Ключевые слова: полупроводники, легирование, прецизионные маски, резистивный испаритель, шатунный механизм.

Технологии производства полупроводниковых приборов базируются на процессах фотолитографии, травлении, диффузии, напылении тонких плёнок. Во многих из них часто используется маскирование. Так, в фотолитографии используют фотошаблоны при экспонировании фоторезиста, для получения определённой топологии рельефа фоторезиста на полупроводнике. Маскирование может также использоваться при формировании на полупроводниковых приборах тонких плёнок, контактных площадок, резистивных или диэлектрических слоёв, что позволяет получить планарные транзисторы, тонкопленочные резисторы, конденсаторы и др [1,2].

В процессе формирования полупроводниковых приборов важную роль играет также легирование полупроводников, то есть добавление в состав материала легирующих примесей. Это делается для изменения типа носителей заряда и концентрации их в полупроводнике, а также для создания плавного р-п перехода. Существует два основных метода осуществления легирования: ионная имплантация и термодиффузия [2-4].

Ионная имплантация или ионное легирование заключается во внедрении легирующей примеси бомбардировкой примесных атомов, представляющих собой ионы с энергиями порядка десятков кэВ. Возможен процесс разрушения структуры кристалла при данных энергиях ионов, однако процесс является обратимым, для этого проводится термический отжиг. Преимущества данного метода в точном контроле осаждаемого материала и в возможности создания резкого р-п перехода. Основным недостатком является высокая стоимость оборудования для реализации данного метода [2-5].

Метод термодиффузионного легирования основан на попадании в полупроводник легирующей примеси в результате диффузии её из газовой фазы. На поверхности атомы примеси взаимодействуют с атомами полупроводника и диффундируют в приповерхностные слои, образуя твердый раствор замещения. Интенсивность диффузии растёт с ростом температуры материала. Для предотвращения диффузии окружающей атмосферы, процесс диффузии проводят под вакуумом. В данном методе используются маски для осуществления легирования определённой области полупроводника или создание ступенчатого профиля легирования (создание градиента концентрации легирующей примеси). Основное преимущество по сравнению с ранее рассмотренным методом ионной имплантации является невысокая стоимость оборудования. Недостатком является недостаточный контроль концентрации напыляемой примеси, невозможность создания резкого р-п перехода [2-3,5].

На основе выше изложенного, для реализации в условиях университетской лаборатории физики поверхности НОЦ им К.Э. Циолковского АмГУ был выбран метод термодиффузии для осуществления осаждения материала на образец. Устройство должно обладать следующими возможностями:

- 1) точного позиционирования масок относительно образца;

2) своевременной смены масок в зависимости от скорости испарения легирующей примеси.

Ранее в заявке в Роспатент № 2024135444 от 27.11.2024 было предложено устройство для проведения легирования тонких пленок с перемещением масок относительно образца. Для реализации прототипа устройства использованы высоковакуумный откачной пост PFEIFFER VACUUM Hi CUBE (рабочее давление 10^{-2} Па), и модернизированная вакуумная камера вакуумного универсального поста (ВУП-5), выполненная в виде стеклянного колпака с основанием из стали.

В данной камере был проведен эксперимент по осаждению материала (Mg) на образец через маску. В качестве резистивного испарителя использовалась танталовая трубка, концы которой были соединены с токовводами, в середине трубки было проделано отверстие для выхода испаряемого материала. Образец представлял собой пластину кремния. Откачным вакуумным постом установлено давление 10^{-2} Па. Постоянным током осуществлялся нагрев танталовой трубки, и соответственно испарение материала из неё. В ходе эксперимента было установлено, что при указанном давлении толщина пленки, формируемой на подложке меньше, чем при аналогичных условиях её формирования в сверхвысоковакуумной камере с давлением 10^{-7} Па. Из чего сделано заключение, что при давлении 10^{-2} Па велико рассеивание атомов испаряемого вещества за пределы подложки. Для создания направленного пучка было предложено использование трубочки, расположенной перпендикулярно относительно образца (ориентированная на 90° в сравнении с первым вариантом) (рис. 1). Концы трубки открыты и один из них направлен на датчик, другой на образец. Материал плотно упакован в центре трубки. Токовводы соединяются слева и справа от центра на некотором расстоянии. В ходе многократного отражения атомов материала об стенки трубки создается тонкий направленный пучок атомов.

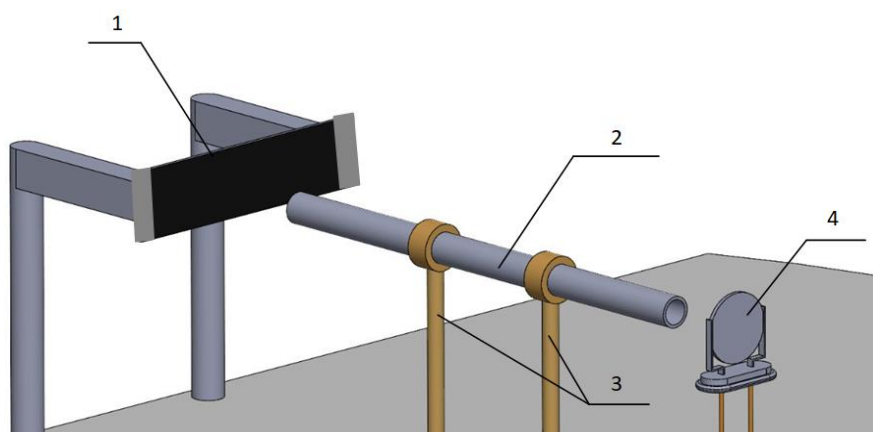


Рисунок 1 – 3D вид системы осаждения из резистивного источника на образец с контролем толщины пленки по датчику:

1 – образец; 2 – резистивный испаритель; 3 – токовводы; 4 – кварцевый датчик

В вакуумной камере ВУП-5 реализовать предложенную ранее в заявке модель сложно, ввиду наличия выступающих токовводов. Поэтому

составляющие конструкцию: образец, каретка, источник и датчик были подняты относительно основания камеры на высоту, превышающую высоту токовводов. Вследствие этого, возникла новая задача по осуществлению передачи движения от ведущего вала к каретке в условиях вакуума. Для её решения было предложено использование шатунного механизма (рис. 2), поскольку ременная передача содержит ремни, имеющие давление паров больше, чем давление, создаваемое в камере, вследствие этого в камеру будут выделяться пары атомов или молекул, выходящих с такого ремня. Данные инородные атомы приводят к ухудшению чистоты эксперимента, они могут оседать на образцах, источниках, образуя новые соединения, или осесть на датчик, что уменьшит качество его работы. Также не является возможным использование металлических приводных цепей, из-за необходимости смазки для передачи плавного движения, что также имеет более высокое давление паров, чем давление создаваемого вакуума.

Предложенный шатунный механизм (рис. 2) включает в себя два диска, сухие подшипники и шатун. Первый диск располагается на ведущем валу, проходящем через основание камеры и включающего систему вакуумизации, второй – на валу, расположенном в основании каретки. В диске для соединения его посредством шатуна с диском передающего крутящий момент валу (встроенному в основании каретки) имеется отверстие, внутрь которого помещается подшипник.

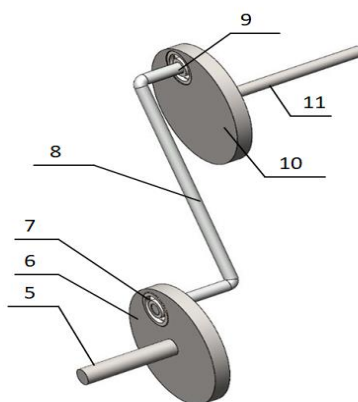


Рисунок 2 – 3D модель шатунного механизма:
 5 – ведущий вал; 6, 10 – диски; 7, 9 – сухие подшипники;
 8 – шатун; 11 – вал каретки

Модернизированное устройство (рис. 3) включает в себя: шаговый двигатель, который посредством ременной передачи (включающей в себя зубчатый ремень и два зубчатых шкива) передаёт вращение ведущему валу. Через шатунный механизм от ведущего вала передается вращательное движение валу, расположенному в основании каретки. Данный вал преобразует вращательное движение в линейное благодаря наличию закрепленному на нем зубчатому колесу, двигающего плоскую рейку каретки. Тем самым путем преобразования вращательного движения в линейное, возможно осуществление

точного позиционирования масок на каретке относительно образца в горизонтальной плоскости. Датчик скорости сублимации легирующей примеси и образец при этом располагаются на одном расстоянии от центра испарителя для соблюдения условия по формированию одинакового количества испаряемого вещества в один момент времени на датчике и образце. При этом для получения более четкого рельефа осаждаемого вещества, образец располагается вплотную к маскам.

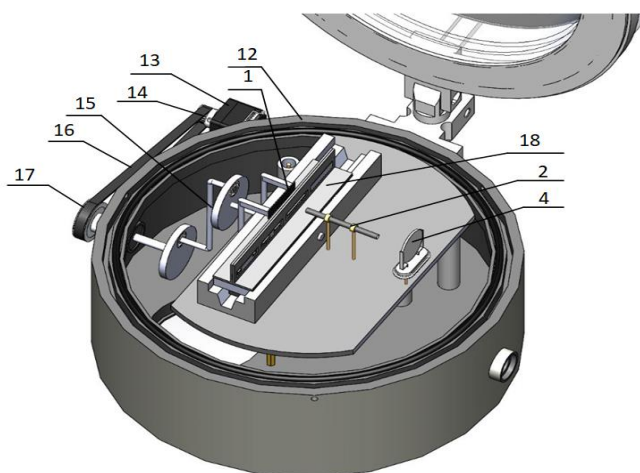


Рисунок 3 – 3D модель реализуемого прототипа устройства смены масок
1 – образец; 2 – резистивный испаритель; 4 – датчик; 12 – вакуумная камера; 13 – шаговый двигатель; 14,17– зубчатые шкивы; 15– шатунный механизм; 16 – ремень; 18 – каретка с закрепленной на ней масками.

Минимальное перемещение каретки главным образом зависит от параметров выбранного шагового двигателя. Так, легкодоступным являлся шаговый двигатель с минимальным шагом угла поворота $1,8^\circ$. Данное движение передается зубчатому шкиву с 20 зубьями и через ременную передачу шкиву с 40 зубьями, которое уже поворачивается на $0,9^\circ$. Далее данное перемещение доходит до зубчатого колеса диаметром делительной окружности 11,82 мм, расположенного на валу в основании каретки и передается зубчатой рейки на обратной стороне каретки. Тем самым она совершает минимальное перемещение порядка 0,19 мм. Это позволяет получить прецизионное линейное перемещение маски относительно образца.

Таким образом, в данной работе представлен результат модернизации ранее разработанного устройства смены прецизионных масок. В ходе эксперимента была изменена геометрия и ориентация резистивного испарителя относительно образца и датчика для получения направленного пучка атомов осаждаемого вещества. С учетом конфигурации имеющейся вакуумной камеры изменен способ передачи движения от ведущего вала к валу каретки. Добавлен шатунный механизм для передачи движения на высоту выше высоты тоководов, расположенных в камере.

Работа выполнена при поддержке внутреннего гранта АмГУ на 2024-2025 год.

Список литературы

1. Лапшинов, Б.А. Нанесение тонких пленок методом вакуумного термического испарения: Методические указания к лабораторной работе по дисциплинам «Технология материалов и изделий электронной техники» и «Технология создания технических систем» / Б.А. Лапшинов. – М.: Московский государственный институт электроники и математики, 2006. — 30 с.
2. Кувшинов, А. М. Основы микро- и нанoeлектроники. Конструкция и технология микросхем: учебное пособие / А.М. Кувшинов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2019 – 47 с.
3. Кесарев, А. Г. К теории атомной диффузии после ионной имплантации / А. Г. Кесарев, В. В. Кондратьев, И. Л. Ломаев // Физика металлов и металловедение. – 2018. – Т. 119, № 11. – С. 1160-1165.
4. Изучение ионной оптики и принципа действия установки ионной имплантации имп-60/2 : Учебно-методическое пособие / сост. Б. Л. Крит. – М. : Изд-во "Спутник+", 2020. – 16 с.
5. Антоненко, С.В. Технология тонких пленок: Учебное пособие. / С.В. Антоненко. – М.: МИФИ, 2008 – 104 с.

References

1. Lapshinov, B.A. Applying thin films by vacuum thermal evaporation: Guidelines for laboratory work in the disciplines of "Technology of materials and electronic products" and "Technology of creating technical systems" / B.A. Lapshinov. Moscow: Moscow State Institute of Electronics and Mathematics, 2006. — 30 p.
2. Kuvshinov, A.M. Fundamentals of micro- and nanoelectronics. The design and technology of microcircuits: a textbook / A.M. Kuvshinov. Chelyabinsk: SUSU Publishing Center, 2019 – 47 p.
3. Kesarev, A. G. On the theory of atomic diffusion after ion implantation / A. G. Kesarev, V. V. Kondratiev, I. L. Lomaev // Physics of metals and metal science. - 2018. – Vol. 119, No. 11. – pp. 1160-1165.
4. The study of ion optics and the principle of operation of the ion implantation unit imp-60/2: A teaching aid / comp. B. L. Crit. Moscow: Sputnik+ Publishing House, 2020, 16 p.
5. Antonenko, S.V. Technology of thin films: A textbook. / S.V. Antonenko. – Moscow.: MEPHI, 2008 – 104 p.

Фомин Д.В., Шолыгин И.О, Поляков А.В., Галкин Н.Г., Галкин К.Н., Чернев И.М. ФОТОСПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИОДОВ СО СТРУКТУРАМИ Au/Mg₂Si/Si/Au-Sb и Al/Mg₂Si/Si/Au-Sb

Д.В. Фомин¹, И.О. Шолыгин¹, А.В. Поляков¹, Н.Г. Галкин², К.Н. Галкин², И.М. Чернев²

Амурский государственный университет¹, г. Благовещенск, Игнатьевское шоссе, 21

Аннотация. в работе рассмотрен перспективный непрямозонный полупроводник Mg_2Si , сформированный в виде толстой поликристаллической пленки толщиной 682 нм. Наличие силицидообразования в пленке установлено из результатов спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС). На основе рассматриваемой пленки были изготовлены фотодиодные структуры с p-n переходом $Al/Mg_2Si/Si-n/Au-Sb$ и $Au/Mg_2Si/Si-n/Au-Sb$. Был проведен анализ их вольтамперных характеристик, установлена зависимость фотоотклика фотодиодной структуры от длины волны излучения, знака и величины приложенного к контактам потенциала. При прямом включении фотодиода обнаружена особенность в виде узкой спектральной характеристики фотоотклика при длине волны 1050 нм. При обратном включении наблюдались: для Al контакта значение пика фотоотклика соответствовало 750 нм, в то время как для Au контакта - 800 нм. Анализ данных исследований показал, что при высокотемпературном отжиге кремния в нем формируется двойной p-n переход с запирающим слоем, который вместе с гетеропереходом $Mg_2Si/Si-p$ и определяет уникальные фотоспектральные характеристики.

Ключевые слова: силицид магния, фотодиодные гетероструктуры, p-n переход, локальный фотоотклик, фотоспектральные характеристики

Силициды с полупроводниковыми свойствами представляют интерес у научного сообщества как многообещающие материалы для микро- и наноэлектроники. К ним относится непрямозонный полупроводник Mg_2Si с шириной запрещенной зоны 0,74 эВ [1, 2]. Данный силицид имеет более высокую фоточувствительность в ИК области в сравнении с монокристаллическим кремнием [1-4]. Оптические и электронные свойства силицида магния позволяют рассматривать его как перспективный материал для оптоэлектронных и термоэлектрических приборов. Однако, несмотря на распространенность исходных материалов, создание приборных структур на основе соединений Mg с Si ограничено лабораторными прототипами. Это связано со сложностью эпитаксиального роста пленок силицида на подложках Si и высоким коэффициентом десорбции атомов Mg с поверхности подложек [3, 4]. Скорость десорбции атомов Mg растет с увеличением температуры прогрева подложки выше 250 °C, а также при скоростях осаждения Mg до 10 нм/мин, что приводит к отсутствию силицидообразования [5, 6]. Большая часть описанных в литературе пленок Mg_2Si , выращенных на монокристаллических подложках кремния, состоят, как правило, из разориентированных зерен и имеет поликристаллическую структуру [7-8]. Множественные границы раздела между зернами приводят к рассеянию фотосгенерированных носителей заряда и ухудшению электронных свойств пленки [6]. В настоящее время идет поиск эффективного метода, который позволял бы получать на подложках Si пленки Mg_2Si с высокими кристаллическими свойствами, важными для изготовления приборных структур. В данной работе рассматриваются свойства и

характеристики фотодиодов Au/Mg₂Si/Si/Au-Sb и Al/Mg₂Si/Si/Au-Sb, сформированных на основе пленки Mg₂Si, толщиной 680 нм.

Условия формирования пленки Mg₂Si

Формирование пленок силицида магния проводилось методом реактивной эпитаксии в сверхвысоковакуумной камере Varian, прибора PHI-590, с базовым давлением 10⁻⁷ Па. Подложка была вырезана из промышленной шайбы КЭФ Si (111), с удельным сопротивлением 2-15 Ом·см. После высокотемпературного отжига подложки при 1150 °С, на нее при КТ был осажден слой аморфного Si толщиной 60 нм. Далее на его атомарно чистую поверхность поочередно парно три раза осаждались слои Mg и Si. Соотношение толщин слоев было выбрано 3 к 1 соответственно. Скорости осаждения составляли 9,4 нм/мин для Mg и 1,1 нм/мин для Si. Температура подложки, во время формирования слоев, составляла 250 °С. Фактическая толщина пленки была определена ex-situ по изображению скола образца, полученного с применением сканирующего электронного микроскопа Hitachi S-3400N. Средняя толщина пленки составила 682 нм.

Для подтверждения силицидообразования в пленке, было проведено исследование методом спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС) (спектрометр NTEGRA SPECTRA II NT-MDT. Спектры КРС приведены на рисунке 1.

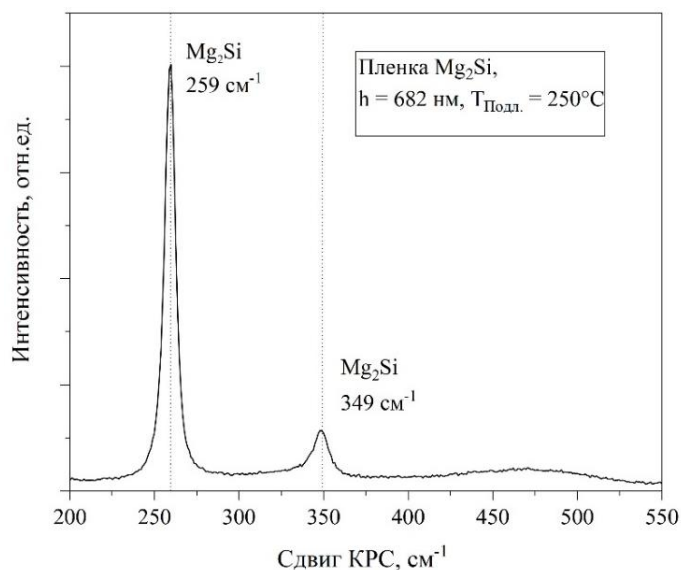


Рисунок 1 – Спектр КРС сформированной пленки

На спектре КРС наблюдаются пики при значениях 259 и 348 см⁻¹, данные фоновые моды F_{2g} и LO, согласно источникам [9, 10] соответствуют Mg₂Si.

Изготовление фотодиодных структур

Для создания фотодиодов Шоттки со структурами Au/Mg₂Si/Si/Au-Sb и Al/Mg₂Si/Si/Au-Sb поверх сформированной пленки (лицевую сторону) были осаждены контакты Al и Au с толщинами по 100 нм каждый. На обратной стороне подложки для создания омического контакта необходимо было сформировать слой n⁺-Si в слаболегированном кремнии, для этого был осажден слой Sb толщиной 25 нм, после чего был произведен отжиг подложки при 350 °С. Далее был осажден слой Au толщиной 75 нм. Осаждение контактов было проведено

методом электронно-лучевого осаждения. Структурная схема полученных фотодиодов приведена на рисунке 2.

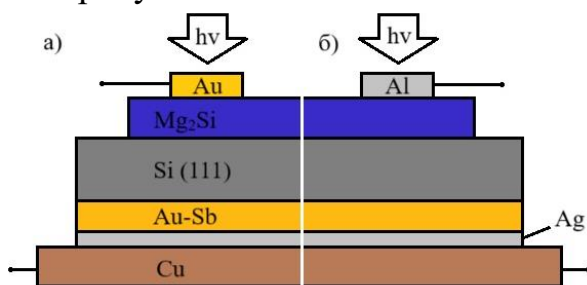


Рисунок 2 – Структурная схема изготовленных фотодиодов

Образец помещался на изолированную контактную площадку для дальнейшего включения фотодиодов в измерительную цепь. Контакт между слоем Au-Sb и медной площадкой был получен при помощи проводящей пасты на основе порошка Ag. Включение контактов на лицевой стороне было реализовано с помощью зажимов.

Фотоспектральные характеристики фотодиодов

Фотоспектральные характеристики диодных структур при различных потенциалах приведены на рисунках 3 и 4.

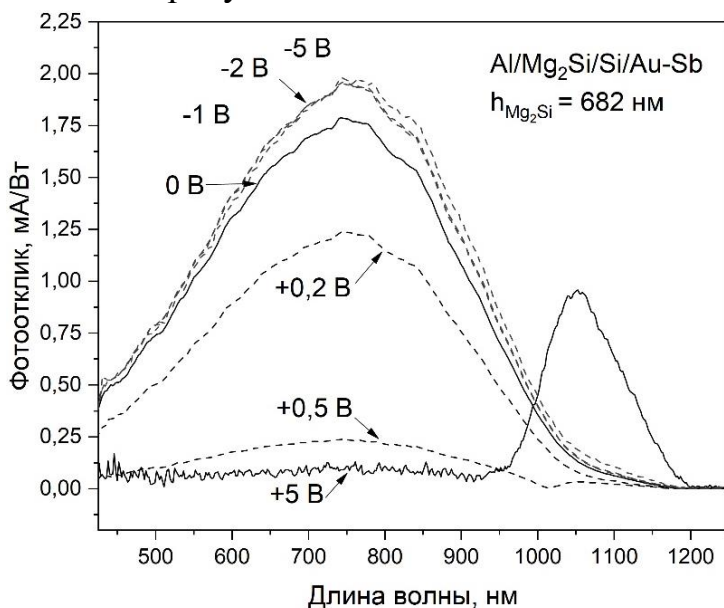


Рисунок 3 – Спектральный фототоотклик для структуры Al/Mg₂Si/Si/Au-Sb

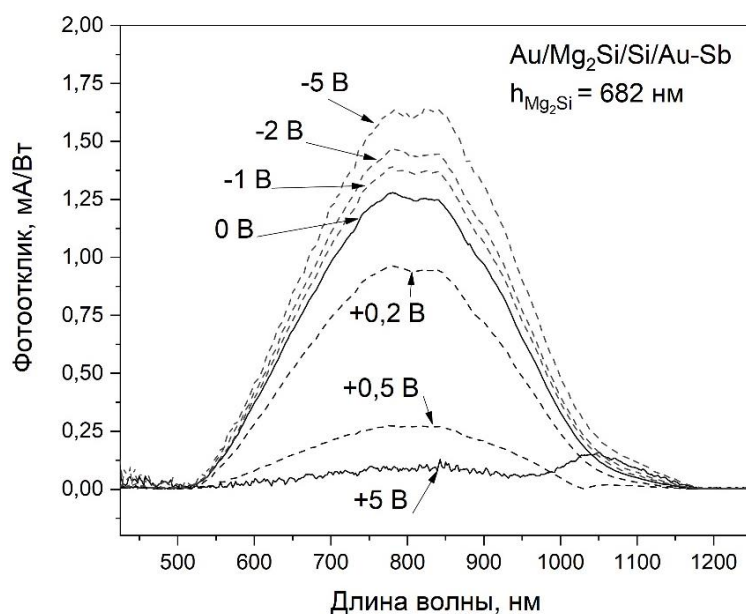


Рисунок 4 – Спектральный фототклик для структуры Au/Mg₂Si/Si/Au-Sb

В случае прямого включения диода (положительный полюс на лицевых контактах) и приложенном потенциале +0,2 В для структуры с контактом Al фототклик наблюдается в диапазоне длин волн от 450 до 1050 нм. Для диода с контактом Au фототклик наблюдается в диапазоне от 550 до 1050. При длинах волн от 1100 нм и более фототклик не наблюдается. При увеличении приложенного потенциала до +0.5 В для обоих контактов начинает появляться локальный пик с положением максимума 1050 нм. Максимальное значение данного пика наблюдается при потенциале +5 В, при этом интенсивность данного пика значительно выше для контакта Al.

В случае обратного включения при приложенных потенциалах от -1 до -5 В наблюдается только один пик, который для контакта Al находится в диапазоне от 450 до 1050 нм, в случае же контакта Au коротковолновая граница смещена влево и находится в диапазоне от 550 до 1050 нм. Амплитуда данного пика практически не зависит от величины подаваемого потенциала. Интенсивность пика также выше в случае контакта Al.

Обсуждение и выводы

Таким образом, в работе приведены результаты исследования пленки Mg₂Si, со средней толщиной 682 нм, сформированной на подложке Si (111). Рассмотрены свойства диодных структур, полученных на основе данной пленки. Методом рамановской спектроскопии по сдвигам 259 и 349 см⁻¹ (фононные моды F2g и LO) установлен факт силицидообразования, согласно [9, 10].

На основе сформированной пленки были изготовлены два диода со структурами Al/Mg₂Si/Si-n/Au-Sb и Au/Mg₂Si/Si-n/Au-Sb со встречно включенными p-n переходами и дополнительно добавленным гетеропереходом с Mg₂Si. Такая структура проявляет уникальные фотоспектральные характеристики с локализованной полосой фототклика при положительном потенциале на контактах Al и Au.

Список литературы

1. Оптические свойства пленки полупроводникового силицида Mg_2Si на Si (111) в области температурной стабильности / С. А. Доценко, Д. В. Фомин, Галкин К.Н., и др. // *Химическая физика и мезоскопия*. – Т. 12, № 3. – 2010. – С. 376 – 381.
2. Multilayer Si (111)/ Mg_2Si clusters/Si heterostructures: Formation. Optical and thermoelectric properties / Galkin N.G., Galkin K.N., Vavanova S.V. // *E-Journal of Surface Science and Nanotechnology*. – V.3. – 2005. – P.12-20. – DOI: 10.1380/ejsnt.2005.12.
3. Вигдорович // *Микро- и наноэлектроника. Физика конденсированного состояния*. – Т. 7. – №7. – 2019. – С. 41 – 49. DOI: 10.32362/2500-316X-2019-7-3-41-49.
4. Fabrication of Mg_2Si pn-junction Photodiode with shallow Mesa-structure and Ring Electrode / Tomohiro Akiyama, Nobuhiko Hori, Shuntaro Tanigawa, et al. // *APAC Silicide*. – July 16 – 18, 2016. – Proc. 5. – DOI:10.7567/JJAPCP.5.011102.
5. Formation of Mg_2Si at high temperatures by fast deposition of Mg on Si (111) with wedge-shaped temperature distribution / Gouralnik A.S., Maslov A.M., Ustinov A. Yu., et al // *Applied Surface Science*. – V. 439. – 2018. – P 282–284.
6. Mg_2Si film on Si (111) prepared by ultrafast Mg reactive deposition: crystal structure and thermoelectric properties / И.М. Чернев, Е.Ю. Субботин, Е.В. Аргунов, и др. // *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского политехнического университета. Физико-математические науки*. – 2023. – Том. 16. - № 3.1. – С. 106-111. DOI: 10.18721/JPM.163.119.
7. Mg_2Si is the new black: introducing a black silicide with > 95 % average absorption at 200 – 1800 nm wavelengths / A. Shevlyagin, V. Iiyaschenko // *Materials*. – 2022. – P. 5-14.
8. $FeSi$ and $CrSi_2$ thin flims as transparent conductive layers for VIS/SWIR sensitive Mg_2Si films grown of Si / Chernev I.M., Gouralnik A. S., Subbotin E. Yu., et al. // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*. 2023. V. 87. suppl. issue.3. P. 370-374. <https://doi.org/10.1134/S1062873823705718>.
9. Optoelectronic properties of Mg_2Si semiconducting layers with high absorption coefficients / Kato T., Sago Y., Fujiwara H. // *J Appl Phys*. 2011. – Vol. 110, № 6. – P. 063723. – doi: 10.1063/1.3642965.
10. Resonant raman scattering in ion-beam-synthesized Mg_2Si in a silicon matrix / Baleva M., Zlateva G., Atanassov A. et al. // *Phys Rev B Condens Matter Mater Phys*. – 2005. – Vol. 72. – № 11. – P. 115330. – DOI:10.1103/PhysRevB.72.115330.

References

1. Optical properties of Mg_2Si semiconductor silicide film on Si(111) in the field of temperature stability / S. A. Dotsenko, D. V. Fomin, Galkin K.N., et al. // *Chemical physics and mesoscopy*. - Vol. 12, No. 3. – 2010. – pp. 376-381.
2. Multilayer Si (111)/ Mg_2Si clusters/Si heterostructures: Formation. Optical and thermoelectric properties / Galkin N.G., Galkin K.N., Vavanova S.V. // *E-Journal of Surface Science and Nanotechnology*. – V.3. – 2005. – P.12-20. – DOI: 10.1380/ejsnt.2005.12.

3. Vigdorovich // Micro- and nanoelectronics. Condensed matter physics. – Т.7. – №7. – 2019. – Pp. 41-49. DOI: 10.32362/2500-316X-2019-7-3-41-49
4. Fabrication of Mg₂Si pn-junction Photodiode with shallow Mesa-structure and Ring Electrode / Tomohiro Akiyama, Nobuhiko Hori, Shuntaro Tanigawa, et al. // APAC Silicide. – July 16 – 18, 2016. – Proc. 5. – DOI:10.7567/JJAPCP.5.011102
5. Formation of Mg₂Si at high temperatures by fast deposition of Mg on Si (111) with wedge-shaped temperature distribution / Gouralnik A.S., Maslov A.M., Ustinov A. Yu., et al //Applied Surface ScienceV. 439.– 2018. – P 282–284
6. Mg₂Si film on Si (111) prepared by ultra-fast Mg reactive deposition: crystal structure and thermoelectric properties /. I.M. Chernev, E.Y. Subbotin, E.V. Argunov, et al. // Scientific and Technical Bulletin of St. Petersburg Polytechnic University. Physical and mathematical sciences. - 2023. - Tom. 16. - No. 3.1. - pp. 106-111. DOI: 10.18721/JPM.163.119
7. Mg₂Si is the new black: introducing a black silicide with > 95 % average absorption at 200 – 1800 nm wavelengths / A. Shevlyagin, V. Iiyaschenko // Materials. – 2022. – P. 5-14.
8. FeSi and CrSi₂ thin films as transparent conductive layers for VIS/SWIR sensitive Mg₂Si films grown on Si / Chernev I.M., Gouralnik A. S., Subbotin E. Yu., et al. // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 2023. V. 87. suppl. issue.3. P. 370-374. <https://doi.org/10.1134/S1062873823705718>.
9. Optoelectronic properties of Mg₂Si semiconducting layers with high absorption coefficients / Kato T., Sago Y., Fujiwara H. // J Appl Phys. 2011. – Vol. 110, № 6. – P. 063723. – doi: 10.1063/1.3642965.
10. Resonant raman scattering in ion-beam-synthesized Mg₂Si in a silicon matrix / Baleva M., Zlateva G., Atanassov A. et al. // Phys Rev B Condens Matter Mater Phys. – 2005. – Vol. 72. – № 11. – P. 115330. – DOI:10.1103/PhysRevB.72.115330.

Секция 11 - Промышленная безопасность

Куверин И.Ю., Зернов А.А., Воробьев А.А. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННЫХ МАСЕЛ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Куверин Игорь Юрьевич, Зернов Александр Анатольевич, Воробьев Алексей Алексеевич

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А. Кафедра «Организация перевозок, безопасность движения и сервис автомобилей» 410054, Приволжский федеральный округ, Саратовская область, г. Саратов, ул. Политехническая, д. 77.

Аннотация. В статье рассматриваются современные технологии переработки отработанных масел, представляющие собой экологически и экономически целесообразный метод утилизации отходов нефтепереработки. Описаны основные этапы процесса, включающие предварительную обработку, вакуумную дистилляцию и постобработку, а также приведены характеристики

оборудования, обеспечивающего высокую эффективность и качество получаемых базовых масел. Особое внимание уделяется важности вторичной переработки отработанных масел для снижения негативного воздействия на окружающую среду и сохранения ценных ресурсов.

Ключевые слова: отработанные масла, вторичная переработка, вакуумная дистилляция, базовые масла, гидроочистка, экологическая безопасность, нефтепереработка.

Проблема утилизации отработанных масел является одной из актуальных экологических и экономических задач современности. Отработанные масла, такие как моторные, гидравлические и трансмиссионные, представляют собой сложные смеси углеводородов, загрязненные различными примесями, такими как вода, механические частицы, продукты разложения и металлы (рис. 1).

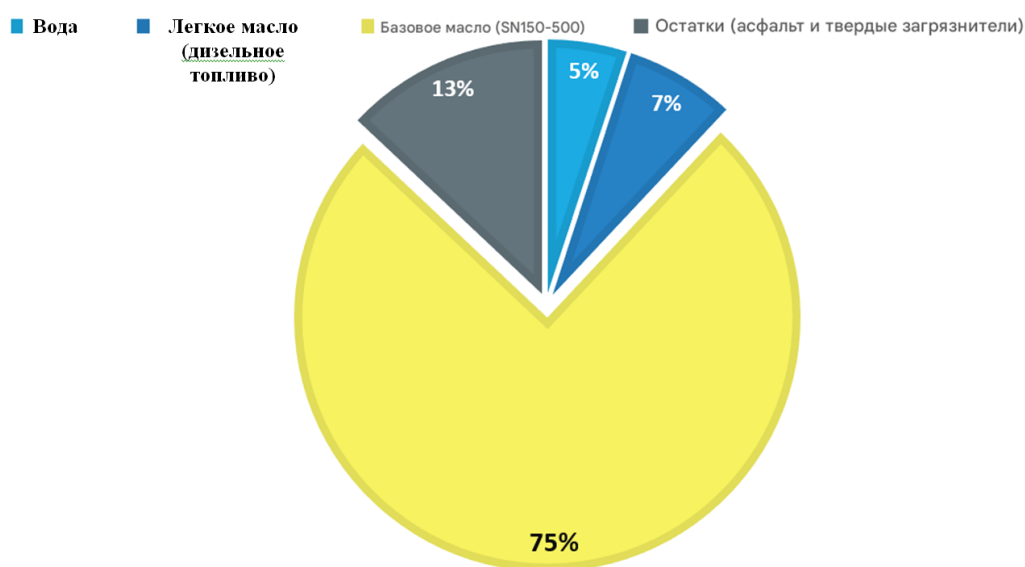


Рисунок 1 - Состав отработанных масел

Неправильная утилизация отработанных масел приводит к загрязнению почвы и воды, а также к потере ценных ресурсов. В связи с этим, разработка и внедрение эффективных технологий вторичной переработки отработанных масел является крайне важной задачей.

Современные установки для переработки отработанных масел представляют собой комплексные системы, включающие несколько этапов, направленных на извлечение ценных базовых масел и их очистку [1]. Принципиальная схема процесса представлена на рис. 2.



Рисунок 2 - Общая схема установки для переработки отработанных масел

Отработанное смазочное масло класса SN150 (легкое базовое масло) и класса SN500 (тяжелое базовое масло) на установке дистилляции + испарителя со стираемой пленкой. Процесс переработки отработанного масла состоит из следующих этапов:

Предварительная обработка (деметаллизация/удаление золы);

Разделение легких фракций путем дистилляции;

Разделение масляных фракций методом тонкопленочного испарения;

Финишная стадия с возможностью обработки растворителем/гидроочисткой.

1. Разделение легких фракций башней Cloumn: обезвоженное и отфильтрованное отработанное смазочное масло из хранилища перекачивается насосом подачи (P-101A/B) через фильтры (ST-101 A/B) в ректификационную колонну (C-101). Фильтры предусмотрены в качестве дополнительного шага для удаления любых твердых частиц из сырья. Ректификационная колонна (C-101) работает под вакуумом и используется для отделения легкой фракции от отработанного смазочного масла. В ректификационной колонне дизельное топливо (и вода) получается в качестве верхнего продукта, который конденсируется и собирается в приемниках под действием силы тяжести. Нижний продукт из D-101 подается в систему испарения тонкой пленки для дальнейшего разделения через насос подачи WFE-I. Охлаждающая вода используется в конденсаторе для конденсации верхних паров из колонны, а горячее масло (термическая жидкость) используется в оболочке ребойлера в качестве теплоносителя.

2. Разделение масляных фракций путем испарения тонкой пленки:

Система испарения тонкой пленки состоит из двух тонкопленочных испарителей, W-101 и W-102, для извлечения базового масла сортов SN-150 и SN-500 соответственно. Тонкопленочный испаритель состоит из вертикальной цилиндрической поверхности, заключенной в нагревательную рубашку с внутренним ротором.

Ротор распределяет питание в виде тонкопленочного слоя на нагретой стенке с помощью лезвия стеклоочистителя. Внутренний конденсатор предназначен для конденсации паров, образующихся на горячей поверхности. W-101 работает при вакууме 1–2 Торр и температуре нагрева 280° С с помощью термической жидкости в рубашке. Сырье, свободное от дизельного топлива, из нижней части колонны подается в WFE-1 (W-101), где SN-150 получается как продукт и собирается в приемниках продукта, а остаток — в приемниках остатка под действием силы тяжести. SN-150 перекачивается в главный резервуар для хранения с помощью насоса. Остаток из W-101 перекачивается и подается в WFE-2 (W-102) с помощью роторно-шестеренчатого насоса. В W-102 SN-500 получается как продукт и собирается в резервуаре приемника продукта, а остаток — в резервуаре сбора остатка под действием силы тяжести. W-102 работает при вакууме 0,1 Торр и температуре нагрева 310 °С с помощью термической жидкости в рубашке.

3. Финишная стадия с возможностью обработки растворителем/гидроочисткой. На этой стадии происходит последний процесс

фильтрации, который осуществляется с помощью смеси растворителей, улучшающих цвет и запах базового масла. Предоставляемый нами растворитель повторно используется в течение 300 циклов. В результате он обходится намного дешевле обычного растворителя, доступного на рынке. Мы используем специальное оборудование для процесса фильтрации, которое идет вместе с процессом регенерации. Если клиент ищет базовое масло группы 2+ высочайшего западного качества, мы можем выбрать процесс гидроочистки.

Предварительная обработка. На первом этапе отработанные масла подвергаются предварительной очистке от воды и механических примесей. Этот этап включает в себя обезвоживание - удаление свободной и эмульгированной воды (рис. 3).

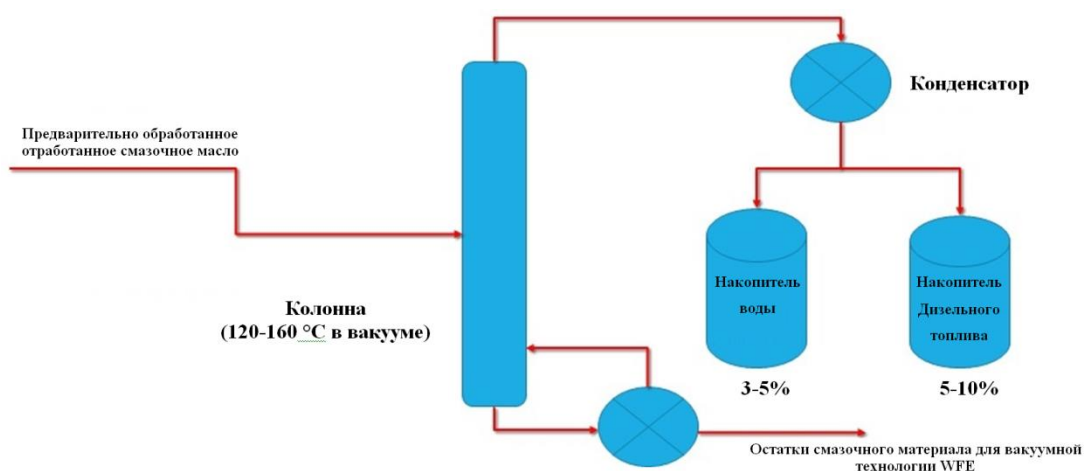


Рисунок 3 - Схема процесса удаления свободной и эмульгированной воды

Фильтрация: удаление твердых частиц и примесей с помощью фильтров различной степени очистки.

Предварительная очистка необходима для обеспечения эффективной работы последующих этапов и защиты оборудования от коррозии и износа.

Вакуумная дистилляция. Основным этапом переработки является вакуумная дистилляция, которая позволяет разделить отработанное масло на различные фракции в зависимости от температуры кипения. Этот процесс проводится при пониженном давлении (вакууме), что позволяет снизить температуру кипения и предотвращает термодеструкцию углеводородов. Фракционирование позволяет получить базовые масла различной вязкости, пригодные для дальнейшего использования. Вакуумная дистилляция является ключевым этапом, определяющим качество конечного продукта (рис. 4).

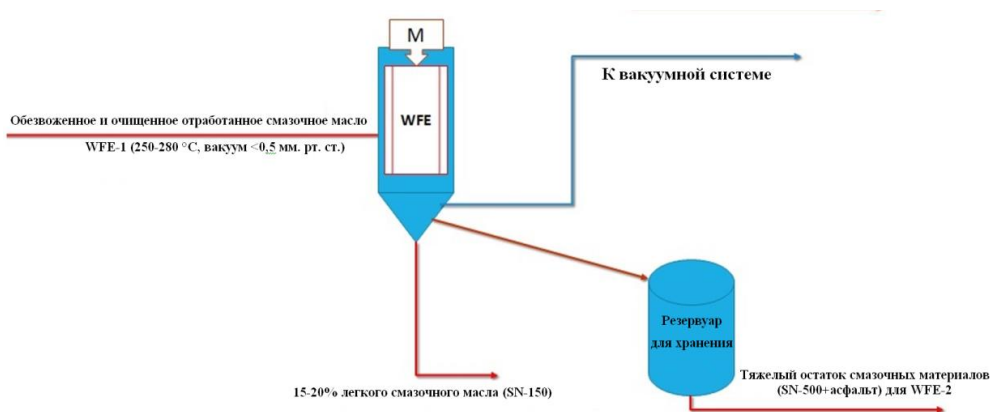


Рисунок 4 - Схема процесса вакуумной дистилляции отработанного масла

Постобработка - полученные базовые масла подвергаются дополнительной очистке для улучшения их качества и стабильности. На этом этапе могут использоваться следующие процессы:

Гидроочистка (опционально) - удаление сернистых соединений, азотистых соединений и других примесей путем обработки водородом в присутствии катализаторов. Гидроочистка повышает стабильность базовых масел и улучшает их цвет.

Адсорбционная очистка, позволяющая удалить остаточные примеси и улучшить цвет базового масла (рис. 5).

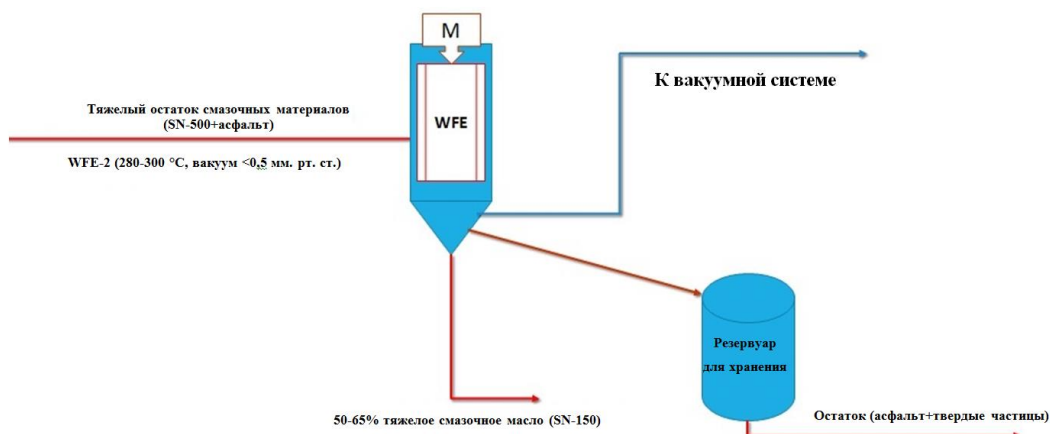


Рисунок 5 - Схема процесса адсорбционной очистки отработанного масла

Опциональный характер этих процессов позволяет гибко настраивать технологическую схему под конкретные требования к качеству конечного продукта.

Хранение и транспортировка - после постобработки очищенные базовые масла хранятся в специальных резервуарах и транспортируются с помощью насосных систем.

После постобработки очищенные базовые масла хранятся в специальных резервуарах и транспортируются с помощью насосных систем. На рис. 6 представлены резервуары для хранения базовых масел.

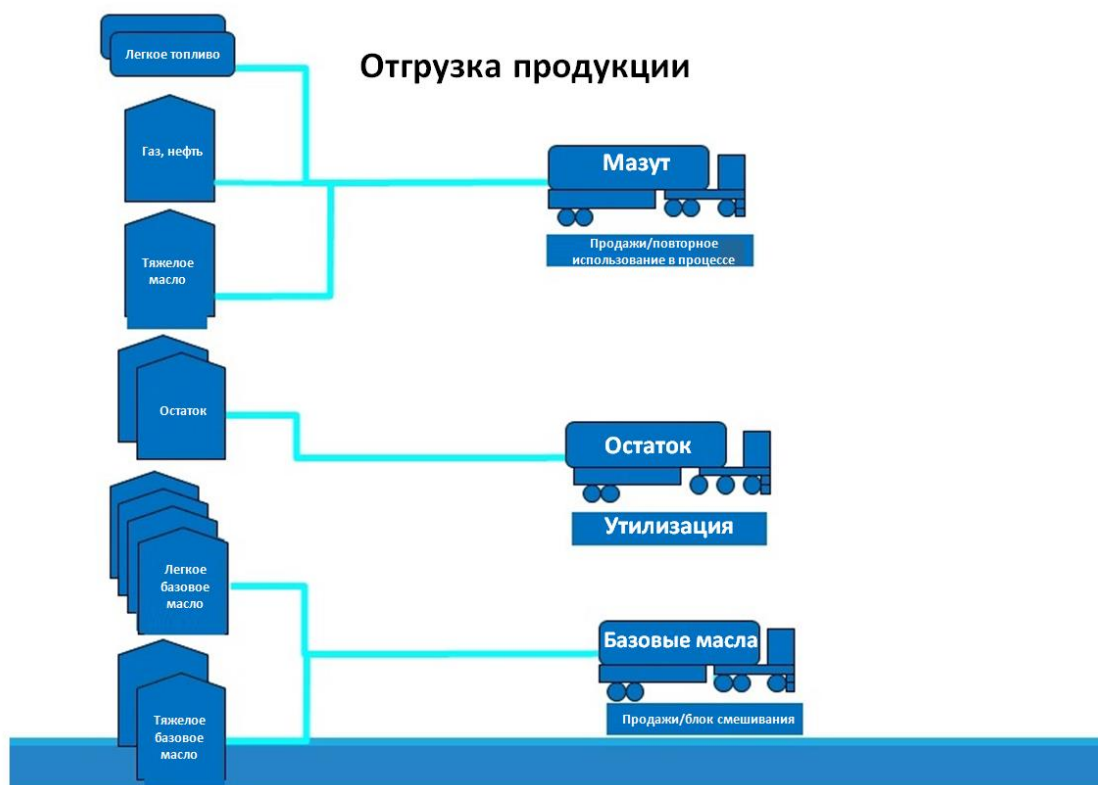


Рисунок 6 - Схема процесса отгрузки продукции

Управление и автоматизация - современные установки для переработки отработанных масел оснащены системами управления и автоматизации, обеспечивающими эффективную и безопасную работу. Программируемые логические контроллеры (ПЛК) и системы мониторинга позволяют контролировать все параметры процесса, минимизировать человеческий фактор и повысить надежность работы установки.

Рассмотрим преимущества технологий переработки отработанных масел.

Использование технологий вторичной переработки отработанных масел имеет ряд существенных преимуществ:

1. Экологическая безопасность: Сокращение объемов отходов, загрязняющих окружающую среду, и предотвращение попадания вредных веществ в почву и воду.
2. Экономическая эффективность: Извлечение ценных базовых масел, которые могут быть использованы для производства новых смазочных материалов, топлива и других нефтепродуктов.
3. Ресурсосбережение - снижение потребности в добыче и переработке первичной нефти.
4. Сокращение зависимости от первичных ресурсов - уменьшение зависимости от импорта нефти и нефтяных продуктов.
5. Соответствие принципам устойчивого развития - способствование переходу к циркулярной экономике.

Инвестирование в оборудование для переработки отработанных масел требует понимания ключевых характеристик, определяющих его эффективность и надежность.

Ключевые особенности оборудования включают:

- высокий коэффициент извлечения базовых масел - максимальное извлечение ценных ресурсов из отходов.
- низкое энергопотребление - энергоэффективная конструкция, снижающая эксплуатационные расходы.
- надежная и простая в эксплуатации конструкция - обеспечение длительного срока службы и простоты обслуживания.
- индивидуальная настройка - возможность адаптации оборудования под конкретные требования и объемы переработки.
- системы автоматического управления - обеспечение стабильной и безопасной работы установки.

Технологии переработки отработанных масел могут быть использованы для переработки различных видов отработанных масел, включая:

- отработанное моторное масло
- отработанное гидравлическое масло
- отработанное трансмиссионное масло
- другие смазочные масла

Закключение. Таким образом, технологии вторичной переработки отработанных масел представляют собой перспективное направление в нефтепереработке, сочетающее экологическую безопасность и экономическую целесообразность. Внедрение современных установок, включающих предварительную обработку, вакуумную дистилляцию, постобработку и автоматизированное управление, позволяет эффективно извлекать ценные базовые масла, снижать негативное воздействие на окружающую среду и способствовать устойчивому развитию. Дальнейшее развитие технологий и совершенствование оборудования позволит повысить эффективность и экономическую привлекательность вторичной переработки отработанных масел.

Список литературы

1. Arslan Enginery. (n.d.). Waste Used Oil Recycling Plant. Retrieved from https://arslanenginery.com/waste-used-oil-recycling-plant/

Терентьев И.С., Петухова Е.В. ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИЗВЛЕЧЕНИИ ОТХОДОВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФЛОТАЦИИ

Терентьев Иван Сергеевич, Петухова Евгения Валерьевна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева"; кафедра Логистики и экономической информатики, 125047, г. Москва, Миусская площадь, д. 9

Аннотация: Предложенное программное обеспечение использует различные параметры, которыми обладает система, где возможно применение

очистного сооружения. Предлагаемая система позволяет применять изменения параметров отдельных элементов электрофлотационной установки с возможностью прогнозирования эффективности данных изменений. Основываясь на расчетах эколого-экономического ущерба, затрат на содержание и работу установки, зарплаты сотрудников, программное приложение позволяет рассчитывать экономическую целесообразность применения электрофлотационной установки.

Ключевые слова: очистные сооружения, электрофлотация, программное обеспечение, эколого-экономический ущерб.

Значимую угрозу экологическому состоянию окружающей среде представляет промышленное загрязнение сточных вод. Это связано с проблемами утилизации сточных вод, причиной которым становятся промышленные предприятия. Одним из методов решения сложившейся ситуации является внедрение в промышленные предприятия различных инноваций, в частности цифровых технологий, интенсифицирующих подходы к очистке промышленных стоков. Цель работы: выбор и обоснование выбора цифровых технологий извлечения отходов электрофлотационным способом, разработка программного обеспечения для оценки эффективности электрофлотационной установки.

Электрофлотация является одним из современных методов очистки промышленных сточных вод. Он уже зарекомендовал себя [1,2,3] как эффективная и перспективная технология, которая позволяет получить высокие результаты при очистке большинства низкоконцентрированных загрязнений. В работе рассмотрена схема очистных сооружений электрофлотационного процесса по извлечению цветных металлов из промышленных стоков.

На основании теоретических данных было разработано программное обеспечение для вычисления эффективности использования очистной установки.

При разработке программы были учтены следующие обязательные требования:

1. Программа должна быть легко осваиваемой для человека не знакомого с языками программирования.
2. Программа должна иметь возможность для модернизации и внесения изменений в структуру и логику ее работы.
3. Программа должна позволять моделировать работу электрофлотационной установки.
4. Программа должна запускаться без наличия дополнительного ПО на большинстве персональных компьютеров.
5. Программа должна универсально подходить вне зависимости от единиц измерения и объемов.

В качестве языка программирования использовать объектно-ориентированный язык программирования. Как наиболее удобный вариант был выбран C++ (читается си-плюс-плюс) — компилируемый, статически типизированный язык программирования общего назначения.

Поддерживает такие парадигмы программирования, как процедурное программирование, объектно-ориентированное программирование, обобщённое программирование. Язык имеет богатую стандартную библиотеку, которая включает в себя распространённые контейнеры и алгоритмы, ввод-вывод, регулярные выражения, поддержку многопоточности и другие возможности.

Поскольку одним из требований являлось относительная простота в использовании, одним из факторов необходимых для реализации стало наличие виртуального интерфейса. Также требование к простоте запуска на разных платформах тоже накладывает определенные ограничения на IDE. Исходя из этого средой разработки был выбран Qt Creator версии 13.0.0 [4]. Основная задача Qt Creator — упростить разработку приложения с помощью Фреймворка Qt на разных платформах. Поэтому среди возможностей, присущих любой среде разработки, есть и специфичные, такие как отладка приложений на QML и отображение в отладчике данных из контейнеров Qt, встроенный дизайнер интерфейсов: как на QML, так и на QtWidgets.

Основными параметрами для вычислений являются:

1. Масса раствора, который требуется к очистке;
2. Масса растворенного в нем загрязнителя;
3. Эффективность электрофлотационной установки;
4. Цена одной единицы содержащегося вещества;
5. Платежи за сброс загрязнителя, коэффициент важности водного объекта;
6. Стоимость работы каждого блока очистной установки, так как, требуется заложение финансирования амортизационных отчислений;
7. Стоимость работы персонала, необходимого для функционирования системы.

За основу логики программы используются необходимые параметры системы и блоков, а также вычисление производимые с ними. Основная логика

При получении всех необходимых данных, происходит присвоение их переменным для обработки и вычисления. Далее происходит расчет количества вещества, которое извлечено на электрофлотационной установке. Вещество, которое было очищено, конвертируется в возможную прибыль, за счет его продажи. Оставшийся раствор содержащий остаточное количество загрязнителя направляется на блок слива, и соответственно рассчитывается эколого-экономический ущерб. Далее к затратам прибавляются: зарплата сотрудника, цена содержания всех блоков установки. По окончании расчетов программа вычисляет отдельно расходы за сброс раствора.

Итогом работы становится сопоставление полученных результатов и их вывод.

Оценка экономических ущербов позволяет сделать вывод, что использование очистных сооружений с применением электрофлотации значительно уменьшает ущерб по сравнению с ущербом, наносимым без очистки сточных вод.

Для использования программы требуются: наличие персонального компьютера на базе операционной системы, поддерживающей работу с

исполнительными файлами формата EXE; наличие архиватора; наличие требуемых данных, описанных выше.

Показано, что в случае, если требуется первичная цифровизация производства, технологично-цифровая база которого является устаревшей, что наиболее частая ситуация для производств в России, то наиболее эффективным методом для начала цифровизации является комбинация digital twins и методов работы с big data. Данный подход позволит сделать первичный анализ производства и подобрать дальнейшие методы цифровизации, для повышения эффективности.

Заключение. Таким образом разработанное программное позволяет использовать различные параметры электрофлотационного метода очистки для прогнозирования и экономической целесообразности применения электрофлотационной установки в извлечении ценных веществ из промышленных сточных вод.

Список литературы

1. Воробьева О.И. Электрофлотационный процесс извлечения ПАВ из жидких техногенных отходов / О.И. Воробьева, А.В. Колесников, Г.М. Бондарева // Тезисы докладов Всероссийская конференция «Актуальные научно-технические проблемы химической безопасности», Москва, 18-19 мая, 2011. – М. 2011. - С. 88

2. Колесников А.В. Влияние поверхностно-активных веществ на электрофлотационное извлечение труднорастворимых соединений меди, никеля, цинка в процессах очистки сточных вод: дис. канд. техн.наук / А.В. Колесников. – М., 2012. – 175 с.

3. Электрофлотационная технология очистки сточных вод промышленных предприятий / В.А. Колесников, В.И. Ильин, Ю.И. Капустин и др.: под ред. В.А. Колесникова. – М.: Химия, 2007. – 304 с.

4. Index of /official_releases/qtcreator/13.0/13.0.0 <https://download.qt.io>

Зверев М.С., Некрасова И.Ю., Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б. ЦЕМЕНТНЫЕ КОМПОЗИТЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ МИНЕРАЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ НА ОСНОВЕ ЗОЛЫ-УНОСА ОТ СЖИГАНИЯ БУРЫХ УГЛЕЙ

Зверев М.С.¹, Некрасова И.Ю.², Новиченкова Т.Б.²

¹МАДИ, кафедра ДСМ, Ленинградский проспект, 64 Москва, 125319

²ТвГТУ, кафедра ПСК, набережная Никитина, д.22, Тверь, 170026

Научный руководитель – Петропавловская В.Б.

Аннотация. В работе представлены результаты исследований опытным путем влияния добавок золы-уноса в различных пропорциях в состав портландцементной смеси с добавкой одинакового количества микрокремнезема

на прочность к коррозии после пропаривания образцов с целью выявления оптимальной прочности полученных составов для возможности дальнейшего их использования в производстве бортового камня.

Ключевые слова: устойчивый композит, портландцемент, модификатор, зола-уноса, микрокремнезем.

Появление высокотехнологичных бетонов позволило внедрять их в технологии изделий, которые должны обладать увеличенными эксплуатационными характеристиками. Например, одним из таких является бортовой камень – элемент, защищающий покрытие дороги от проникновения влаги и дальнейшего влияния воды, также в замороженном состоянии.

Строительная отрасль является одной из отраслей, деятельность которой выделяет диоксид углерода. К примеру, выбросы при производстве цемента находятся в пределах 5-7 % [1-5]. В связи с этим всё больше внимания ученых уделяется проблеме накопления и утилизации отходов [].

Например, предприятия энергетики при сжигании угля вырабатывают электроэнергию, после чего образуется большое количество побочного продукта – золошлаковых отходов (ЗШО) [6].

Насчитывается более 10 млн т в год [6-9] или около 1,5 млрд т суммарно отложений [6,10], что пагубно влияет на окружающую среду. Летучие частицы дисперсного размера витают в воздухе и загрязняют его. Тем не менее, ЗШО присвоен 5 класс опасности, что позволяет совмещать и создавать различные композиции с вяжущим веществом [11].

Существует множество исследований на их внедрение в строительные композиты [8,12-19]. Так, авторы [1, 20,21] провели исследование по замещению части цемента отходами золы [1] и золошлаковых смесей [20,21]. Введение наполнителя позволяет регулировать реологические характеристики смесей. Доля отхода в смеси может достигать до 80-90 %, при этом прочность образцов может находиться на уровне бездобавочного состава.

Однако необходимо учитывать, что все ЗШО имеют разный состав и свойства. Так, в процессе сжигания угля образуется несколько типов ЗШО [22]:

- 1) зола-уноса, являющаяся тонкодисперсным компонентом (3,5—100 мкм);
- 2) шлак (сплавленные агрегаты крупностью 0,3—30 мм);
- 3) золошлаковые отходы (механическая смесь шлака и золы).

Это отражается на области применения того или иного отхода и способах его утилизации. Представляют большой интерес безотходные технологии производства, позволяющие использовать весь объем отходов и получать при этом эффективные изделия с использованием дешевых техногенных компонентов [19].

В целом, создание строительных материалов на базе золошлаков даёт возможность сократить расходы природного сырья, уменьшить трудозатраты, увеличить показатели морозостойкости и теплоэффективности получаемых изделий [11].

В данной работе рассматривалось влияние золы-уноса на свойства модифицированного портландцемента.

В исследованиях применялось цементное вяжущее типа ЦЕМ II класса 42,5Н (ООО «Цементум Волга», Саратовская область, г. Вольск). В качестве модификаторов использовалась фракционированная зола-уноса (г. Шарыпово, Красноярский край) и микрокремнезем – попутный продукт ферросплавного производства. Содержание добавки микрокремнезема было принято постоянным – 20 %.

Исследования проводились на цементном тесте нормальной густоты и растворах нормальной консистенции в соответствии с требованиями ГОСТ. Предел прочности образцов-кубов находили по результатам испытаний на гидравлическом прессе и установленных значений разрушающей нагрузки (см. рисунок 1).

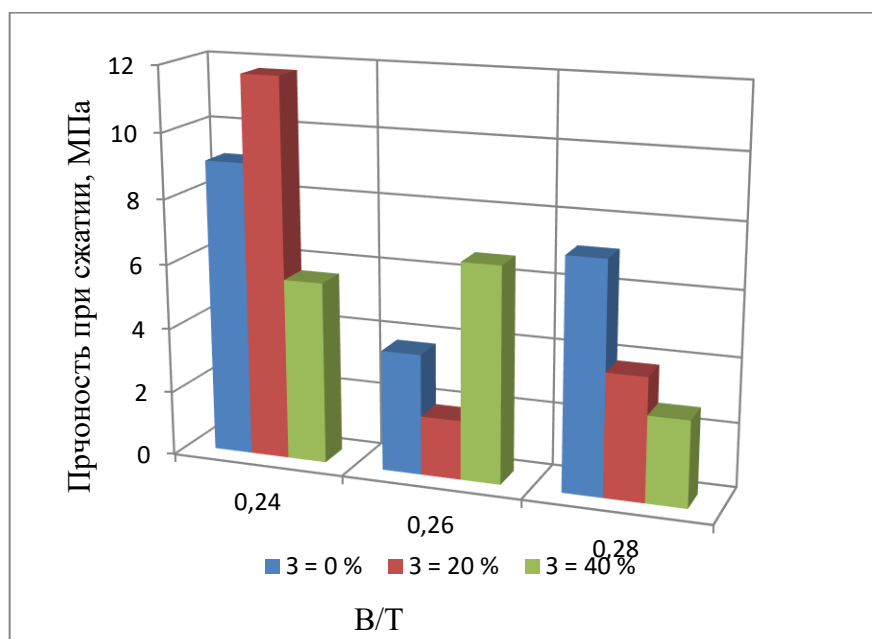


Рисунок 1 - Влияние водотвердого отношения и содержания золы-уноса на прочность модифицированного цементного камня

Испытания физико-механических свойств затвердевшей смеси проводились в лабораториях Тверского государственного технического университета с использованием поверенных средств измерений.

Список литературы

1. Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б., Петропавловский К.С., Зверев М.С., Цыбина Р.З. Роль добавки микрокремнезема в коррозионно-стойких цементных композитах. Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Строительство. Электротехника и химические технологии. 2024. № 4 (24). С. 24-30.

2. Махмудов А.М., Трофимов Б.Я., Гафоров Ф.А. Влияние количества и дисперсности золы на формирование структуры и свойства цементного камня. Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2021. Т. 21, № 4. С. 40–47. DOI: 10.14529/build210405

3. H. Du and S. D. Pang, "Value-added utilization of marine clay as cement replacement for sustainable concrete production," *Journal of Cleaner Production*, vol. 198, pp. 867–873, 2018.
4. Z. He, X. Zhu, J. Wang, M. Mu, and Y. Wang, "Comparison of CO₂ emissions from OPC and recycled cement production," *Construction and Building Materials*, vol. 211, pp. 965–973, 2019.
5. Shihwen Hsu. Effect of fineness and replacement ratio of ground fly ash on properties of blended cement mortar / Shihwen Hsu, Maochieh Chi, Ran Huang // *Construction and Building Materials*. – 2018. – Vol. 10. – P. 250–258.
6. Vafaeva, KH.; Shinkareva, M. Overview of the world experience in using fly ash as a secondary resource and features of its application in the Russian Federation; 2023; *AlfaBuild*; 26 Article No 2604.
7. Черкасова Т.Г., Пилин М.О., Тихомирова А.В., Баранцев Д.А. Определение состава отходов углеперерабатывающего предприятия ПАО ЦОФ Березовская // *Уголь*. 2023. № 9. С. 90-95.
8. Черкасова Т.Г., Пилин М.О., Баранцев Д.А., Тихомирова А.В. Некоторые физико-химические характеристики отходов углеобогатительного предприятия ПАО ЦОФ «Березовская» // *Уголь*. 2023. № 6. С. 80-84.
9. Болховитина, С.В. Переработка золошлаковых отходов: проблемы и пути их решения // VIII международная научно-практическая конференция «Современные тенденции и инновации в науке и производстве». 2019. С. 107.1-107.3.
10. Капинос, Л.Ю. Золошлаковые отходы как источник загрязнения окружающей среды // Проблемы геологии и освоения недр. Труды XXVII Международного молодежного научного симпозиума имени академика М.А. Усова... 2023. С. 225-226.
11. Астафьева, О.Е. Применение золошлаковых отходов в промышленности строительных материалов // *Уголь*. 2024. № 2. С. 85-88.
DOI: 10.18796/0041-5790-2024-2-85-88.
12. Экологическая целесообразность рециклинга золошлака в производстве стеновых материалов и оптимизация керамических масс по техническим показателям / Е.Г. Сафронов, С.М. Силинская, Н.Ю. Нарыжная и др. // *Уголь*. 2021. № 6. С. 44-49. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-6-44-49.
13. Худякова Л.И., Залуцкий А.В., Палеев П.Л. Использование золошлаковых отходов тепловых электростанций. XXI век. Техносферная безопасность. 2019;4(3):375–391. DOI: 10.21285/2500-1582-2019-3-375-391.
14. К.Р. Истомина, А.М. Бургунутдинов, К.А. Хусаинова. ВОЗМОЖНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛЫ УНОСА. ТРАНСПОРТ. ТРАНСПОРТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ. ЭКОЛОГИЯ. 2022. № 1. С. 36-44. DOI 10.15593/24111678/2022.01.05
15. Кайракбаев А.К., Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. Влияние золы легкой фракции на пористость, морозостойкость и водопоглощение фасадных плиток // *Уголь*. 2020. № 12. С. 44-48. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-12-44-48.

16. Анпилов С.М., Абдрахимов В.З. Использование золы легкой фракции и межсланцевой глины в производстве сейсмостойкого кирпича // Уголь. 2021. № 4. С. 57-62. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-4-57-62.
17. Кайракбаев А.К., Абдрахимова Е.С., Абдрахимов В.З. Использование золы легкой фракции в производстве кислотоупорной плитки // Уголь. 2020. № 11. С. 43-47. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-11-43-47.
18. Абдрахимова Е.С. Использование отходов углеобогащения и межсланцевой глины в производстве керамического кирпича // Уголь. 2021. № 7. С. 52-55. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-7-52-55.
19. Абдрахимов В.З., Ильина Т.А. Использование золошлакового материала в производстве пористого заполнителя способствует развитию «зеленой» экономики и транспортно-логической инфраструктуры. «УГОЛЬ. НОЯБРЬ, 2019. С. 59-63 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-11-59-63>
20. Шаронова, О.М. Влияние химических добавок на свойства композитных материалов на основе тонкодисперсной высококальциевой летучей золы / О.М. Шаронова, В.М. Кирилец, Л.А. Соловьев, А.Г. Аншиц // Журн. Сиб. федер. ун-та. Химия, 2020. 13(3). С. 395-407. DOI: 10.17516/1998-2836-0192
21. Шаронова О.М., Юмашев В.В., Соловьев Л.А., Аншиц А.Г. Тонкодисперсная высококальциевая летучая зола как основа композитного цементирующего материала. DOI: 10.18720/MCE.91.6
22. Размахнин К. К., Хатькова А. Н., Шумилова Л. В., Номоконова Т. С. Технология переработки и обогащения золошлаковых отходов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2023. № 10. С. 122–135. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_10_0_122.
23. Чурашев В. Н., Маркова В. М. Остаться нельзя уйти: к вопросу о развитии угольной генерации в России// ЭКО. 2019. № 11. С. 63-93. DOI: 10.30680/ЕСО0131-7652-2019-11-63-93.

Мармаза П.А., Корнакова З.Э., Сероштан А.И., Бархударов К.В., Цыганков Д.К. СИНТЕЗ МАХ-ФАЗЫ НА ОСНОВЕ МАРГАНЦА ИЗ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ЛИТИЙ-ИОННОГО АККУМУЛЯТОРА
УДК 661.8, 621

*Мармаза Полина Александровна^{а,б}, Корнакова Злата Эдуардовна^{а,б},
Сероштан Алина Игоревна^{а,б}, Бархударов Кирилл Васильевич^а, Цыганков
Даниил Кириллович^а*

*^аФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Институт
наукоемких технологий и передовых
материалов, департамент химии и материалов, 690922, Приморский край, г.
Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10*

*^бФГАОУ ВО «Сахалинский государственный университет», 693008,
Сахалинская область, г. Южно-Сахалинск, пр-т Коммунистический, 33
Научный руководитель: Шичалин Олег Олегович, к.х.н.*

Аннотация. В работе представлены результаты разработки и применения модифицированной методики переработки литий-ионных аккумуляторов для извлечения марганца, который используется для синтеза МАХ-фазы Mn_3AlC . Предложенная схема переработки способствует экономике замкнутого цикла и снижению экологических рисков, связанных с утилизацией литий-ионных аккумуляторов.

Ключевые слова: литий-ионный аккумулятор, МАХ-фаза, вторичная переработка аккумуляторов, оксид марганца

SYNTHESIS OF MANGANESE-BASED MAX-PHASE FROM LITHIUM-ION BATTERY RECYCLING PRODUCTS

Marmaza Polina Alexandrovna^{a,b}, Kornakova Zlata Eduardovna^{a,b}, Serostan Alina Igorevna^{a,b}, Barkhudarov Kirill Vasilievich^a, Tsygankov Daniil Kirillovich^a, Shichalin Oleg Olegovich^{a,b}

^aFar Eastern Federal University, Institute of Science-intensive Technologies and Advanced Materials, Department of Chemistry and Materials, 690922, Primorsky Krai, Vladivostok, Russian Island, Ajax, 10

^bSakhalin State University, 693008, Sakhalinskaya Oblast, Yuzhno-Sakhalinsk, 33, Kommunistichesky Ave.

Scientific supervisor: Oleg Olegovich Shichalin, Candidate of Chemical Sciences.

Annotation. The paper the results of the development and application of a modified technique for the recycling of lithium-ion batteries for the extraction of manganese, which is used for the synthesis of MAX-phase Mn_3AlC . The proposed recycling scheme contributes to the closed-cycle economy and reduction of environmental risks associated with the disposal of lithium-ion batteries.

Keywords: lithium-ion battery, MAX phase, battery recycling, manganese oxide

Введение

С развитием электротранспорта и ростом популярности портативных электронных устройств потребность в литий-ионных аккумуляторах (ЛИА) значительно возросла. Эти аккумуляторы стали ключевым источником энергии для множества современных технологий, включая электромобили, такие как Nissan Leaf. Однако увеличение их производства и использования вызывает не только необходимость совершенствования производственных процессов, но и требует разработки методов экологически безопасной утилизации. Переработка отработанных аккумуляторов позволяет извлекать такие ценные компоненты, как литий, кобальт, никель и марганец. Особое внимание уделяется марганцу (Mn), который не только является важным элементом для аккумуляторной промышленности, но и служит основой для создания новых материалов, например, МАХ-фазы Mn_3AlC . Данный класс двумерных материалов обладает уникальными характеристиками, что вызывает растущий интерес со стороны научного сообщества. Таким образом, переработка литий-ионных аккумуляторов решает проблему обращения с отходами и открывает возможности для создания инновационных материалов.

Обзор литературы

В современном мире с переходом и развитием электромобилей существует спрос на литий-ионные аккумуляторы (ЛИА) [1]. Их популярность объясняется высокой удельной энергией, что позволяет им хранить больше энергии в компактных размерах, а также длительным сроком службы, который достигает нескольких тысяч циклов зарядки и разрядки. Кроме того, они демонстрируют высокую термическую стабильность, что делает их безопасными в использовании [2, 3]. Тем не менее с увеличением производства и потребления ЛИА возникает необходимость в их экологически безопасной переработке, что становится глобальной задачей. [4]. Наиболее распространенные катодные материалы включают оксиды переходных металлов лития, такие как LiCoO_2 (LCO), $\text{LiNi}_{1-x}\text{Co}_y\text{Mn}_z\text{O}_2$ (NCM) и LiMn_2O_4 [5, 6]. Эти материалы не только обеспечивают высокую энергоемкость, но и содержат редкие металлы, такие как кобальт, никель и марганец, которые имеют высокую рыночную стоимость и спрос. Эффективная переработка отработанных катодных материалов становится важной задачей, так как она позволяет извлекать необходимые металлы и повторно использовать их в производстве новых аккумуляторов [7]. Это не только снижает потребность в добыче необходимых ресурсов, что, в свою очередь, уменьшает негативное воздействие на окружающую среду, но и способствует экономике замкнутого цикла. Переработка аккумуляторов может значительно сократить затраты на сырье и снизить зависимость от нестабильных поставок, особенно кобальта, большая часть которого добывается в странах с высоким риском социальных и экологических проблем [8].

Материалы и методы

Идентификацию кристаллических фаз полученных образцов осуществляли с помощью рентгенофазового анализа (РФА). Регистрацию дифрактограмм осуществляли с помощью лабораторного рентгеновского дифрактометра D8 Discover (Bruker, Германия) в режиме ω - 2θ -сканирования. Элементный состав продуктов переработки ЛИА был изучен с помощью рентгенфлуоресцентного анализа на приборе EDX-800 HS Energy Dispersive X-ray Spectrometer (Shimadzu, Япония). Структуру исследуемых материалов оценивали с помощью растровой электронной микроскопии (РЭМ). Изображения поверхности образцов были получены с помощью сканирующего электронного микроскопа Ultra 55 (Carl Zeiss, Германия) с насадкой для энергодисперсионного микроанализа (ЭДС). Процесс переработки ЛИА был разработан в соответствии с модифицированной схемой, представленной в работе [9]. В качестве исходного материала использовали ЛИА от Nissan Leaf. В схему были внесены изменения для гидротермального выделения MnO_2 с целью достижения наиболее полного выхода марганца (рис. 1).

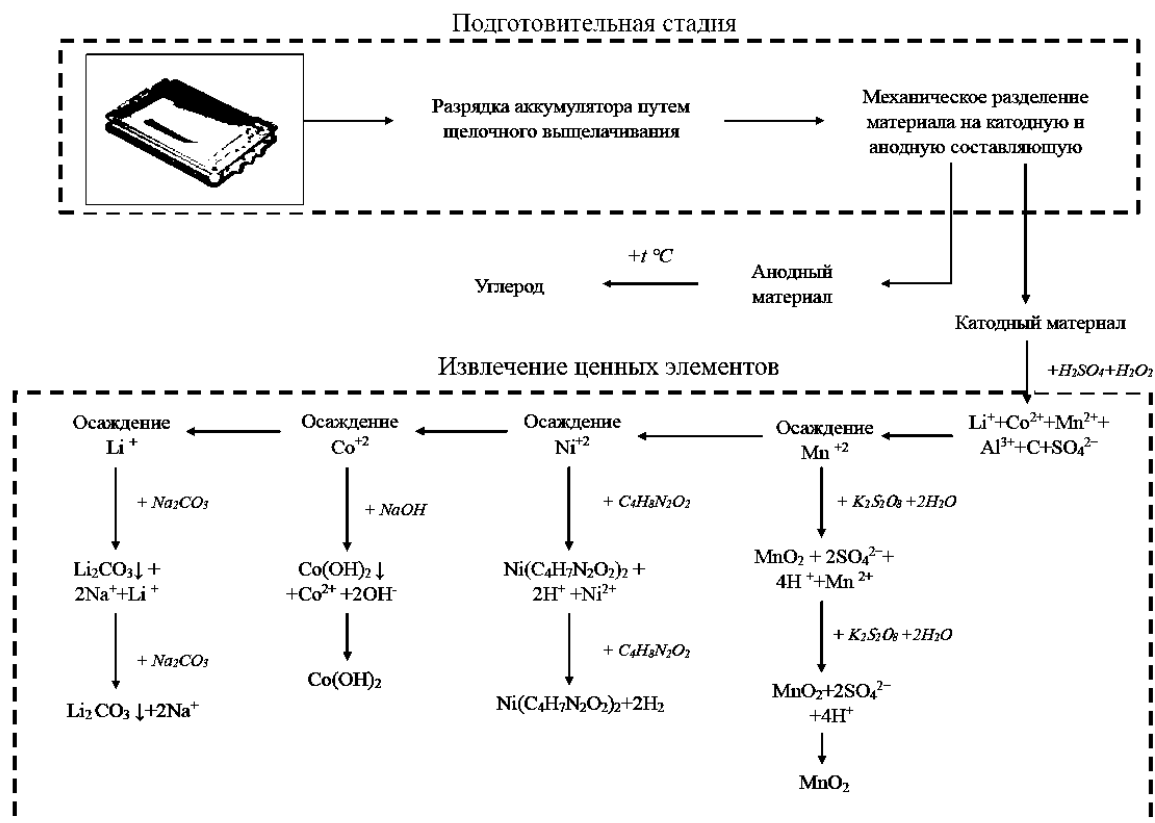
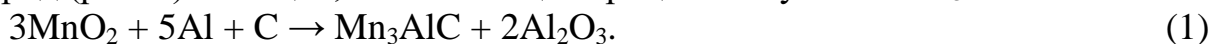


Рисунок 1 – Схема переработки ЛИА от Nissan Leaf

Методика синтеза Mn_3AlC

Синтез МАХ-фазы (Mn_3AlC) проводили в соответствии с доработанной методикой на основе исследования [10]. Исходными материалами для получения фазы Mn_3AlC являются диоксид марганца, выделенный из ЛИА, алюминий и углерод (рис. 1). Реакция, описывающая процесс получения Mn_3AlC :



Порошок оксида MnO_2 , алюминий и углерод смешивали в оптимальном количественном соотношении (3 : 5 : 8), перемалывали в планетарной мельнице. Затем материал подвергали термической обработке в трубчатой печи в атмосфере аргона с выдержкой 6 ч при температуре $1000^\circ C$. Далее МАХ-фазу подвергали процессу селективного травления для удаления алюминия. 1г МАХ-фазы помещали в 50 мл раствора (0.2 г $LiOH$ было растворено в 10 мл H_2O , к ним добавляли 40 мл 40%-ного HF). Травление смеси проводили в течение 2 сут.

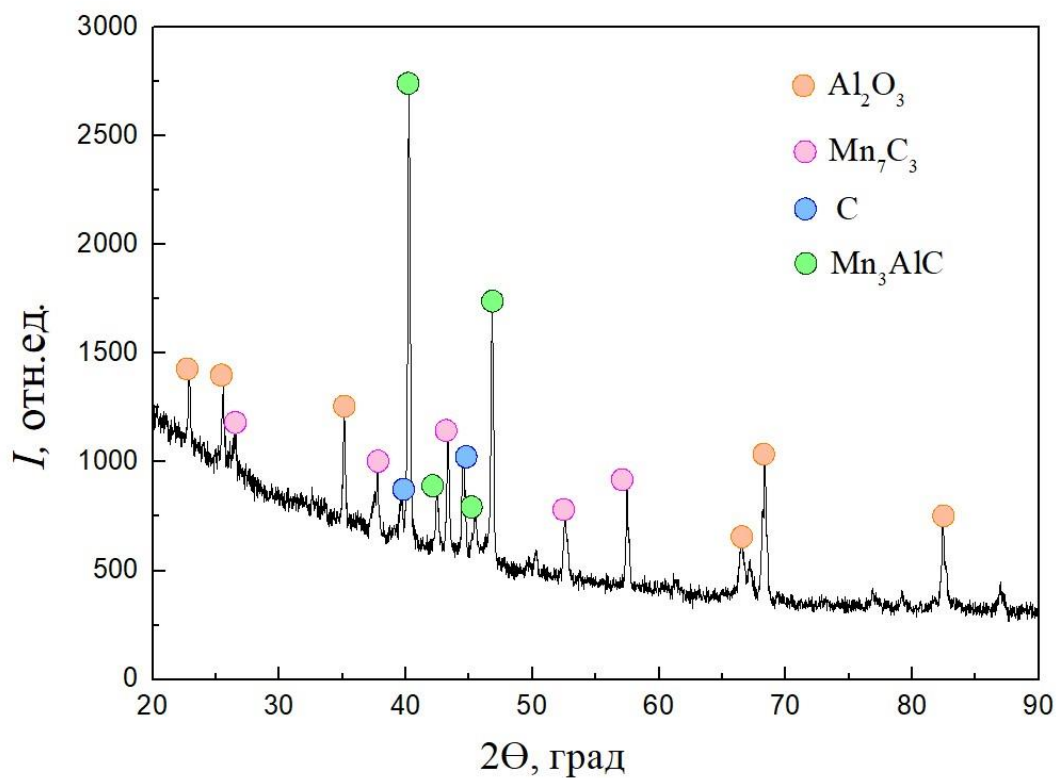


Рисунок 2 – РФА полученной МАХ-фазы Mn_3AlC .

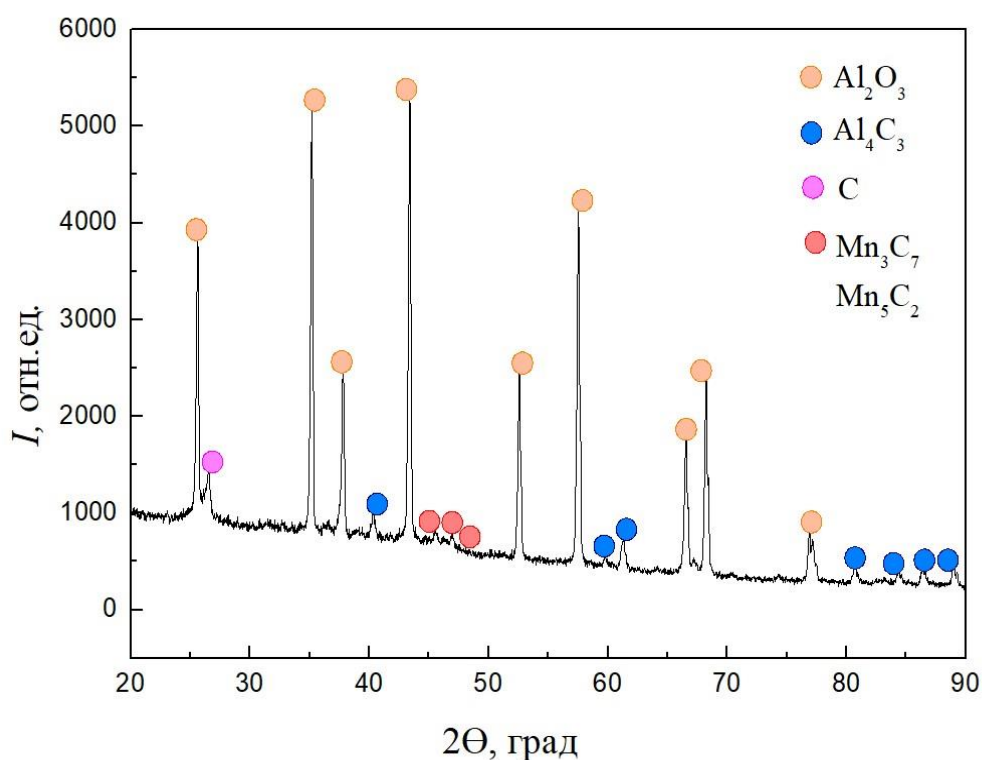


Рисунок 2 – РФА полученного МХена Mn_7C_3 и Mn_5C_2 .

Результаты

Спекание выделенного диоксида марганца с углеродом и алюминием в инертной среде аргона было проведено с оптимизированным соотношением

компонентов ($Mn : Al : C = 3 : 5 : 8$). Фазовый состав продукта спекания (рис. 2) представлен целевой МАХ-фазой Mn_3AlC (ICDD PDF #00-089-3200) и корундом Al_2O_3 (ICDD PDF #00-089-7717). Кроме этого, на дифрактограмме присутствуют характерные максимумы примесных фаз: остаточного исходного графита (ICDD PDF #00-065-6212) и небольшого количества карбида марганца Mn_7C_3 (ICDD #00-080-1699). Анализ элементного состава полученного образца Mn_3AlC методом ЭДС-картирования указывает на соответствие элементного состава предполагаемой фазовой композиции.

Для перевода МАХ-фазы в форму МХена был использован метод селективного травления с помощью HF. Фазовый состав материала после травления (рис. 3) представлен высокоинтенсивными дифракционными максимумами корунда Al_2O_3 (ICDD #01-075-0782). В области $2\theta = 26.34$ виден характерный дифракционный максимум непрореагировавшего графита (ICDD #00-041-1487). Дифракционный максимум слабой интенсивности в области $2\theta = 40.09$ относится к фазе карбида алюминия Al_4C_3 (ICDD #00-035-0799). Группа слабых рефлексов в области $2\theta = 43-48$ может быть отнесена к фазам карбидов марганца и соответствующих МХенов Mn_7C_3 и Mn_5C_2 (ICDD #01-080-1699 и ICDD #00-014-0176).

Заключение

В ходе выполнения работы был разработан и продемонстрирован метод комплексной переработки ЛИА с получением функциональных электрохимических материалов на основе марганца и выделением остальных ценных компонентов (лития и кобальта). Проведены начальные этапы разделения ценных компонентов ЛИА автомобиля Nissan Leaf. Разработанная модификация метода разделения позволяет выделять до 80% марганца в виде MnO_2 в ходе гидротермальной реакции. На основе выделенного MnO_2 термическим методом была синтезирована МАХ-фаза Mn_3AlC , представляющая интерес в контексте получения МХенов для электрохимических применений. Формирование целевой МАХ-структуры подтверждено данными рентгеновской дифракции.

Финансирование работы

Исследование выполнено в рамках реализации государственного задания Минобрнауки России в сфере научной деятельности по проектам № FFFF-2024-0001 “Синтез перспективных функциональных материалов и моделирование электрохимических устройств для водородной энергетики”.

Список литературы

1. Urea solvothermal regeneration of spent $LiNi_{0.5}Co_{0.2}Mn_{0.3}O_2$: Performance and environmental benefits / P. Zhao, Y. Li, X. Wang [et al.] // Separation and Purification Technology. – 2025. – Vol. 357. – Art. Num. 129988. – DOI 10.1016/j.seppur.2024.129988
2. Separation and recovery of valuable metals from spent lithium-ion batteries via concentrated sulfuric acid leaching and regeneration of $LiNi_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}O_2$ / X. Fan, C. Song, X. Lu [et al.] // Journal of Alloys and Compounds. – 2021. – V. 863. – Art. Num. 158775. – DOI 10.1016/j.jallcom.2021.158775

3. Progress, challenges, and prospects of spent lithium-ion batteries recycling: A review / P. Li, S. Luo, L. Zhang [et al.] // Journal of Energy Chemistry. – 2024. – V. 89. – pp. 144-171. – DOI 10.1016/j.jechem.2023.10.012

4. Current challenges and future opportunities toward recycling of spent lithium-ion batteries / R. Golmohammadzadeh, F. Faraji, B. Jong [et al.] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2022. – V. 159. – Art. Num. 112202. – DOI 10.1016/j.rser.2022.112202

5. Carbon neutrality strategies for sustainable batteries: from structure, recycling, and properties to applications / J. Lin, X. Zhang, E. Fan [et al.] // Energy & Environmental Science. – 2023. – V. – 16. – pp. 745-791. – DOI 10.1039/d2ee03257k

6. Al Impurity Upcycled High-Voltage Cathodes from Spent LiCoO₂ Batteries/ B. Zhang, S. Chen, L. Yang [et al.] // ACS Nano. – 2024. – V. 18. – pp. 23773-23784. – DOI 10.1021/acsnano.4c08968

7. Synthesis and Electrochemical Properties of Lithium-Ion Battery Cathode Materials Based on LiFePO₄-LiMn₂O₄ and LiFePO₄-LiNi_{0.82}Co_{0.18}O₂ Composites / A.E. Medvedeva, L.S. Pechen, E.V. Makhonina [et al.] // Russian Journal of Inorganic Chemistry. – 2019. – V. 64. – pp. 829-840. – DOI 10.1134/S003602361907012X

8. Toward Direct Regeneration of Spent Lithium-Ion Batteries: A Next-Generation Recycling Method / J.X. Wang, J. Ma, Z.F. Zhuang [et al.] // Chemical Reviews. – 2024. – V. 124. – P. 2839. – DOI 10.1021/acs.chemrev.3c00884

10. Recovery of valuable metals from mixed spent lithium-ion batteries by multi-step directional precipitation / X. Yang, Y. Zhang, Q. Meng [et al.] // RSC Advances. – 2021. – V. 11. – pp. 268-277. – DOI 10.1039/d0ra09297e

11. Fabrication of new Mn-based MXene structure from MnO₂ for electrochemical energy storage applications / M.S. Eraky, M. El-Sadek, A. Y. Shenouda [et al.] // Monatshefte für Chemie - Chemical Monthly. – 2024. – V. 155. – pp. 289-297. – DOI 10.1007/s00706-024-03173-9

Козлов П.Г. ВАРИАНТ БЕЗОПАСНОЙ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

Козлов Павел Геннадьевич

*Дальневосточный федеральный университет, Военный учебный центр, 690922,
Российская Федерация, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский,
п. Аякс, 10*

Научный руководитель: д.т.н. Федюк Роман Сергеевич

Аннотация: Рассматриваются вопросы утилизации золошлаковых отходов (ЗШО) теплоэнергетики – актуальной геоэкологической проблемы, требующей комплексного решения. Традиционные методы захоронения приводят к загрязнению почв, вод и атмосферы; альтернативой выступает использование ЗШО в качестве сырья для производства геополимерных строительных материалов. Геополимерные материалы, синтезируемые путем щелочной

активации алюмосиликатных соединений, демонстрируют высокую прочность, устойчивость к агрессивным средам и морозостойкость. Включение ЗШО в состав геополимерных матриц позволяет минимизировать экологическую нагрузку за счет снижения объемов отходов, потребления цемента и сокращения выбросов CO₂.

Ключевые слова: золошлаковые отходы, геополимер, геоэкология, утилизация

В последние годы вопросы переработки и утилизации отходов становятся всё более актуальными как с экономической, так и с экологической точки зрения. Одним из таких отходов являются золошлаковые продукты, образующиеся на угольных электростанциях. Глобальная экологическая проблема накопления золошлаковых отходов (ЗШО) тепловых электростанций и промышленных предприятий требует немедленного и комплексного решения. Существующий подход, основанный на простом складировании ЗШО на огромных шлаконакопителях, чреват катастрофическими последствиями для окружающей среды: загрязняется почва и вода тяжелыми металлами, образуются парниковые газы, разрушаются экосистемы. Поэтому разработка и внедрение инновационных технологий комплексной переработки ЗШО являются абсолютной необходимостью и представляют собой ключ к устойчивому развитию.

Эффективное решение заключается в создании циркулярной экономики для ЗШО, где отходы превращаются в ценный ресурс. Это возможно благодаря разработке и внедрению современных технологий извлечения из ЗШО различных компонентов, пригодных для производства широкого спектра материалов. Речь идет не только о строительных и дорожных материалах, но и о производстве керамики, стекла, геополимеров и других продуктов.

Внедрение безотходных технологий переработки ЗШО позволит решить несколько задач одновременно:

- обеспечить устойчивое развитие энергетики;
- создать новые производственные мощности;
- снизить экологическую нагрузку на окружающую среду;
- рекультивировать загрязненные территории.

Поскольку золошлаковые материалы имеют следующие полезные свойства: высокую прочность, низкую водопроницаемость и устойчивость к воздействию химических реагентов, они становятся привлекательными для применения в строительной и дорожной отраслях.

Алюмосиликат – это сложный минеральный продукт, содержащий оксиды алюминия и силикатов. Он используется в производстве керамики, стекла и других строительных материалов. Для определения его свойств проводились испытания на термостойкость, химическую стойкость и механическую прочность. Исследования показали, что алюмосиликат из золошлаковых отходов сохраняет высокую термостойкость и обладает отличной устойчивостью к воздействию агрессивных химических веществ. Это открывает возможности его

применения в условиях повышенных температур и воздействия коррозионных сред.

В работах [1, 2] изучен потенциал применения алюмосиликатного компонента, полученного в процессе обогащения золошлаковых отходов топливной отрасли, установлено, что комбинированное использование зольного алюмосиликатного компонента и гранулированного шлака позволяет создавать искусственный камень, который может затвердевать без необходимости добавления дополнительных компонентов.

Авторами [3] предлагается проведение комплексной утилизации ЗШО с извлечением ценных веществ и производством инновационных строительных материалов - геополимерного вяжущего, в основе которого лежит процесс активации алюмосиликатов, полученных из ЗШО растворами щелочей.

Возможность применения золошлаковых смесей в качестве частичной замены цемента при производстве строительных материалов, с целью снизить стоимость строительных материалов и улучшить их экологические характеристики за счет утилизации отходов производства рассматривается в работе [4].

Авторами работ [5 -7] рассматриваются физико-механические свойства золошлаковых материалов, определены направления возможного применения каждого из компонентов золошлаковой смеси, установлено что их использование не только способствует рациональному обращению с отходами, решать экологические проблемы, но и позволяет улучшить качество строительных материалов.

С учётом проведённых испытаний и анализа физических характеристик различными исследователями, золошлаковые материалы могут находить применение в различных сферах:

Строительство - применять в бетонах, служащих для создания фундаментов, несущих конструкций, асфальтовых и бетонных дорожных покрытий. Это может снизить затраты на строительство благодаря использованию отходов как замены традиционным материалам.

Дорожное строительство - использоваться для создания подстилающего слоя, что способствует повышению устойчивости дорожных конструкций к деформациям из-за нагруженности.

Экологические проекты - реабилитация загрязнённых территорий и озеленение, может существенно снизить негативное воздействие на окружающую среду. Золошлаковые компоненты также могут использоваться в качестве адсорбентов для очистки сточных вод.

Экономическая эффективность применения золошлаковых материалов - может не только сократить затраты на строительство, но и решить задачи утилизации отходов. Это позволит уменьшить количество захораниваемых золошлаков и снизить нагрузку на экологию. Важно отметить, что на сегодняшний день занятость в этой сфере может создать дополнительные рабочие места для специалистов по переработке и утилизации.

Заключение

Исследования по применению золошлаковых материалов, производимых на угольных электростанциях, показывают многообещающие результаты. Высокие физико-механические характеристики, низкое содержание органических примесей и широкий спектр возможного применения делают золошлаковые материалы конкурентоспособными на рынке строительных материалов. Эффективное их использование может заметно снизить затраты на строительство, а также помочь в решении экологических проблем, связанных с утилизацией отходов. Важно продолжать исследования в этой области для поиска новых подходов и методов, максимизирующих использование данных ресурсов.

Список литературы

1. Перспективы применения переработанных топливных золошлаковых отходов гидроудаления в сухих строительных смесях. Часть 2 / К. С. Петропавловский, Т. Б. Новиченкова, В. Б. Петропавловская, М. Аль-Свейти // Строительные материалы. – 2024. – № 11. – С. 25-30. – DOI 10.31659/0585-430X-2024-830-11-25-30. – EDN AWXKDP.
2. Применение алюмосиликатного компонента золошлаковых смесей в производстве геополимеров / Д. Д. Бабаев, В. Б. Петропавловская, К. С. Петропавловский, Т. Б. Новиченкова // Российский форум изыскателей : сборник докладов V Международной научно-практической конференции, Москва, 18–22 сентября 2023 года. – Москва: Издательский дом КДУ, Добросвет, 2023. – С. 7-10. – EDN LEVKZK.
3. Перспективные технологии переработки золошлаковых отходов в геополимеры / П. Г. Козлов, Р. С. Федюк, А. В. Таскин [и др.] // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2024. – № 3(93). – С. 19-29. – DOI 10.17277/voprosy.2024.03.pp.019-029. – EDN CJAZLE.
4. Хамидов, А. Применение золошлаковых смесей при производстве строительных материалов / А. Хамидов, А. А. Екубов, И. Умаров // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации : ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ III МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ, Новополоцк, 29–30 апреля 2021 года. – Новополоцк: Учреждение образования «Полоцкий государственный университет»=Установа адукацыі "Полацкі дзяржаўны ўніверсітэт", 2021. – С. 198-201. – EDN ZMPFWL.
5. Применение продуктов разделения золошлаковых смесей в дорожном строительстве / Р. С. Кацарский, Е. Ю. Гордеева, А. А. Лунев, И. А. Лазуткин // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство : Сборник материалов III Национальной научно-практической конференции, Омск, 23–24 апреля 2020 года. – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2020. – С. 486-492. – EDN GYSRTY.
6. Строительные материалы и минеральные вяжущие вещества на основе гидратированных золошлаковых отходов углесжигающих электростанций и отходов углеобогащения / А. В. Таскин, Т. Г. Черкасова, Р. С. Федюк [и др.] // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические

науки. – 2023. – Т. 14, № 4. – С. 201-206. – DOI 10.37614/2949-1215.2023.14.4.034. – EDN FHRNJI.

7. Матвеев, Е.А. Получение геополимерного (бесцементного) вяжущего на основе продуктов переработки ЗШО от угольных ТЭС / Е. А. Матвеев, Н. Д. Кулаков, А. В. Таскин // Молодые ученые - развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). – 2022. – № 1. – С. 211-213. – EDN HXNGKW.

Секция 13 - Инженерная техника

Вахтеров А.В. ИНЖЕНЕРНЫЙ ПОДВОДНЫЙ РАЗВЕДЧИК ИЗ СОБРАНИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ ТЕХНИКИ ВИМАИВиВС – РАЗРАБОТКА, ОПЕРЕДИВШАЯ ВРЕМЯ

Вахтеров Андрей Васильевич

преподаватель, Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение города Москвы

«Образовательный комплекс «Юго-Запад»,

ТСП «Ульяновское», 117292, Москва, ул. Дмитрия Ульянова, 35, с. 2

Аннотация. Конец 2024 года отметился экологической катастрофой – аварией и затоплением двух, нагруженных мазутом танкеров. Несмотря на все прилагаемые колоссальные усилия, устранение последствий процесс долгий. Особая сложность – затонувший на глубину 30-40 м – танкер. Для работы на нём нужны водолазы. Возможность работы, которых зависит от волнения на поверхности моря. Зима в акватории Азовского моря – время почти непрерывных штормов. Водолазам приходится ждать погоды. В тоже время, в экспозиции Военно-исторического музея артиллерии, инженерных войск и войск связи имеется уникальный образец машины, способной выполнять сложные инженерно-технические задачи под водой.

Ключевые слова: водолаз, изделие, инженерно-подводный разведчик, шлюзовая камера.

Конец 2024 года, броские заголовки: «Авария двух танкеров в акватории Азовского моря», «Экологическая катастрофа, угрожающая всему Азовскому морю и побережью...» и далее «Водолазы не могут приступить к работе из-за сильного волнения моря» - на последнем остановимся.

В экспозиции инженерной техники, размещенной во внутреннем дворе Военно-исторического музея артиллерии, инженерных войск и войск связи (далее – ВИМАИВиВС), есть образец из класса машин инженерной разведки, получивший наименование «Инженерный подводный разведчик» (см. ил. 1 [1]) или сокр. ИПР [Более подробно см. 2].

Класс машин инженерной разведки представлены двумя изделиями: инженерный подводный разведчик (далее – ИПР) и инженерная разведывательная машина (см. ил. 2), сокращённо – ИРМ. Оба изделия создавались на единой базе, функции выполняют схожие, но имеют ряд отличий. Главное отличие в том, что ИПР изначально предназначался для подводной разведки водных преград, если более точно – переправы танков под водой сходу.



Ил. 1. Инженерный подводный разведчик (экспозиция ВИМАИВиВС)

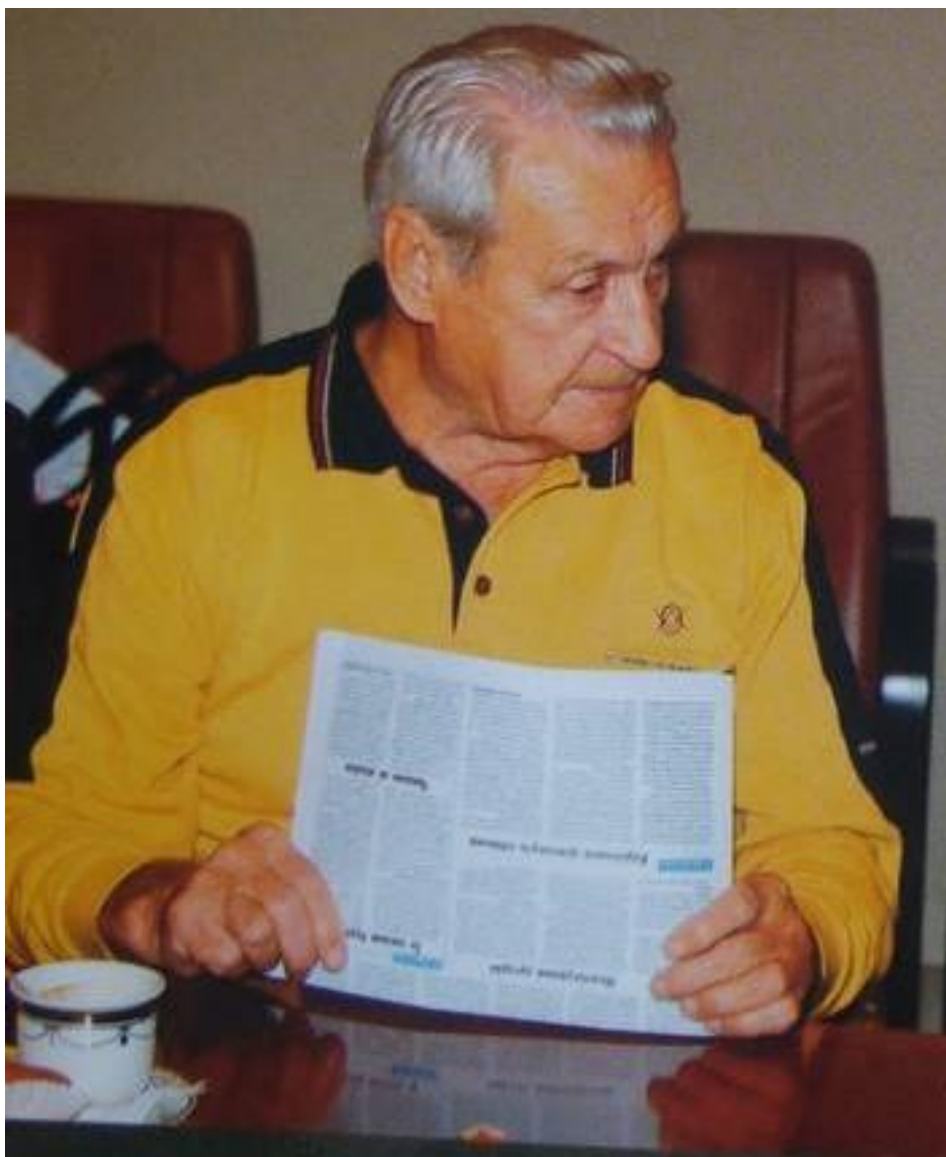


Ил. 2. Инженерная разведывательная машина

История создания

ИПР – первое изделие из класса машин инженерной разведки. Разработка изделия началась по прямому распоряжению начальника инженерного комитета инженерных войск Советской Армии (далее – ИВ и СА) генерала В.К. Харченко (в последствии маршал инженерных войск, начальник ИВ СА) [см. 3].

Проектирование изделия осуществлялось в 1957-1958 гг. в специальном конструкторском бюро Крюковского вагоностроительного завода под руководством Е. Ленциуса (ил. 3)



Ил. 3. Евгений Ленциус.

При разработке изделия использовался опыт, полученный при создании плавающего танка ПТ-76, БМП-1 и БМП-2.

Серийно выпускался на Муромском паровозостроительном заводе. Основным предназначением машины являлась подводная разведка препятствий в местах переправы танковых подразделений.

Как устроен ИПР

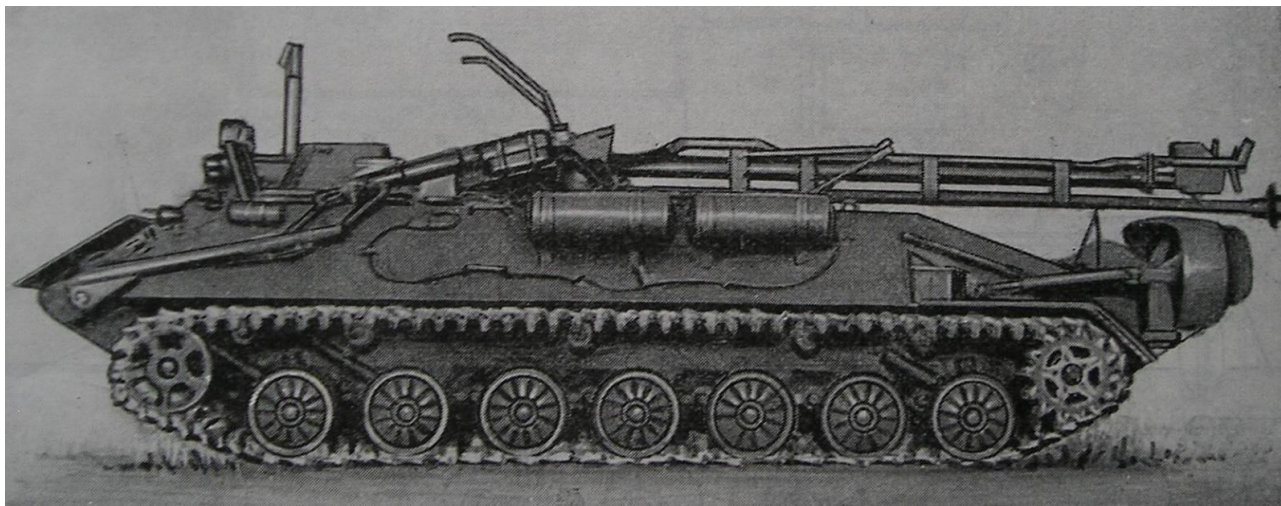
Броневого корпуса разделён герметичными переборками на четыре отсека:

- отделение управления;
- шлюзовая камера и отсек балластной цистерны – у ИПР, вместо которой у ИРМ – отсек для размещения отделения инженерной разведки;
- моторно-трансмиссионное отделение, в котором размещена силовая установка (двигатель УТД-20 (см. табл. 2), агрегаты силовой передачи и трансмиссии, заимствованные у БМП-1). Силовая установка и силовая передача смонтированы единым пакетом, позволяющем быстро производить демонтаж и замену всего пакета сразу.

Ходовая часть, разработанная на основе ходовой части БМП-2, имеет по восемь опорных катков (см. ил. 1) с каждого борта вместо шести у аналогов

(семейство БМП), т.к. корпус ИПР длиннее базового корпуса БМП почти на 2 метра – 8715 мм против 6735. Соответственно вес ИПР – 17,5 т, что больше на 1,5-3 т по сравнению с БМП-2 (14±2).

Для работы на глубинах 5-6 м на ИПР устанавливалось оборудование подводное танковое (далее – ОПВТ), для забора воздуха и отвода выхлопных газов. ОПВТ в походном положении располагается, как указано на ил. 4.

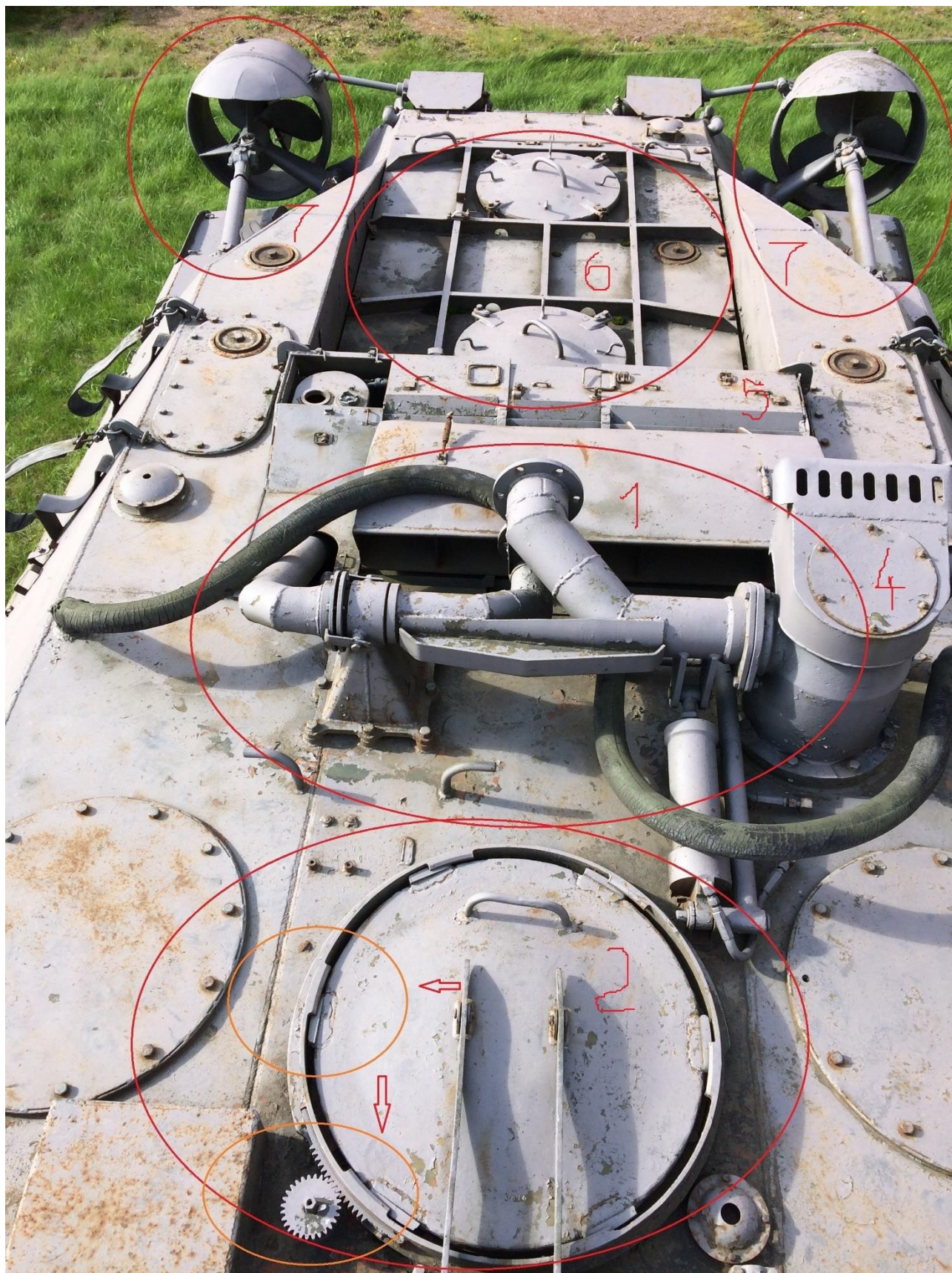


Ил. 4. ИПР с ОПВТ в походном положении.

ОПВТ крепится к узлу, отмеченному на ил. 5 (см. поз. 1). В боевом положении ОПВТ поднимается вертикально в верх.

Ближе к пулемётной башне расположен люк шлюзовой камеры (поз 2 на ил. 5), предназначенный для выхода водолаза из машины в подводном положении. Люк имеет характерное крепление и механизм запираения (обозначен красными стрелками поз. 2 ил. 5).

Кроме люка шлюзовой камеры, узла крепления ОПВТ, в верхней части машины закреплена съёмная броневая плита моторного отсека с двумя люками (поз. 6. ил. 5). По бокам кормовой части расположены 2 водоходных движителя, представляющие собой винты насадках (поз 7. ил. 5).



Ил. 5. Вид на корму ИПР.

Слева от башни на изделии имеется аварийный буй (поз 1 на ил. 6) для обозначения местонахождения в случае аварийной остановки (ил. 7) под водой (раскрашивался чередованием красных и белых полос).



Ил. 6. Вид с носа ИПР.

На носовой части машины имеется (см. ил. 6):

волноотбойный щиток, к которому крепится внешний датчик (поз. 2 ил. 6) эхолота;

на переднем броневом листе закреплён якорь (поз. 4 ил. 6) анкерного типа;

на верхнем листе находится выдвижной перископ (поз. 5 ил. 6), специально разработанный для этого класса машин (ил. 7);

по бокам носовой части крепятся выносные элементы («лапы») речного широкозахватного миноискателя РШМ (поз. 3 ил. 8).

ИПР оборудовался для проведения инженерно-разведывательных задач под водой, которые экипаж мог выполнять, не покидая машины:

наблюдение за местностью, в т.ч. из-под воды;

разведку и поиск минно-взрывных заграждений;

определение скорость течения, состояния грунта, рельефа дна;

наличие препятствий на маршруте движения.

Для выполнения перечисленных задач внутри отделения управления устанавливалось следующее оборудование.

Место командира-оператора машины:



Ил. 7. Место командира-оператора

пульт управления внешними устройствами миноискателя РШМ и датчиками следящего устройства, размещённые на шарнирных креплениях под лапами миноискателя); дисплей эхолота, радиостанция внутренней связи; нижний оголовок перископа; доступ (через люк) к червячным механизмам регулировки натяжения гусениц; авиагоризонт для замера вертикальных углов.

Справа и на переборке сзади - группа воздушных вентилей управления воздушно-распределительного щита) балластных цистерн, расположенными по бокам шлюзовой камеры.

Место водолаза-разведчика:

Перед сидением - вверху пулемётная турель с креплением для прицела, под турелью место для крепления радиостанции внешней связи.

Внизу – пульт управления выносными элементами миноискателя.

Позади сидения - люк входа в шлюзовую камеру, характерной конструкции с небольшим окошком в центре (ил. 8).

Шлюзовая камера имеет:

два внутренних люка – закрывающий вход из отделения управления (ил. 8) и обеспечивающий доступ к силовой установке (ил. 9);



Ил. 8. Люк входа в шлюзовую камеру

внешний для выхода из машины в подводном положении, расположенный сверху (поз 2 на ил. 5).

Место механика-водителя помимо педалей и рычагов для управления машиной, имело дополнительное оборудование.

Перед сидением - авиагоризонт, для определения продольных и поперечных углов, и гиropolукомпас.

Внизу слева - пульт управления гидравлическими механизмами подъёма-опускания волноотбойным щитком, водоходными движителями и пенетрометром, с помощью которого определялась плотность грунта.

Аналогов, установленного на ИПР пенетрометре, в мире не было. «Конструктивно прибор состоял из гидроцилиндра и штанги. Штанга перемещалась внутри и могла поворачиваться вокруг своей оси. При определении проходимости грунта давление жидкости передавалось в цилиндр, и штанга вдавливалась в грунт, а затем проворачивалась вокруг своей оси. Таким образом проверялась плотность грунта и его несущая способность на срез» [см. 3].



Ил. 9. Шлюзовая камера, люк в моторное отделение.

Обязанности экипажа распределялись в соответствии с установленным оборудованием [более подробно см. 2].

Как указывалось, ИПР разрабатывалась для разведки переправы танков под водой с ходу. В настоящее время активно разрабатываются беспилотные системы, в т.ч. для применения на водных преградах.

Описываемый образец, управлялся экипажем, не смотря на то что соответствовал заданным требованиям, имел ряд недостатков, существенно ограничивших применение. В частности, тяжёлый двигатель внутреннего сгорания не позволял центровке машины, как плавсредства. К тому же для обеспечения работы двигателя, требовался постоянный забор воздуха. Применение ОПВТ ограничивало глубину – 5-6 м, при расчетной по корпусу – 40 (подтверждена на испытаниях).

Установленное на ИПР оборудование позволяло точно определять местонахождение препятствия – в надводном положении эхолотом, в подводном – внешними датчиками миноискателя. С помощью эхолота и миноискателя в обоих положениях примерно определялось структура препятствия – камень, грунт, дерево, металл.

Важное обстоятельство – в надводном положении использование машины допускалось при 4-х бальном волнении на поверхности. В подводное положение с берега машина уходила при более сильном волнении.

Фактически конструкция изделия позволяет доставлять водолазов и необходимое оборудование для работы под водой не только на реках, но и прибрежных акваториях больших озёр и морей. Устанавливаемая на изделии навигационная аппаратура позволяла двигать по координатам.

При современном уровне развития материалов и электродвигателей возможно усовершенствование описанной конструкции для выполнения не только боевых задач под водой. Применение электродвигателей позволяет отказаться от ОПВТ, заменив его на систему внутренней регенерации воздушной смеси внутри машины.

Список литературы

1. Ил. 1, 2 и все последующие – из личного архива автора; ил. 3, 4 – из статьи *Фещука М.* Подводная лодка инженерных войск. Ч.1 [Электронный ресурс] / Военное обозрение. - Инженерные войска и транспорт. – 23 ноября 2016 г. – Режим доступа: <https://topwar.ru/104065-podvodnaya-lodka-inzhenernyh-voysk.html>. Свободный. – Загл. с экрана

2. *Вахтеров А.В.* Инженерный подводный разведчик (ИПР) из собрания инженерной техники Военно-исторического музея артиллерии, инженерных войск и войск связи: статья / Сохранность культурного наследия: наука и практика: Материалы секции «Актуальные вопросы современного музейного дела» XI Международной научно-практической конференции «Война и оружие. Новые исследования и материалы» (Санкт-Петербург, 17-19 мая 2023 г.). Вып. 16 – СПб: ВИМАИВиВС, 2023. С. 30-47.

3. *Фещук М.* Подводная лодка инженерных войск. Ч.1 [Электронный ресурс] / Военное обозрение. - Инженерные войска и транспорт. – 23 ноября 2016 г. – Режим доступа: <https://topwar.ru/104065-podvodnaya-lodka-inzhenernyh-voysk.html>. Свободный. – Загл. с экрана.

Сведение об авторе

Вахтеров Андрей Васильевич - заместитель председателя Информационной комиссии Московского комитета ветеранов войны, г. Москва; преподаватель, Государственного бюджетного профессионального образовательного учреждения города Москвы «Образовательный комплекс «Юго-Запад»

Кочуров В.В., Сизиков С.С., Козлов П.Г. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ МАСТЕРСКИХ ДЛЯ РАБОТЫ В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ

*Кочуров Виталий Валерьевич, Сизиков Станислав Сергеевич,
Козлов Павел Геннадьевич*

¹*Тюменское высшее военно-инженерное командное ордена Кутузова училище
имени маршала инженерных войск А.И. Прошлякова,
625001, Российская Федерация, г. Тюмень ул. Льва Толстого, д. 1*

²*Дальневосточный федеральный университет, Военный учебный центр,
690922, Российская Федерация, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский,
п. Аякс, 10*

Аннотация: В статье описывается анализ существующих подвижных ремонтных средств и опираясь на результаты исследований были подобраны новые требования, предъявляемые к мастерской в условиях Крайнего Севера. Исходя из предъявляемых требований было разработано предложение по составу, компоновке подвижной ремонтной мастерской на базе КамАЗ-АРКТИКА для оснащения ремонтных органов войскового звена в районах Крайнего Севера.

Ключевые слова: Арктика; арктическая зона РФ; «КамАЗ-Арктика»; электрообеспечение; автономный генератор; узел сочленения; подвесной механизм; модуль пневмокаркасный.

Арктика является важнейшей ресурсной базой XXI века и имеет стратегическое значение. Часть современной арктической политики России включает поддержание военного присутствия в регионе. В настоящее время на вооружении ремонтных органов войскового уровня состоят мастерские, разработанные в 70-х годах двадцатого столетия. Эти мастерские, оснащенные оборудованием и специализированными комплектами для ремонта машин, не отвечают современным требованиям. Арктическая зона РФ природно-экономическими, демографическими и иными условиями значительно отличается от других регионов России и имеет свои отличительные черты:

- экстремальные природно-климатические условия, включая постоянный ледовый покров;
- очаговый характер промышленно-хозяйственного освоения территорий и низкая плотность населения (1-2 чел. на 10 км²);
- удаленность от основных промышленных центров;

- уязвимость природы от техногенных чрезвычайных ситуаций (ЧС) и производственной деятельности человека;
- низкий радиационный баланс;
- близкие к 0 °С средние температуры воздуха летних месяцев при отрицательной среднегодовой температуре;
- существование ледников и многолетнемерзлых пород;
- преобладание тундровой растительности и арктических пустынь.

На основе проведенного анализа условий применения подвижных ремонтных средств в сложных арктических погодных условиях выявлено, что существующие подвижные средства ремонта и технического обслуживания техники не приспособлены для выполнения всего комплекса работ в условиях Арктики.

Исходя из требований к мастерским для работы в условиях Арктики, необходимо увеличить возможности и производительность существующих эвакуационных средств за счет их модернизации.

Для создания мастерской, которая будет выполнять все требования эксплуатации в условиях Арктики необходимо произвести:

- выбор базового шасси из ряда перспективного вездеходного транспортного средства отечественного производства
- выбор рабочего оборудования с учетом технических условий применения и характеристик.

В этой связи и появилась потребность в качественном и надежном автомобиле, который смог бы работать даже в суровых арктических условиях, справляясь со своими задачами и в зимний период. Представленный арктический вездеход «КамАЗ-Арктика» будет интересен как минимум сотрудникам МЧС, медицинским работникам, а также исследователям и первопроходцам, машина может заинтересовать ученых и геологов. Не стоит исключать и того, что со временем данной разработкой могут заинтересоваться военные и представители различных российских силовых ведомств.

«КамАЗ-Арктика» – это экологически безопасный вездеход, предназначенный для транспортировки людей и грузов на территории арктических зон России, областей Сибири и Дальнего Востока. В автомобиле была использована сочлененная рама – она разработана в двух модификациях: с колесными формулами 6х6 и 8х8. Уже построен вездеход с колесной формулой 6х6 (рис. 1).



Рисунок 1 - КамАЗ-Арктика

С точки зрения своей конструкции – это абсолютно новая разработка, ничего подобного ранее «КамАЗ» никогда не создавал. Для работы в условиях Арктики новый автомобиль должен соответствовать очень жестким требованиям. Он должен функционировать при температурах окружающего воздуха в минус 50-60 градусов Цельсия. Передвигаться в условиях полного бездорожья: не только по снежному покрову, но и в условиях слабонесущих грунтов, в условиях весенней распутицы, работать на зимниках. Ключевая особенность нового вездехода – это шарнирно-сочлененная рама: автомобиль делает поворот не за счет своих колес, а за счет «ломающейся» рамы. Данное решение было продиктовано большими габаритами используемых колес: они у арктического вездехода очень широкие, не обеспечивающие достаточного для обычного поворота ресурса (рис. 2).

Кабина предназначена для размещения водителя, пассажиров, контрольно-измерительных приборов и органов управления. Она цельнометаллическая, сварная, с гидроподъемником для опрокидывания. Угол наклона кабины, допустимый ограничителем, 38°, максимальный при демонтаже двигателя 60°.

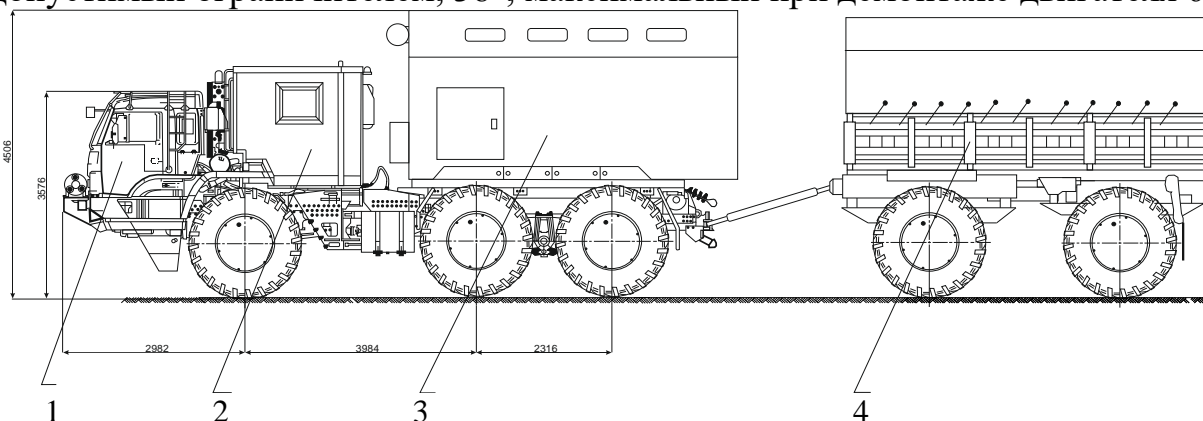


Рисунок 2 – КамАЗ-Арктика. Общий вид машины:

1 – кабина; 2 – жилой модуль; 3 – кузов-фургон; 4 - прицеп

Кабина устанавливается над двигателем на раме автомобиля. К раме крепится с помощью передних шарнирных опор и двух задних поддрессоренных опор, обеспечивающих мягкую подвеску кабины.

Кабина состоит из каркаса, облицовочной панели, задней стенки, крыши, дверей в сборе, органов управления и контрольно-измерительных приборов, оборудования кабины.

Жилой модуль предназначен для обеспечения комфортного проживания и работы в полевых условиях личного состава в различных климатических условиях. Внутри жилого модуля имеются спальные места, бензиновый генератор, электрические инверторы, запас питьевой воды, кухня с варочной панелью и СВЧ-печью, туалет и даже душ. Жилой модуль арктического вездехода – это полноценное жилое пространство, в котором можно будет жить или ждать помощи в самых суровых климатических условиях не менее трех суток.

Кузов-фургон цельнометаллический, каркасный. Наружная обшивка – стальной лист, внутренняя – промышленный пластик + оцинкованная сталь или ламинированная ДВП. Утепление кузова – пенополистирол (пенопласт). Окна фургона – пластиковая рама с двойным или тройным стеклопакетом, открываются вовнутрь. Дверной проем имеет установленные по периметру резиновые трубчатые уплотнители, устойчивые к низким температурам. Освещение кузова-фургона – четыре потолочные плафона, питающиеся от бортовой сети автомобиля. Дополнительное освещение рабочего отсека – светильниками 220 В, питающимися во время работы генератора.

Прицеп транспортный предназначен для перевозки технологического и дополнительного оборудования мастерской.

Особенности конструкции мастерской:

Шарнирно-сочлененная конструкция агрегата включает в себя следующие элементы:

1. Автономный генератор. Технику можно эксплуатировать в условиях низких температур (до -60°C).
2. Автомобиль делает поворот не за счет своих колес, а за счет «ломающейся» рамы (рис. 3).

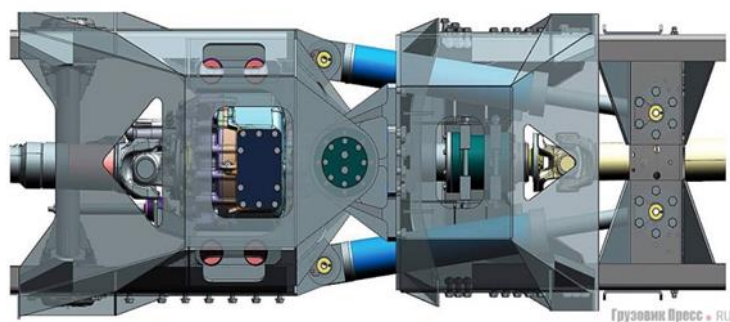


Рисунок 3 - Рама ломающегося типа

3. Одной из особенностей арктического вездехода является наличие полноценного комфортного жилого отсека, рассчитанного на проживание трех человек (рис. 4). Внутри жилого модуля имеются спальные места, бензиновый генератор, электрические инверторы, запас питьевой воды, кухня с варочной панелью и СВЧ-печью, туалет и даже душ. Также внутри имеется телевизор, спутниковый телефон. Дизайном жилого модуля занимались специалисты СКБ МАМИ. Специалистам данного предприятия удалось в полной мере совместить утилитарные свойства вездехода с достаточно стильным внешним видом и продуманной эргономикой, которая отвечает всем критериям комфортного и

автономного пребывания в жилом модуле. Попасть в модуль можно по специальной раскладной лестнице. Жилой модуль арктического вездехода «КамАЗ-Арктика», который официально будет сертифицирован как снегоболотоход, – это полноценное жилое пространство, в котором можно будет жить или ждать помощи в самых суровых климатических условиях не менее трех суток. «Минимум трое суток, а скорее неделю или даже больше», – отметил Сергей Назаренко главный конструктор инновационных автомобилей НТЦ КамАЗ. Дополнительно в жилом модуле предусмотрены кондиционеры, которые помогут изолировать его обитателей от северного «зверя»: комаров, мошкар и гнуса.



Рисунок 4 - Жилой модуль

4. Колеса. С помощью применяемых шин успешно решается задача проходимости автомобиля в особых климатических условиях и на нестабильных грунтах: тундре, заболоченной местности, фирновых снегах (плотный крупнозернистый снег) (рис. 5). Шина 66x43.00-25 16PR 170B ВКТ FL 351 TL. Широкопрофильная сверхнизкого давления.



Рисунок 5 - Шины

5. Узел сочленения (рис. 6). Он состоит из двух коробчатых конструкций листового типа, которые соединены между собой при помощи двух шарниров. Поворот вокруг оси происходит благодаря гидравлическим цилиндрам. Угол складывания не может превышать 45°.

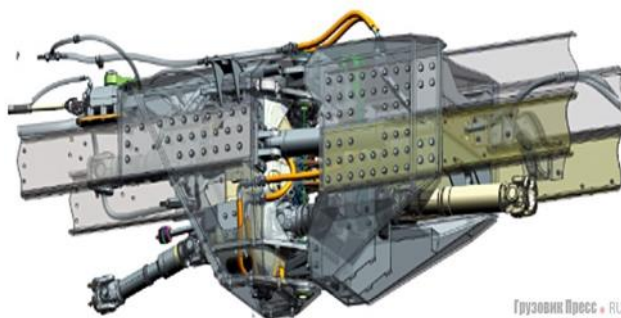


Рисунок 6 - Узел сочленения

6. Подвесной механизм (рис. 7). Здесь установлена передняя подвеска рессорного типа. Прототипом стали детали заднего подвесного механизма агрегата КамАЗ-5460, а амортизаторы и стабилизатор были позаимствованы у модели 65225.

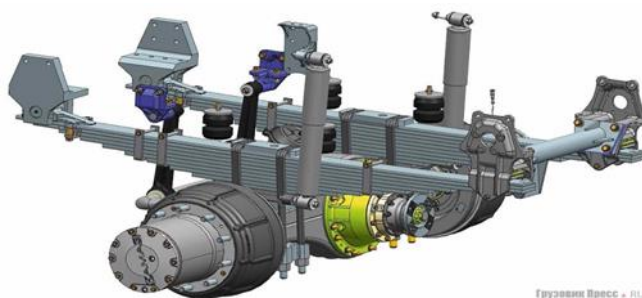


Рисунок 7 - Подвесной механизм

7. Коробка передач - механическая, 16-ти ступенчатая.

8. Двигатель (рис. 8). Перспективная рядная силовая установка КАМАЗ 740.37 - 400, которая позволяет развивать 400 л/с.

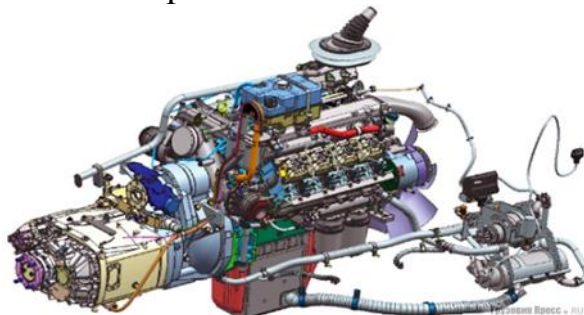


Рисунок 8 - Силовая установка КАМАЗ 740.37 – 400

Вывод: Особенности конструкции базовой машины позволяет эффективно функционировать особых климатических условиях, на нестабильных грунтах по бездорожью. Обеспечены комфортные условия работы расчета мастерской.

Дополнительное технологическое оборудование:

Модуль пневмокаркасный – это мобильная надувная палатка из ПВХ, позволяющая организовать длительное проживание в ней в различных климатических зонах.

Пневмокаркасные модули ТаймТриал – это быстровозводимые надувные мобильные помещения из ПВХ для оперативной установки и размещения на любой неподготовленной площадке в различных условиях, в том числе и полевых — подразделений, командных пунктов, ПВР (пунктов временного размещения), спасательных отрядов МЧС и гражданского населения в зонах чрезвычайных ситуаций, полевых госпиталей, оборудования и техники для хранения и ремонта, а также для различных других целей.

Оснащение пневмокаркасных палаток ТаймТриал:

1. Отопление и кондиционирование. Использование пневмокаркасных палаток ТаймТриал дает возможность отдыхать или выполнять поставленные

задачи с максимальным комфортом. В холодное время года пневмокаркасный модуль необходимо обогреть, а в жаркий период – можно обеспечить кондиционирование. С этой целью пневмокаркасные модули ТаймТриал имеют специальные рукава для подсоединения внешних вентиляционно-отопительных установок. Для отопления используются дизельные тепловые пушки. Для кондиционирования используются мобильные кондиционеры.

2. Электрообеспечение. Кабельная электрическая сеть заказываемого пневмокаркасного модуля учитывает потребности заказчика. В стандартное электрооснащение надувной палатки входят:

– влагостойкие светильники основного освещения с энергосберегающими лампами или светодиодные светильники, по выбору заказчика. Класс защиты не менее IP54. Количество светильников и их месторасположение зависит от размеров модуля и целей его эксплуатации;

– бортовая кабельная электрическая сеть с классом защиты не ниже IP54 – электрические прорезиненные розетки с УЗО, внешний силовой морозостойкий кабель, внутренние силовые кабели. Проложенная внутри палатки электропроводка находится в закрытых кабель-каналах, куда она монтируется при изготовлении пневмокаркасного модуля. При снятии палатки демонтаж предустановленной кабельной сети не требуется, отключаются и убираются для хранения и транспортировки только светильники, однако, при необходимости, электропроводка может быть легко демонтирована или перепроложена;

– распределительный электрический щит, выполненный в защищенном пластиковом корпусе. В щит вмонтирован датчик давления, через который осуществляется поддержание давления в каркасе палатки.

Электросеть спроектирована таким образом, что может питаться даже от маломощного электрогенератора номинальной мощностью от 3 кВт.

3. Внутренний стеновой утеплитель. Внутренний съёмный тент выполнен из полиэстеровой ткани с лёгким теплоизоляционным нетканым материалом. Слои позволяют удерживать тепло внутри модуля, которое подается специальной дизельной тепловой пушкой с улицы.

4. Теплый пол. Палатка дополнительно может быть оборудована съёмными теплыми полами, которые позволяют сохранять тепло в модуле при минусовой температуре. Полы стыкуются между собой при помощи липучки (замок) или изготавливаются складными в виде «книжки». Полы сделаны из теплоизоляционного материала «ПОЛИФОМ» защиты в пакеты из ПВХ ткани или других искусственных материалов.

Предназначены для эксплуатации в температурном диапазоне: -50°С... + 50°С.

Конструкция пневмокаркасной палатки сварщика позволяет без особых усилий разместить на трубопроводах любого диаметра внутри палатки для сварочных работ, имея для этого специальные открывающиеся отверстия.

Палатка сварщика изготовлена из эластичного морозостойкого материала ПВХ, устойчивому к горению (возможна эксплуатация при температуре до - 30°С, а в случае спецзаказа - изготовления из усовершенствованной

морозостойкой ткани - возможна эксплуатация палатки при - 50°С) с внутренним съемным тентом из брезента с огнеупорной пропиткой.

Возможности и схема разворачивания:

Оборудование мастерской позволяет развернуть такие специальные посты как:

- 1- пост смазочно-заправочных работ
- 2- пост технического обслуживания и ремонта инженерной техники
- 3- пост зарядки АКБ
- 4- пост слесарных и медницко-жестяницких работ
- 5- пост шиномонтажных работ
- 6- пост дозиметрического контроля
- 7- пост токарных, слесарных и регулировочных работ
- 8- пост электросварочных работ

В зависимости от характера повреждений расчет мастерской разворачивает только те посты, которые необходимы для восстановления вышедшей из строя техники. По окончании ремонта машина обслуживается (заправляется топливом, смазочными материалами и специальными жидкостями, регулируется, при необходимости подкрашивается), затем направляется в свое подразделение. Развернутое оборудование мастерской обслуживается, укладывается в кузов на свои места и закрепляется.

Проведя сравнительный анализ базовых машин по расходу топлива на 100 км. пробега, запаса хода по топливу, проходимости, мощности двигателя, возможности автономной работы в суровых климатических условиях с применением надувных модульных палаток, наличие жилого модуля, представленный в таблице пришел к выводу, что предлагаемая мастерская технического обслуживания и ремонта на база перспективного вездехода – КамАЗ-АРКТИКА является более эффективной и качественной при решении технических задач в условиях Арктики и Крайнего Севера.

Заключение.

В ходе работы был произведен анализ существующих подвижных ремонтных средств и опираясь на результаты исследований были подобраны новые требования, предъявляемые к мастерской в условиях Крайнего Севера. Исходя из предъявляемых требований было разработано предложение по составу, компоновке подвижной ремонтной мастерской на базе КамАЗ-АРКТИКА для оснащения ремонтных органов войскового звена в районах Крайнего Севера. Разработаны предложения по замене основного технологического оборудования на более усовершенствованное в связи с техническим прогрессом.

Список литературы

1. Фирсов, Э.В. Перспективные подвижные средства восстановления вооружения и военной техники. Монография. - Тюмень: ТВВИКУ, 2015.
2. Тарасенко, П.Н. Подвижные ремонтные мастерские. Учебное пособие. – Минск: БНТУ, 2012.

3. Система общих технических требований к видам вооружения и военной техники. Формирование и обоснование общих технических (тактико-технических) требований. Основные правила, принципы и методы. ОТТ 1.0.6. - 94. – М.: МО РФ, 2000.

Слесаренко В.В., Гасымов Э.Т. ТЕХНОЛОГИЯ ПОДАЧИ ДЕПРЕССОРНЫХ ПРИСАДОК В ТРУБОПРОВОД ПРИ ПЕРЕКАЧКЕ ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ

Слесаренко В.В., Гасымов Э.Т.

Дальневосточный федеральный университет, департамент нефтегазовых технологий и нефтехимии, 690922, Владивосток, ул. Аякс, 10

Аннотация. В статье рассмотрены особенности применения депрессорных присадок и технология ввода присадок в трубопровод при перекачке высоковязкой нефти. Предложена схема подачи присадки в транспортируемую нефть на нефтеперекачивающей станции (НПС). При этом обеспечивается оптимизация процесса ввода и распределения присадки в потоке нефти. В схеме используются наиболее простые технические решения, способствующие снижению затрат реагентов, электроэнергии на привод насосов, улучшение процесса регулирования количества депрессорной присадки, подаваемой в нефть на НПС.

Ключевые слова: трубопровод, высоковязкая нефть, депрессорные присадки, узел подачи, оптимизация.

Введение. Перспективным способом увеличения перекачки по трубопроводам высоковязкой нефти является обработка среды депрессорными присадками, незначительное количество которых существенно улучшает реологические свойства нефти.

Депрессорные присадки к нефти представляют собой синтетические полимерные продукты, введение которых в небольших количествах в высоковязкую нефть способно существенно изменять ее свойства (температуру застывания, вязкость, напряжение сдвига и др.) и предотвращать образование отложений асфальтопарафиновых и смолопарафиновых компонент.

Для обеспечения работы магистрального трубопровода при перекачке высоковязкой нефти достаточно обработать депрессорной присадкой ее объем один раз на участке, например, на нефтеперекачивающей станции.

Улучшение реологических свойств нефти под влиянием присадки позволяет решать практические задачи трубопроводного транспорта:

- снижает энергетические затраты на перекачку;
- способствует увеличению производительности нефтепроводов;
- гарантирует надежность пуска нефтепровода после длительных остановок;
- уменьшает отложения асфальтопарафиновых и смолопарафиновых примесей на стенках трубопровода и в резервуарах.

Постановка задачи.

Снижение гидравлического сопротивления при транспортировке нефти с присадками (эффект Томса) проявляется в увеличении пропускной способности трубопроводов при сохранении затрат на транспортировку. Разработано достаточно много реагентов, обеспечивающих пропускную способность трубопроводов, предназначенных для транспортировки однофазных потоков [1,2]. В основном для снижения гидравлического сопротивления применяются высокомолекулярные полимеры и поверхностно-активные вещества [3]. Экспериментально установлено, что эффект Томса проявляется не только в однофазных, но и в многофазных потоках при разной степени их турбулизации [3,4,5]. Эффект Томса оценивается через увеличение расхода жидкости при сохранении общего перепада давления в системе и рассчитывается по следующей формуле:

$$T = \frac{Q_{\text{реаг}} - Q_{\text{исх}}}{Q_{\text{исх}}},$$

где $Q_{\text{исх}}$ - расход нефти без реагента, $Q_{\text{реаг}}$ – расход нефти с реагентом.

Исследования по влиянию молекулярной массы M присадки на эффект Томса приводят к одному выводу: эффект Томса выражен тем сильнее, чем выше молекулярная масса M вводимого полимера. Для большинства водорастворимых полимеров, если $M < 1 \cdot 10^4$, то эффект Томса пренебрежимо мал.

На величину снижения гидравлического сопротивления турбулентного потока и технико-экономические показатели применения присадок влияют следующие факторы [4,5,6]:

- химическая природа присадки;
- молекулярные характеристики полимера: структура, молекулярная масса, молекулярно-массовое распределение, линейный размеры макромолекулярных клубков;
- эксплуатационные характеристики присадки;
- технологические характеристики (концентрация активного вещества в товарной форме присадки, кинетика растворения в нефти, кинетика механической и термической деструкции);
- транспортно-складские характеристики (товарная форма присадки - гелеобразная или суспензионная, деструкция, обусловленная длительностью хранения присадки, температура застывания);
- гидродинамические режимные параметры трубопровода (температура, скорость, давление, наличие водных и газовых скоплений, отложений парафина и механических примесей);
- теплофизические параметры перекачиваемой нефти (вязкость, плотность);
- конструктивные и геометрические параметры (внутренний диаметр, шероховатость труб, лупинги, вставки, местные сопротивления).

При проектировании оборудования для использования депрессорных присадок необходимо знать, как изменяется коэффициент гидравлического сопротивления при введении присадки с той или иной концентрацией. За счет снижения пристеночной турбулентности при вводе присадки происходит уменьшение гидравлического сопротивления в трубопроводе. Поэтому таким мероприятием достигается либо увеличение производительности перекачки (при том же самом перепаде давлений), либо происходит снижение давления на НПС (при сохранении производительности перекачки). Эффект снижения гидравлического сопротивления, а значит и расхода электроэнергии, может составлять от 20 до 60%. Эти выводы подтверждаются данными натурных испытаний депрессорных присадок на действующих нефтепроводах [7,8,9]. Снижение вязкости при низких температурах может достигать 80% (рис. 1).



Рисунок 1 – Снижение вязкости нефти при применении депрессорных присадок [7]

Технологический процесс перекачки нефти с применением депрессорных присадок предполагает непрерывный ввод небольшого количества специальной высокомолекулярной полимерной присадки во внутреннюю полость магистрального нефтепровода. Важным обстоятельством является выбор места подачи присадки в трубопровод. Принимая во внимание опыт промышленных испытаний различных депрессорных присадок на нефтепроводах, предварительный выбор трубопровода для применения перекачки нефти присадок должен быть произведен с учетом следующих факторов:

- применение депрессорных присадок является эффективным для трубопроводов с турбулентным режимом течения;

- нефтепровод должен работать с возможностью увеличения количества перекачиваемой нефти на 15-20 % в течение времени прохождения нефти с присадкой.

- не должно быть местного превышения допустимого давления в трубопроводе при увеличении расхода и снижения подпоров перед насосными агрегатами ниже допустимого.

Важной проблемой при использовании депрессорных присадок является оптимизация узла введения присадки в нефтепровод. Обычным решением такой задачи является подача присадки из специальных емкостей насосами-дозаторами [10,11].

Использование депрессорных присадок имеет некоторое специфическое ограничение: при длительном действии присадок в турбулентном потоке они разрушаются. Особенно заметно их разрушение при прохождении через насосы НПС. Поэтому при использовании присадок приходится после прохождения каждой насосной станции вводить в поток свежие порции реагента.

Механизм ввода присадок, применяемый наиболее часто на НПС, показан на рисунке 2.

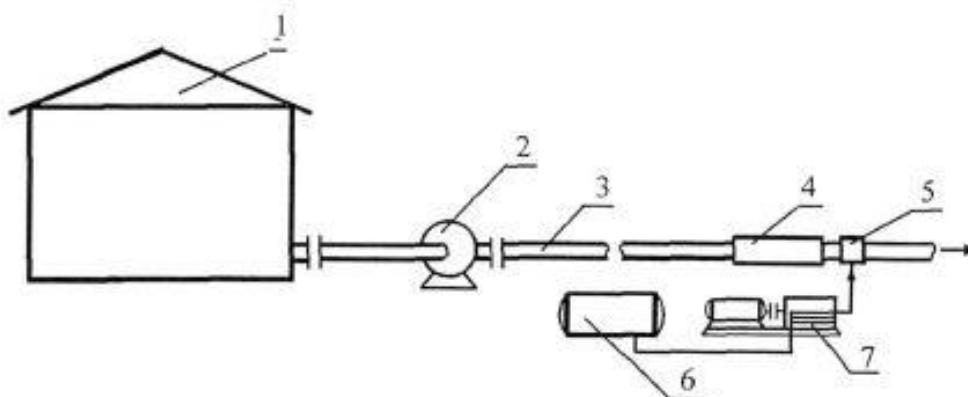


Рисунок 2 - Схема подачи присадки в нефть на НПС:
1- резервуар; 2 – насос; 3 – трубопровод; 4 – подогреватель нефти;
6 – емкость с присадкой; 7 насос-дозатор

Применяемая технология является наиболее простой в реализации, однако имеет определенные недостатки. Например, в большинстве случаев присадку перед вводом в нефтепровод желательно подогревать до 40 – 60 °С.

Совершенствование узла подачи депрессорной присадки. В качестве технического решения при модернизации узла ввода депрессорных присадок на НПС предлагается использовать для отбора нефти высоконапорную линию в системе разгрузки и охлаждения торцевых уплотнений магистральных насосов (рис. 3). При этом узел ввода присадки располагается непосредственно в здании насосного цеха станции. Такое решение позволит использовать высокое давление нефти, забираемой из напорной полости магистрального насоса для качественного смешения нефти с депрессором.

Нефть в узел подачи присадки

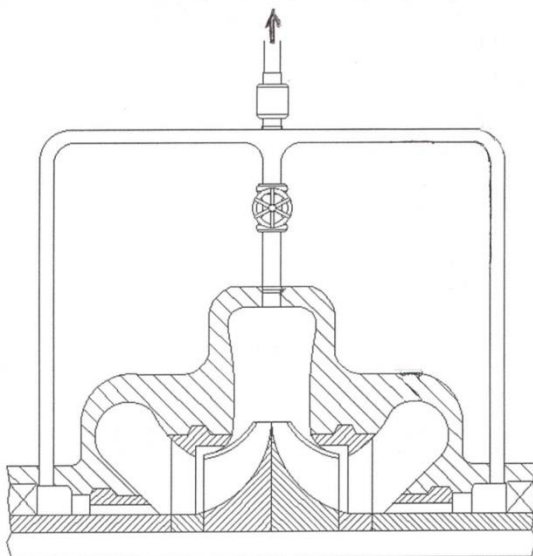


Рисунок 3 – Система разгрузки и охлаждения торцевых уплотнений насоса с отбором нефти в узел подачи депрессорной присадки

Два варианта цеховой схемы подачи присадки в нефтепровод представлены на рисунке 4. Для подачи депрессанта из емкости 1 используется насос-дозатор высокого давления 3. В первой схеме (а) насос-дозатор подключен к промежуточному баку 4, в котором установлен модуль с СВЧ-подогревателем нефти. Такое решение обеспечивает более эффективное смешение нефти с присадкой. Далее смесь поступает в струйный насос 5, где происходит дополнительное смешение нагретой нефти и депрессорной среды. Исходная высоковязкая нефть забирается из системы разгрузки и охлаждения торцевых уплотнений насоса (рис. 3). Обработанная присадкой нефть после струйного насоса 5 поступает в нефтепровод.

Во второй схеме (рисунок 4, б) добавлен дополнительный бак 6 со встроенным ультразвуковым излучателем. Смешение присадки и нефти происходит при воздействии ультразвука определенной частоты. Далее смесь поступает в СВЧ-подогреватель 4 и с после подогрева направляется через струйный насос 5 в нефтепровод.

Применен один из современных и перспективных методов обработки нефти и нефтепродуктов – ультразвуковое воздействие [12,13]. Ультразвук генерирует кавитационные пузырьки в нефтяной среде, которые при схлопывании выделяют значительную энергию. Это разрушает асфальтено-смолистые структуры, снижает вязкость и улучшает текучесть среды. Преимуществом ультразвуковой технологии является снижение вязкости нефти без нагрева. Происходит энергосберегающий процесс, обеспечивающий улучшение качества нефти за счет разрушения высокомолекулярных соединений.

Таким образом, использование в схеме ультразвукового модуля способствует изменению реологических свойств высоковязкой нефти [14]. Этот

фактор положительно влияет на взаимодействие присадки с высоковязкой нефтью.

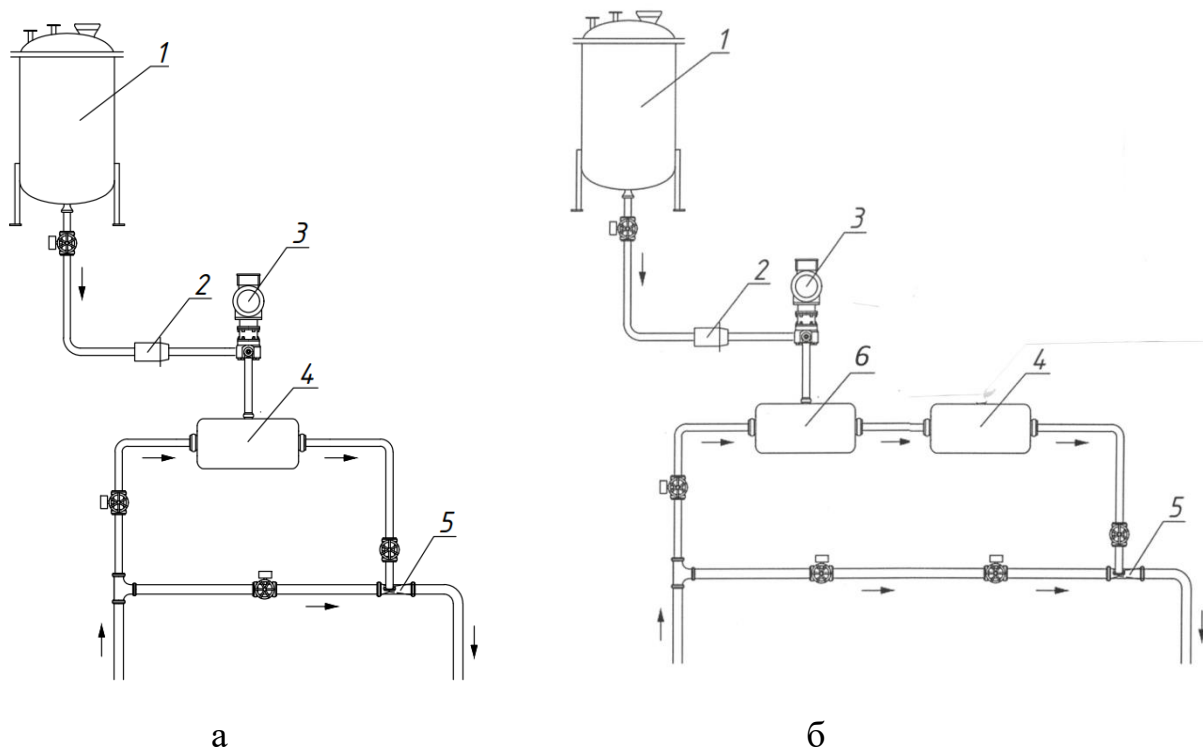


Рисунок 4 – Технологическая схема узла подачи депрессорной присадки.
Схема а: 1 – емкость с присадкой; 2 – жидкостный фильтр; 3 – насос-дозатор; 4 – бак смешения со встроенным СВЧ-подогревателем; 5 – струйный насос.
Схема б: 4 – бак со встроенным СВЧ-подогревателем; 6 - бак смешения со встроенным ультразвуковым излучателем

Технология введения присадки. Нефть поступает на линию узла подачи присадки из напорной полости системы разгрузки и охлаждения торцевых уплотнений магистрального насоса с определенным расходом, который регулируется клапаном. Одновременно с этим насос-дозатор обеспечивает подачу депрессорной присадки из емкости в бак смешения. Емкость хранения присадки должна быть выполнена из стали, с объемом, позволяющим хранить необходимое количество присадки до следующего заполнения. Кроме того, емкость хранения оборудуется датчиками максимального и минимального уровня.

Поток нефти, поступающий в узел подачи присадки, разделяется на тройнике: одна часть поступает в бак смешения, где присадка растворяется в нефти, другая – в качестве рабочей жидкости на струйный насос. Использование в схеме регулирующих клапанов позволяет изменять расходные характеристики и уровень давления среды в узле подачи депрессорной присадки.

Заключение.

Применение депрессорных присадок имеют большое значение для компании ПАО «Транснефть» и других компаний, занимающихся транспортировкой нефти. Опыт применения депрессорных присадок уже

показал экономическую выгоду на отдельных участках нефтепроводов при перекачке тяжелой нефти. Введен в эксплуатацию завод по производству депрессорных присадок в Татарстане [15]. Также подготовлены и используются полигоны для испытания различных присадок в широком диапазоне условий.

Следовательно, изучение и применение депрессорных присадок являются приоритетным направлением развития трубопроводного транспорта нефти, в том числе с высокой вязкостью.

Опытно-промышленная перекачка нефти с присадками показала, что при вводе присадок:

- экономится электроэнергия на транспортировку нефти за счет снижения гидравлического сопротивления трубопровода;
- снижается давление, необходимое на перекачку, в условиях поддержания постоянного расхода;
- увеличивается пропускная способность трубопровода при поддержании постоянного давления (увеличение расхода до 45%);
- создает лучшие условия очистки трубопроводов за счет увеличения скорости перекачки и создания эффекта «отрыва» частиц отложений от стенки трубопровода.

При этом следует рассматривать различные технологии, позволяющие оптимизировать подачу депрессорных присадок в нефтепровод на НПС для повышения эффективности реагентных способов обработки потока перекачиваемой нефти.

Список литературы.

1. Шарифуллин А. В. Энергосбережение при транспортировке высоковязких нефтей и нефтяных эмульсий / Л. В. Шарифуллин, Л. Р. Байбекова, Г. И. Дусметова // Вестник технологического университета. - 2015. - Т. 18, № 7. - С. 99-101.
2. <https://research-journal.org/archive/5-95-2020-may/issledovanie-primeneniya-depressornyx-prisadok-zarubezhnymi-kompaniyami-v-truboprovodnom-transporte-vysokovязkix-neftej>: Деменин Е.С., Николаев А.К., Зарипова Н.А. Исследование применения депрессорных присадок зарубежными компаниями в трубопроводном транспорте высоковязкой нефти. [Электронный ресурс]
3. https://oil-industry.net/Journal/upload/TTH.pdf?ID=12020&art=235947&ELEMENT_ID=228758: Шафикова Е.А., Беленкова Н.Г., Арсланова И.М., Сахибгареев А.К., Валиахметов Р.И. Применение депрессорных присадок при транспорте высокопарафинистой нефти. [Электронный ресурс]
4. Мастобаев Б.Н., Шаммазов А.М., Мовсумзаде Э.М. Химические средства и технологии в трубопроводном транспорте нефти. М.: Химия, 2002. – 296С.
5. Муратова В. И. Оценка влияния противотурбулентных присадок на гидравлическую эффективность нефтепродуктопроводов : Дис. канд. тех. наук. Уфа, 2014.

6. Лисин Ю. В., Несын Г. В., Ширяев А. М., Лукманов М. Р. Промышленная технология противотурбулентных присадок // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2013. №1(9). С. 48–57.
7. <https://magazine.neftegaz.ru/articles/transportirovka/805913-depressornye-prisadki-dlya-transportirovki-vysokovyazkikh-i-vysokoparafinistykh-neftey-na-primere-uch>: Депрессорные присадки для транспортировки высоковязкой и высокопарафинистой нефти на примере участка нефтепровода «Кумколь – Каракоин – Шымкент» . [Электронный ресурс]
8. Шарифуллин А. В. Разработка и испытание вязкостной присадки к нефти / А. В. Шарифуллин, Л. Р. Байбекова, В. Н. Шарифуллин, Г. И. Дусметова / Нефтяная провинция. - 2015. - № 3. - С. 115-126.
9. Дусметова Г. И. Разработка и испытание вязкостно-противотурбулентной присадки с нанокomпонентом / Г. И. Дусметова, А. В. Шарифуллин, В. Н. Шарифуллин, Е. В. Харитонов // Нефтяное хозяйство. - 2017. - № 4. - С. 117-120.
10. Стрюк С. О. Способы повышения энергоэффективности магистрального трубопровода // Молодой ученый. — 2018. — №4. — С. 54-55.
11. Ревель-Муроз П.А. и др. Лабораторное оборудование для исследования снижения гидродинамического сопротивления нефти и нефтепродуктов, журнал «Технологии транспорта нефти и нефтепродуктов» №3 2015 год
12. Волкова Г. И., Прозорова И. В., Ануфриев Р. В., Юдина Н. В., Муллакаев М. С., Абрамов В. О. Ультразвуковая обработка нефтей для улучшения вязкостно-температурных характеристик // Нефтепереработка и нефтехимия. - 2012. - №2. - С. 3-6.
13. Волкова Г. И., Ануфриев Р. В. Применение ультразвуковой обработки для снижения вязкостно-температурных характеристик нефти // NEFTEGAZ.RU, 2015. – URL: <https://neftegaz.ru/science/petrochemistry/331693-primenenie-ultrazvukovoy-obrabotki-dlya-snizheniya-vyazkostno-temperaturnykh-kharakteristik-nefti>.
14. Муллакаев М.С, Абрамов В.О., Волкова Г.И., Прозорова И.В., Юдина Н.В. Исследование влияния ультразвукового воздействия и химических реагентов на реологические свойства вязких нефтей // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. - 2010. - №5. - С. 31-34.
15. <https://neftegaz.ru/news/view/152365-Transneft-vlozhit-17-mlrd-rublej-v-stroitelstvo-zavoda-po-proizvodstvu-protivoturbulentnyh-prisadok-v-Tatarstane>: Транснефть вложит 1,7 млрд рублей в строительство завода по производству противотурбулентных присадок в Татарстане [Электронный ресурс].

Федюк Р.С., Павликов С. Н. УПРАВЛЕНИЕ ПАТЕНТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ

Федюк Роман Сергеевич¹, Павликов Сергей Николаевич²

¹Дальневосточный федеральный университет, 690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10,

²Владивостокский государственный университет, Россия, Приморский край,

Аннотация: В работе приведен анализ планирования и выбор стратегии в патентной деятельности. От эффективности, которой зависит конкурентоспособность предприятия. Обеспечение длительного доминирования на рынке результатов интеллектуальной деятельности основная задача руководства. Патентная стратегия представляет собой систему правовых, нормативных, информационных, маркетинговых, технических, технологических и др. положений, обеспечивающих работу предприятия по формированию и развитию патентного портфеля эффективного управления нематериальными активами в стране и за рубежом. Приведена сравнительная характеристика видов патентной стратегической деятельностью. Научная новизна состоит в расширении видов, составе и особенностей такой деятельности. На основе которых, предложена методика действий от идей решения изобретательской задачи до её доведения до результата интеллектуальной деятельности.

Ключевые слова: управление, патент, деятельность, результат, методика, решение противоречия.

PATENT MANAGEMENT

Fediuk, Roman Sergeevich¹; Pavlikov, Sergey Nikolaevish²,

¹Far Eastern Federal University, 690922, Primorsky Krai, Vladivostok, Russky Island, Ajax village, 10,

²Vladivostok State University, 690014, Vladivostok, Gogol str., 41

Annotation. The paper provides an analysis of planning and the choice of strategy in patent activity. On the efficiency of which the competitiveness of the enterprise depends. Ensuring long-term dominance of the results of intellectual activity in the market is the main task of the management.

The patent strategy is a system of legal, regulatory, informational, marketing, technical, technological and other provisions that ensure the work of the enterprise in the formation and development of a patent portfolio of effective management of intangible assets in the country and abroad. A comparative characteristic of the types of patent strategic activities is given. The scientific novelty consists in the expansion of the types, composition and features of such activities. On the basis of which a method of action is proposed: from the ideas of solving an inventive problem to bringing it to the result of intellectual activity.

Keywords: management, patent, activity, result, methodology, solution of contradiction.

Введение

В работе приведен анализ планирования и выбор стратегии в патентной деятельности. От эффективности, которой зависит конкурентоспособность предприятия. Обеспечение длительного доминирования на рынке результатов интеллектуальной деятельности (РИД) основная задача руководства. Она

включает комплекс мероприятий от маркетинга до выхода на циклическое обновление технологий РИД с обеспечением устойчивых показателей эффективности.

Патентная стратегия представляет собой систему правовых, нормативных, информационных, маркетинговых, технических, технологических и др. положений, обеспечивающих работу предприятия по формированию и развитию патентного портфеля эффективного управления нематериальными активами в стране и за рубежом [1-3].

Основная часть

Управление патентной стратегической деятельностью предусматривает адаптацию РИД к особенностям рынков, что обеспечивает устойчивость функционирования предприятия и включают процессы оценки: состояния, тенденций, целесообразность и готовность рынков [1-3].

Виды стратегий включают: оборонительные (ОС), наступательные (НС) и комплексные (ОС-НС-ОС-ОС- ...).

В работе [4, 5] приведена сравнительная характеристика разновидностей патентной стратегической деятельностью (ПСД), ибо ни одна из них не соответствует в полной мере требованиям рынка.

В таблице 1 приведены особенности видов ПСД.

Анализ подтверждает актуальность управления патентной стратегической деятельностью в условиях конкуренции. Не первым озвучить идею, они (идеи) как правило «без ценны», а первым, не просто получить патент, а выстроить систему стратегической патентной деятельности. С обязательным объединением перечисленных в таблице 1 стратегий в систему с единством целей и задач, что позволит устойчиво функционировать на рынке в условиях высокой конкуренции и быстро меняющихся: условий. Последнее это не столько угроза, сколько шанс изменить положение дел.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика видов ПСД [4,5]

№ п/п	Наименование видов ПСД	Характеристика	Особенность
1.	«Зонтичный патент»	Один патент с максимальным объёмом прав	1.1 Независимый пункт формулы составляется в обобщённом виде, позволяющий охватить разные варианты технического решения; 1.2 Применение одного отличительного признака в независимом пункте и большое количество зависимых.
2.	«Патентный пояс»	Формирование нескольких патентов, связанных единством цели	Один из патентов защищает главную технологию, другие – связанные с ней (технологией) подчиненные технические решения.
3.	«Стратегия покрытия»	Поэтапное патентование	3.1 Формирование патентов на каждый этап производственного процесса; 3.2 Формирование патентов на каждый новый элемент конструкции.
4.	«Стратегия затопление»	Формирование нескольких патентов в разных отраслях возможного применения продукта (технического решения).	4.1 Формирование нескольких патентов в разных отраслях возможного применения продукта (технического решения). 4.1 Формирование нескольких патентов в смежных отраслях возможного применения продукта.
5.	«Стратегия ограждения»	Один или группа связанных патентов	5.1 Формирование патентов для блокировки конкретных исследовательских направлений конкурентов, которые могут привести к достижению технического результата, аналогичного запатентованному. 5.2 Защита вспомогательных устройств и /или отдельных деталей с различными модификациями.
6.	«Патентный портфель»	Группа патентов	6.1 Формирование патентной группы как комплекса охраны бизнес интересов предприятия; 6.2 Поддержание и упреждающее обновление патентов с учетом меняющихся: технологий, рынков, условий.
7.	Закрытые	Группа инкубационного периода с регистрацией, но без публикации	Наращивается группа патентов до появления конкурентов в данном направлении.

8.	Маскирующие	Группа патентов	Патенты, скрывающие настоящие назначение, намерения и перспективы правообладателя.
9.	Дезинформирующие	Группа патентов	9.1 Патенты, в описании которых цели, функции, результаты работы и особенности конструктивных решений намеренно искажаются; 9.2 Патенты с целью ввести конкурентов в заблуждение.
10.	Сдерживающие, мертвые	Группа патентов	Патенты, которые не используются правообладателем, но препятствуют получению патента на аналогичные решения конкурентами.
11.	Дублирующие	Группа патентов	Патенты, которые помогают обходить другие патенты.
12.	Лицензионные и перекрёстные лицензионные	Группы лицензий и др. на использования патентов	Формирование рынка лицензий
13.	Рекламная стратегия	Патенты или группа патентов	Формирование информационной среды поддержки выбранных стратегий.
14.	Стратегия научной исследовательской работы	Комплекс тем НИР и НИОКР	Сотрудничество со всеми, но со своими РИД.
15.	Уровневые стратегии РИД	Группа объектов РИД: полезные модели, изобретения, товарные знаки, промышленные образцы, программы для ЭВМ, «ноу-хау» и др.	Планирование, создание, контроль, корректура, обновление, развитие, расширение и др. операции по формированию комплексной системы РИД.
16.	Комплексная стратегия	Группа патентов	Наиболее сложные, но эффективные в условиях конкуренции.

Технология формирования заявки на изобретение, как и технология подачи и её сопровождение являются сложными процессами. Однако еще более важным процессом патентно-лицензионной работы является коммерциализация. Но до продвижения на рынок важно не потерять идею и не вручить её в руки конкурента. Подтверждением тому анализ табл. 1. Особенностью отечественных изобретателей является их индивидуальность работы. Отсутствие систем поддержки, сокращение патентоведов в регионе усугубляет процесс. Изобретатель создает патент, не совсем осознавая его значимость и правила работы.

Компенсировать недостатки подготовленности и информированности отечественного изобретателя, вооружить его методиками, советами по продвижению технических решений позволит созданная Приморская

региональная организация Всероссийского общества изобретателей и рационализаторов (ВОИР), адрес Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, корпус Е, аудитория 407.

Методика управления

Таким образом, предложена технология управления патентной стратегической деятельностью предприятий, организаций и изобретателей.

В состав методики управления патентной деятельностью входят процессы:

1. Исследования состояния: запросов и тенденций рынков в РИД;
2. Анализ деятельности конкурентов и характеристик лучшего качества продукции;
2. Анализ и определение направлений стратегических исследований;
3. Планирование и проведение научно-исследовательских работ;
4. Анализ полученных результатов по продуктам, патентам и др. РИД;
5. Определение и утверждение приоритетов и их обеспечение;
6. Создание технических решений в виде портфеля заявок на РИД;
7. Патентные исследования, анализ разработанных технических (и др.) уровню рынка;
8. Уточнение места созданных технических решений рынку и определение совокупности стратегий патентной деятельности в соответствии с табл. 1;
9. Формирование задела в разработке патентов;
10. По отношению к каждому конкуренту формируется программа управления занятия и удержания конкурентного преимущества;
11. Выбор совокупности стратегий и их реализация на пространстве контролируемого рынка;
12. Коммерциализация РИД;
13. Защита РИД и рынка от неправомерных действий конкурентов и др. с помощью приведенных выше технологий противодействия, контроль их эффективности, внесение корректирующих процессов;
14. Анализ эффективности достигнутого и потенциала по расширению круга задач по технологиям, рынкам, потребителям и др.
15. Переход к п.1.

Выводы

В работе приведен анализ планирования и выбор компонентов стратегии в патентной деятельности. Обеспечение длительного доминирования на рынке результатов интеллектуальной деятельности основная задача руководства. Патентная стратегия представляет собой систему правовых, нормативных, информационных, маркетинговых, технических, технологических, лицензионных и др. направлений, обеспечивающих работу предприятия по формированию и развитию патентного портфеля эффективного управления нематериальными активами в стране и за рубежом. Приведена сравнительная характеристика видов патентной стратегической деятельностью. Научная новизна состоит в расширении видов, состава и раскрытие особенностей такой деятельности. На основе которых, предложена методика управления патентной деятельностью. Что представляет практическую значимость работы.

Список литературы

1. Максимова Т.Г., Халецкая В.А. Применение зонтичных патентных технологий для повышения эффективности патентной защиты изобретений и полезных моделей // Экономика. Право. Инновации. 2020. № 2. С. 25-30.
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. – 402 с.
4. Линник Л.Н. Особенности создания зонтичных патентов на изобретения // Интеллектуальная собственность. 2000. № 5. С. 31-46.
5. А. Дубок. Патентная стратегия. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://первоисток.РФ/patentnaya-strategiya#naznachenie>.

References:

1. Bibliography: Maksimova T.G., Khaletskaya V.A. Application of umbrella patent technologies to improve the effectiveness of patent protection of inventions and useful models. Right. Innovations. 2020. № 2. Pp. 25-30.
2. Tsvetkov A.N., Zarembo V.E. Metody resheniya tvorcheskikh zadach v menedzhmente: uchebno-prakticheskoe posobie [Methods of solving creative problems in management: a textbook]. – Moscow: KNORUS, 2011 – 152 p.
3. Altshuller G. Find an idea: Introduction to TRIZ – the theory of solving inventive problems / G. Altshuller. – 8th ed. Moscow: Alpina Publisher, 2015. – 402 p.
4. Linnik L.N. Features of the creation of umbrella patents for inventions. 2000. № 5. С. 31-46.
5. A. Dubok. Patent strategy. [Electronic resource]. - Rezhim dostupa: <https://pervoistok.RF/patentnaya-strategiya#naznachenie>

Примчук А.Г. Бушуев Д.В., Ильинский Ю.Ю. ОСОБЕННОСТИ ВЕДЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ ПРИ РЫХЛЕНИИ ГРУНТОВ И СКАЛЬНЫХ ПОРОД

*Примчук Анатолий Григорьевич, Бушуев Денис Васильевич, Ильинский
Юрий Юрьевич*

*Дальневосточный федеральный университет, Военный учебный центр,
690922, Российская Федерация, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п.
Аякс, 10*

Аннотация. Взрывной метод является одним из самых эффективных способов рыхления твердых грунтов и скальных пород, который широко используется в горном деле, строительстве и выполнении задач инженерного

обеспечения боя. В процессе взрыва происходит не только разрушение породы, но и ее последующая обработка с помощью землеройных машин и скалоуборочных механизмов. Этот метод позволяет значительно ускорить работы по разработке и перемещению больших объемов грунта.

Ключевые слова: взрывчатые вещества, грунт, скала, способ взрывания

Одним из основных направлений взрывного способа рыхления грунтов и скальных пород является возведение земляных насыпей и выемок (котлованов). Например, в строительстве автомобильных дорог и железных дорог взрывами создаются выемки для котлованов, что позволяет подготовить площадки для дальнейших работ. Также взрывами можно дробить мерзлые грунты, которые сложно обработать другими способами, а также валуны, что значительно упрощает процесс их удаления.

Существует несколько видов взрывных зарядов, которые различаются по своему действию на окружающую среду и на взрываемую породу. К ним относятся заряды выброса, рыхления и камуфлеты. При использовании заряда на выброс в грунте образуется воронка, которая имеет конусообразную форму. Грунт, выброшенный в результате взрыва, под действием силы тяжести частично оседает в воронку, а часть его разлетается вокруг, что создаёт дополнительное пространство для дальнейших работ.

Методы размещения зарядов также варьируются в зависимости от специфики задачи. Шпуровые, скважинные, котловые, камерные и щелевые заряды имеют свои особенности и применяются в зависимости от типа породы и необходимых результатов. Например, шпуровые заряды используются для мелкого дробления, тогда как котловые заряды могут применяться для более крупных объемов.

Обзор литературы

Взрывные работы в грунтах и скальных породах являются неотъемлемой частью деятельности подразделений инженерных войск при выполнении задач инженерного обеспечения боя, таких как:

- фортификационное оборудование рубежей, позиций и районов;
- устройство и содержание инженерных заграждений, производство разрушений;
- проделывание и содержание проходов в инженерных заграждениях и разрушениях;
- разминирование местности и объектов [1].

Взрывные работы в грунтах и скальных породах 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 [2].

на горном предприятии - применение современных взрывчатых веществ и средств взрывания при ведении буровзрывных работ во время подготовки и проведения добычи полезных ископаемых [3].

Рыхление грунтов необходимо при отрывке траншей, разработке скальных, тяжелых и промерзших грунтов, для повышения производительности скреперов. Авторами [4, 5] отмечается, что по мере замерзания механическая прочность грунта резко возрастает, и это приводит к увеличению затрат машинного времени и труда на его разработку, что невозможно произвести без применения взрывных работ по разрушению мерзлых грунтов и скальных пород.

Материалы и методы

Подрывание грунтов и скальных пород на рыхление представляет собой технологический процесс, использующий взрывчатые вещества для изменения структуры грунта и породы с целью их дальнейшей разработки или транспортировки. Процесс начинается с детального геологического обследования района, где планируется проведение взрывных работ. Проводится анализ физических характеристик грунта и породы, что позволяет выбрать наиболее эффективные типы взрывчатых веществ и схемы их размещения. Затем осуществляется бурение скважин, в которые закладываются заряды.

После подрыва происходит рыхление материала, что облегчает его механическую обработку и транспортировку. Эффективность подрывания значительно зависит от точности расчётов, а также качества используемых материалов. Действие взрыва (рис. 1) характеризуют величиной отношения $n = r/h$, называемой показателем действия взрыва (показателем выброса). При $n = 1$ - заряд и воронка нормального выброса; при $n > 1$ - усиленного выброса и при $n < 1$ - уменьшенного выброса.

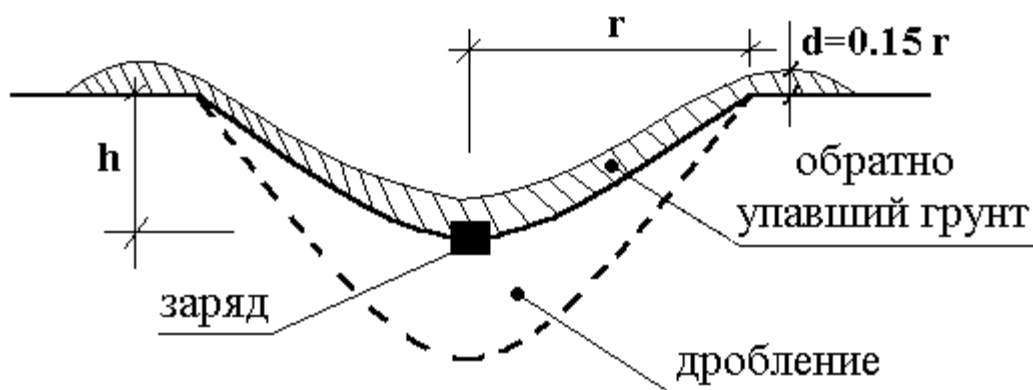


Рисунок 1 – Действие взрыва на грунт

При $n = 0,35-0,75$ не происходит выброса породы, а только рыхление в объеме воронки и выпучивание на поверхности, а при $n < 0,35$ происходит разрушение ограниченной части породы вблизи заряда. Масса заряда определяется по формулам, которые являются функциями удельного расхода ВВ, объема взрываемой породы и назначения взрыва (выброс, рыхление или камуфлет). Наиболее распространённые методы производства работ при подрывании грунтов (пород) на рыхление указаны в табл. 1.

Таблица 1 - Методы рыхления грунта

<p>Метод шпуровых (котловых) зарядов</p>	<p>Применяются цилиндрические заряды или буровые 75 г тротильные пашки, которые закладываются в шпур, выбуриваемые в разрыхляемом массиве.</p>
---	--

Метод котловых зарядов	В нем применяют сосредоточенные заряды, помещают в котлах, образованных путем прострела шпуров малыми зарядами. Котловые шпуры в крепких породах забиваются полностью (до устья). В породах средней крепости и в более слабых забивка может быть неполной.
Метод зарядов в рукавах (метод малокамерных зарядов)	Заряды, предназначенные для рыхления грунта, закладываются в горизонтальные или слегка наклонные выработки (рукава) сечением до 0,5х0,5 м. Длина рукавов принимается равной от 0,5 до 0,8 высоты подрываемого уступа, но не более 5 м; при этом линия наименьшего сопротивления h принимается равной длине рукава, а показатель действия взрыва n – в пределах 0,75-1,0.
Метод скважинных зарядов	Удлиненные заряды рыхления закладываются в цилиндрические углубления (скважины) диаметром более 75 мм. Обычно применяются вертикальные скважины диаметром 75-300 мм (чаще всего 200 мм) и длиной от 10 до 30 м.
Метод камерных зарядов	В разрабатываемой породе выделяются вертикальные колодцы (шурфы) или горизонтальные галереи (штольни), из которых в боковых направлениях устраиваются большие зарядные камеры для размещения крупных сосредоточенных зарядов.

При разработке котлованов, траншей, выемок и др. рыхлением породы с одновременным выбросом в зависимости от их поперечного профиля и ширины избирают одно-, двух- или трехрядное расположение зарядов. Если нужно получить поперечный профиль треугольного сечения, прибегают к однорядному взрыву сближенных зарядов. Для получения трапециевидного сечения заряды располагают в два или три ряда. Располагать заряды больше чем в три ряда не рекомендуется, так как в этом случае значительное количество грунта падает обратно в выемку. При трехрядном взрывании заряды среднего ряда располагают в шахматном порядке и вес ВВ увеличивают на 25-50 % по сравнению с весом зарядов крайних рядов. Заряды среднего ряда взрывают с замедлением на 2 - 4 с после взрыва крайних рядов.

Чтобы произвести направленный выброс грунта в одну сторону, необходимо, по меньшей мере, двухрядное расположение зарядов. Взрыв начинается с зарядов со стороны направленного выброса, а через 2 - 4 с выполняют взрыв зарядов другого ряда. При этом грунт, поднятый при взрыве первого ряда, перемещается в сторону выброса энергией взрыва второго ряда.

Решение практической задачи

Требуется произвести рыхление мерзлого грунта шпуровыми зарядами для последующей отрывки экскаватором котлована под сооружение из КВСУ. Размеры площадки рыхления: длина – 5 м; ширина - 2 м. Грунт – суглинок, глубина промерзания 0,7 м. Определить расход ВВ, СВ и показать схему расположения зарядов.

ДАНО:

$l = 5$ м

$$B = 2 \text{ м}$$

$$H_{\text{МГ}} = 0,7 \text{ м}$$

$$C_{\text{общ}} - ? \text{ СВ} - ?$$

Последовательность расчета

1. Расчетная схема (рис. 2).



Рисунок 2 – Расчетная схема подготовительных работ

2. Масса одного заряда (коэффициенты K , M и a выбираем по соответствующим таблицам Руководства по взрывным работам):

$C = KMh^3 = 1 \times 0,46 \times 0,5^3 = 0,006 \text{ кг}$ (принимаем $0,075 \text{ кг}$, т.е. одна 75 г шашка)

$K = 1,0 \text{ кг/м}^3$ т.к. для зарядов рыхления $0 \leq n \leq 1$, то принимаем $n = 0,5$, тогда $M = 0,46$

$$h = 3/4 H_{\text{МГ}} = \frac{3 \cdot 0,7}{4} \approx 0,5$$

3. Расстояние между зарядами в ряду

$$a_n \approx (0,8 \dots 2) h; a_n = 2h = 2 \times 0,5 = 1 \text{ м.}$$

4. Расстояние между рядами

$$a_p \approx h = 0,5 \text{ м}$$

5. Количество зарядов в ряду

$$N = \frac{l}{a_n} = \frac{5}{1} = 5 \text{ зарядов}$$

6. Количество рядов

$$N_p = \frac{B}{a_p} = \frac{2}{0,5} = 4 \text{ ряда}$$

7. Общий расход ВВ

$$C_{\text{общ}} = C \times N \times N_p = 0,075 \times 5 \times 4 = 1,5 \text{ кг (или 20 шашек по 75 г)}$$

8. Расход СВ

в качестве СВ принимаем электродетонаторы ЭДП-р

$$N_{\text{СВ}} = N \times N_p = 5 \times 4 = 20 \text{ ЭДП-р}$$

9. Примерное размещение подрывных зарядов показано на рис. 3.

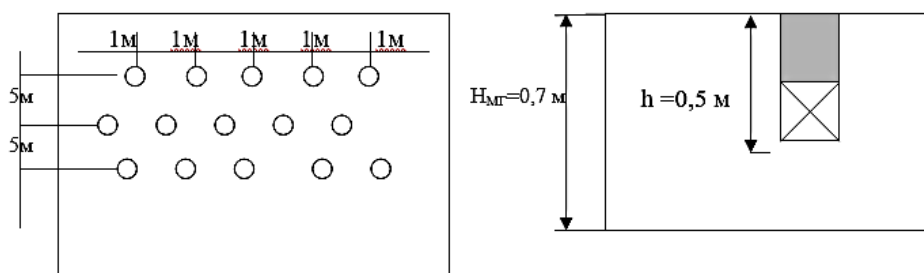


Рисунок 3 - Схема расположения зарядов

Выводы. Важно отметить, что взрывные работы требуют строгого соблюдения техники безопасности и экологических норм, так как они могут оказывать значительное воздействие на окружающую среду. Поэтому перед проведением взрывных работ необходимо проводить тщательные исследования, чтобы минимизировать возможные негативные последствия, такие как шум, вибрация и выбросы пыли. Таким образом, взрывной метод является мощным инструментом в горной и строительной отраслях, позволяющим эффективно и быстро решать задачи, связанные с рыхлением и перемещением скальных пород. Однако его использование должно быть обоснованным и безопасным, чтобы избежать негативного воздействия на окружающую среду и здоровье людей.

Список литературы:

1. Инженерное обеспечение боя : учебник / С. Р. Кудряшов, Р. С. Федюк, П. Г. Козлов, А. Г. Примчук. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "КноРус", 2025. – 384 с. – ISBN 978-5-406-13714-7. – EDN EKYNFM.
2. Воздействие сейсмозрывных волн на основание зданий и сооружений / И. А. Выходцев, А. М. Демкин, А. В. Мочалов, П. Г. Козлов // Инженерное дело на Дальнем Востоке России : Материалы конференции, Владивосток, 21–27 января 2024 года. – Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2024. – С. 105-109. – EDN VPVDQP.
3. Крылов, В. В. Проведение буровзрывных работ в горном деле / В. В. Крылов // Военно-инженерное дело на Дальнем Востоке России: Материалы II научно-практической конференции, Владивосток, 16–21 апреля 2018 года. – Владивосток, 2018. – С. 161-165. – EDN YUGPRJ.
4. Кутумов, А. А. Аналитический обзор исследований разрушения мерзлых грунтов ударной нагрузкой / А. А. Кутумов, Э. А. Абраменков, В. В. Коробков // Труды Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин). – 2002. – Т. 5, № 6. – С. 6-20. – EDN TYGXAR.
5. Примчук, А. Г. Средства механизации земляных работ в условиях скального грунта Дальнего Востока / А. Г. Примчук, В. О. Алехнович // Инженерное дело на Дальнем Востоке России : Материалы конференции,

Владивосток, 21–27 января 2024 года. – Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2024. – С. 353-360. – EDN NIXSGA.

Служаев В.В., Кузнецов В.А., Козлов П.Г. ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МИВ В РАЙОНАХ ПУСТЫННО-ПЕСЧАНОЙ МЕСТНОСТИ

¹Служаев Владислав Владимирович, ¹Кузнецов Владимир Алексеевич,
²Козлов Павел Геннадьевич

¹Тюменское высшее военно-инженерное командное ордена Кутузова училище
имени маршала инженерных войск А.И. Прошлякова,
625001, Российская Федерация, г. Тюмень ул. Льва Толстого, д. 1

²Дальневосточный федеральный университет, Военный учебный центр,
690922, Российская Федерация, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский,
п. Аякс, 10

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы влияния климатических и дорожных условий на работоспособность машин инженерного вооружения, выполнения мероприятий по повышению эффективности использования машин инженерного вооружения.

Ключевые слова: машины инженерного вооружения (МИВ); задачи инженерного обеспечения; Сирийская Арабская Республика (САР).

Предназначение машин, используемых в инженерных войсках, обуславливает необходимость поддержания их в работоспособном состоянии и постоянной готовности к применению в любых условиях эксплуатации [1]. Это показали действия инженерных подразделений оказывающие гуманитарную помощь в Сирийской Арабской Республике, где климатические условия и местность требуют внимательного и серьезного отношения к эксплуатации инженерной техники [5].

Под условием эксплуатации машин следует понимать:

- характер (вариант) использования;
- интенсивность использования;
- виды нагрузок и порядок их чередования;
- тактическая обстановка и характер воздействия противника;
- параметры внешней среды;
- система и культура обслуживания;
- квалификация водителей, механиков-водителей, обслуживающего

персонала, их техническая оснащенность и др. [2].

В пустынно-песчаных районах с жарким климатом (САР), слабо развитой сетью дорог, затрудняется подготовка машин к использованию и их вождение, ухудшаются эксплуатационные качества горючего и смазочных материалов, повышаются напряженность работы и интенсивность изнашивания агрегатов, механизмов и деталей, увеличивается количество неисправностей, затрудняются

их выявление и устранение, усложняются работы по обслуживанию и ремонту машин, условия труда водителей и обслуживающего персонала, повышается расход запасных частей и материалов на обслуживание и ремонт, снижается надежность, работоспособность и эффективность использования машин.

Для обеспечения надежности и работоспособности машин в сложных условиях эксплуатации, поддержания их в постоянной готовности к использованию проводится комплекс организационно-технических мероприятий, включающий;

- проведение занятий с командирами подразделений инженерных войск по вопросам эксплуатации машин в предстоящий период с обязательным доведением до них руководящих документов;

- порядок и время проведения сборов водителей машин инженерного вооружения, лиц ответственных за проведение занятий с механиками-водителями, перечень тем и количество часов;

- подготовка элементов парков подразделений инженерных войск с точным указанием объемов, сроков выполнения работ и исполнителей, порядок снабжения необходимыми материалами;

- конкретные задачи личного состава подвижных средств технического обслуживания машин с обязательным указанием сроков выполнения работ в каждом подразделении;

- порядок контроля за ходом сезонного технического обслуживания машин инженерного вооружения;

- сроки окончания работ.

Исходя из всех положений, НЗ предусматривает проведение различных мероприятий, характерных для районов с жарким климатом.

К районам жаркого климата и пустынно-песчаной местности относятся жаркий, сухой и очень жаркий сухой районы, которые занимают около 10 % территории страны.

В этих районах преимущественно равнинный характер рельефа, широко распространены песчаные, лесные и засоленные грунты, скудная растительность и безводность. Климат резко континентальный, осадки редки и незначительны (60-150 мм в год), до 90 % осадком приходится на зиму и весну, частые ветры большой интенсивности до 30 м/с, дующие в течение 120 дней в году, имеет место движение не закрепленных и частично закрепленных песков, засыпающих дороги, колодцы и иногда целые поселения.

Открытые водоемы в пустынях и сухих степях встречаются редко и главным образом на их окраинах. Вода из местных источников содержит большое количество разных солей и не пригодна как для питья, так и для заправки машин [3].

Для районов с сухим, жарким климатом характерно не только высокая температура воздуха (до 40-50 С в тени), но и низкая его влажность, высокая запыленность, а также солнечная радиация и неблагоприятные дорожные условия пустынно-песчаной местности при не несоблюдении специальных рекомендаций отрицательно влияющих на работоспособность машин:

- вследствие уменьшения плотности рабочей смеси при повышении

температуры окружающего воздуха до 40-45С мощность двигателя уменьшается на 15%;

- возможны перебои в работе двигателя из-за образования паровых пробок в бензонасосе и топливопроводах;

- возможен повышенный (в 2 раза и более) износ цилиндров, поршневых колец, шеек карданного вала и вкладышей подшипников при работе двигателя под нагрузкой в условиях сильной запыленности воздуха (2-3г на метр);

- снижается эффективность работы системы охлаждения, температура охлаждающей жидкости может достигать 109-1190 С, в результате чего в камере сгорания и на клапанах происходит интенсивное нагарообразование;

- частая доливка воды приводит к быстрому образованию накипи в системе охлаждения;

- интенсивное старение масел из-за быстрого их окисления вызывает отложение на поверхность деталей смолистых веществ и механических примесей, быстрое засорение масляных каналов и фильтров;

- высокая температура воздуха и наличие паров топлива в подкапотном пространстве двигателя (80-1000 С) повышает пожарную опасность, вызывает быстрое старение и разрушение электроизоляционных материалов, повышенное испарение дистиллированной воды и саморазряд аккумуляторных батарей.

При движении машин, на грунте образуется толстый слой очень мелкой пыли, при чем, взвешенная в воздухе, эта пыль долго не оседает, в безветренную погоду – в течение 2-3 часа; при ветре видимость еще более ухудшается. Попадание пыли в приборы электрооборудования вызывает быстрый износ их деталей, приводит к неисправностям в системах зажигания и электрооборудования.

Эксплуатация машины в жарких условиях, необходимо своевременно очищать и мыть их, обслуживать воздухоочистители и фильтры, принимать меры по предупреждению попадания пыли в машину, ее агрегаты и системы, тщательно проверять неисправность всех приводов управления. Происходит повышенное испарение тормозной жидкости, вследствие чего в гидравлическом и пневмогидравлическом тормозных приводах, образуются паровые пробки, вызывающие отказы в работе рабочих тормозов.

Увеличивается склонность рабочих жидкостей в гидроусилителе рулевого привода к пенообразованию, вследствие чего снижается рабочее давление, возрастает отложение смол, ухудшается работоспособность гидроусилителя.

Пластичные смазки расплавляются или вытекают из сочленений рулевых тяг при температуре: солидолы-70-75⁰ С, смазки 1-13 и ЯНЗ-2-120⁰ С, консталин и дитол – 24-130⁰ С.

Вязкость трансмиссионных масел в агрегатах при температурах, достигающих 120-140С, значительно снижается, что способствует подтеканию масел через сальниковые уплотнения. В гидродинамических коробках передач увеличивается склонность масел к пенообразованию, что ухудшает работоспособность гидросистем. [5]

Ухудшается эластичность шин, диафрагм тормозных камер, сальников, манжет, приводных ремней, обивочных материалов, пластмассовых деталей. Детали из дерева рассыхаются и расклеиваются, а краски выцветают.

Проезжимость песчаных и солончаковых грунтов во многом зависит от времени года и погоды.

Песчаные районы становятся более проезжими в период дождей и делаются труднопроезжими в сухую погоду, особенно на участках с сыпучими песками.

Солончаковый грунт в сухую погоду делается твердым и проезжимым, но зато в сырую погоду поверхность солончаковых грунтов быстро размокает и движение машин на определенный отрезок времени практически исключается.

Автомобильные дороги проходят главным образом по окраинам пустынь.

Большая часть дорог представляет собой грунтовые дороги, накатанные по целине, реже встречаются гравийные дороги.

Эксплуатация МИВ в условиях жаркого климата и повышенной запыленности воздуха требует проведения специальных организационных и технических мероприятий.

Техническое обслуживание № 1 и № 2 проводится с уменьшенной периодичностью по сравнению с обычными условиями: для автомобилей на 30-35%, гусеничных машин и тракторов на 20-25%. Причем, затрачивается примерно на 25% больше времени, так как значительно чаще (почти в два раза) приходится смазывать втулки осей балансиров и подшипники механизмов включения фрикционов, промывать фильтры и доливать дистиллированную воду в аккумуляторы. Дополнительно проводятся работы по обдувке механизмов сжатым воздухом, фильтрация воды, промывка шарниров и замена масла в двигателях, с промывкой системы смазки. [1]

В условиях жаркого климата особый контроль осуществляется за работой и обслуживанием системы охлаждения двигателя и его температурным режимом. Ежедневно проверяется натяжение ремня и уровень охлаждающей жидкости. При подготовке машин к летнему периоду эксплуатации, система охлаждения проверяется на герметичность, а пробки радиаторов – на давление срабатывания паровоздушных клапанов; при необходимости система охлаждения промывается для удаления накипи. Для уменьшения накипобразования системы охлаждения заправляют и дозаправляют водой с 3-х компонентной присадкой. Накипь удаляют промывкой системы специальными растворами, разрушающими ее.

Химические реагенты и особенно соляная кислота, применяемые для удаления накипи и вызывающие повышенную коррозию деталей системы охлаждения, применяются с ингибиторами, уменьшающими коррозионную агрессивность растворов. В качестве ингибиторов используется технический уротропин, состав ПБ-8 и другие.

Для армейских машин рекомендуются следующие составы растворов:

- 40 - 80 г хромпика на 10 л воды для двигателей КамАЗ-740;
- 20 г технического Трилона «Б» на емкость системы охлаждения для двигателей ЗИЛ;
- накипеудалющий раствор, включающий соляную кислоту,

ингибитор ПБ-5, уротропин и пеногаситель и нейтрализующий раствор из кальцинированной соды и хромпика для двигателей Урал.

Машины, убывающие в рейс, в условиях жаркого климата должны обеспечиваться одной заправкой умягченной воды для дозаправки системы охлаждения в пути.

В условиях повышенной запыленности воздуха проводятся мероприятия, снижающие вредное влияние пыли на систему и механизмы машины.

Для защиты загрязнения топлива, масел и рабочей жидкости необходимо правильно организовать их заправку и хранение, предупреждающих внесение абразивных частиц и других механических примесей в картер механизмов системы машин. Дизельное топливо после слива в емкости пункта заправки должно отстояться в течение 5-6 суток. Топливные фильтры, фильтры систем смазки и гидросистем промываются с меньшей периодичностью. Фильтры и отстойники системы питания на автомобилях промываются через 350-400 километров, на гусеничных машинах через 250 – 300 километров пробега.

Снижение вязкости масел, рабочих жидкостей и топлива с повышением температуры воздуха увеличивает возможность их подтекания через прокладки, сальники и другие соединения. Поэтому необходимо постоянно следить, чтобы не было нарушений герметичности соединений и крышек заправочных горловин.

Воздухоочистители двигателей в условиях пыльных дорог обслуживаются ежедневно с промывкой фильтра и, при необходимости, с заменой масла.

В связи с ограниченным количеством воды в пустынно-песчаной местности мойку и очистку машин рекомендуется проводить с применением сжатого воздуха и водо-воздушной смеси. Расход воздуха при обдувке (давление 5кгс/м) составляет 0,5 метра в минуту, а время на обработку одной машины до 15 минут. Применение водо-воздушной струи и специальных моечных щеток с подводом сжатого воздуха значительно сокращает расход воды.

Солончаковую пыль рекомендуется сдувать с поверхности машин сжатым воздухом, так как при смывании водой образуются растворы, усиливающие коррозию металлов. Необходимо тщательно удалять пыль с поверхности радиатора и двигателя. Следует очищать от пыли отверстия сапунов агрегатов и вентиляционные отверстия аккумуляторных батарей. В условиях жаркого климата через 2-3 дня в аккумуляторных батареях проверяется уровень электролита и при необходимости доводить его до нормы доливом дистиллированной воды.

Высокая температура и большая запыленность воздуха, плохие дорожные условия значительно снижают работоспособность водителей и эффективность использования машин.

Температура воздуха в кабине на уровне головы водителя может достигать 60С. Сочетание высокой температуры, запыленности и низкой влажности воздуха в кабине, а также большая солнечная радиация и разнообразие местности вызывают быстрое утомление водителя и появление головной боли. Работоспособность водителя снижается, кроме того, из-за плохих дорожных

условий и плохой видимости, особенно, при движении в колонне, вследствие большой запыленности воздуха. При содержании пыли в воздухе 0.8-1.0 г/м предел видимости перед автомобилем составляет 5...8м. Водители имеют мало времени для отдыха на привалах, вследствие увеличенного объема работ по осмотру машин и устранению дорожных неисправностей и отказов.

В целях повышения надежности работы и повышения эффективности использования машин при эксплуатации в пустынно-песчаной местности, они оборудуются средствами защиты агрегатов и механизмов от пыли и средствами повышения проходимости.

Для предупреждения попадания пыли рекомендуется закрывать специально изготовленными чехлами из плотной ткани, распределитель зажигания, шарниры карданных валов, сочленения рулевых тяг, шаровые опоры передних мостов, сетчатый фильтр – тормозной кран пневматического привода тормозов, корпус бензонасоса, аккумуляторную батарею, салоны агрегатов и др.

Машины укомплектовываются укрывочными брезентами для защиты груза от пыли, подкладками под домкрат, емкостями под умягченную воду для системы охлаждения автомобилей и питьевую воду. Системы охлаждения автомобилей могут оборудоваться конденсационными бачками.

Для повышения проходимости в песках, автомобили оснащаются колейными дорожками из метал. сетки, противобуксаторами, самовытаскивателями, а гусеничные машины – бревнами с комплектом цепей для крепления бревен к гусеницам.

Для предотвращения перегрева двигателя следует:

- поддерживать требуемый уровень охлаждающей жидкости;
- увеличивать давление открытия парового клапана на 0,2-03 кгс/см;
- перед каждым выходом контролировать натяжение ремней вентиляторов или момент пробуксовки фрикциона вентилятора на танках [1].

В качестве подтверждения вышесказанного можно привести, как пример, операции в Сирийской Арабской Республике.

Пустынная местность в районах зыбучих песков и обширных солончаков, пересеченная сухими руслами и оврагами, явилась серьезными препятствиями для действий сухопутных группировок многонациональных сил.

Так, в результате высоких температур и сильной запыленности воздуха, в 1,5-2 раза увеличивается расход ГСМ, а также запасных комплектов расходных средств и воды. Учащаются случаи преждевременного выхода из строя двигателей, навигационного и другого электронного оборудования техники.

Из-за интенсивного воздействия песка, пыли и высоких температур отмечались частые отказы и выход из строя различных приборов и узлов. Это вызывает сокращение интервалов между регламентными работами на всех видах техники. Выявились также и конструктивные недостатки образцов вооружения [5].

При ведении наступления и движения колонн учитывались такие факторы, как песчаная мгла, миражи, ослепляющий эффект, пылевые завесы. Например, при движении даже одиночной гусеничной машины создается непроницаемая пылевая завеса, которая в безветренную погоду достигает высоты 300-500м. и

держится 20-30 минут. Для снижения ее отрицательного влияния на маневры войск, командование (САР) практикует передвижение механизированных подразделений не колоннами, а в линию или уступами.

Пустыни по своим природным условиям неодинаковы. В зависимости от грунтов различают песчаные, солончаковые и глинистые пустыни.

Песчаные пустыни наиболее распространены. Большую часть их занимают подвижные незакрепленные барханы и дюны, слабо закрепленные (бугристые) и закрепленные (грунтовые) пески. В сухое время года барханы и бугристые пески труднопроходимы. В зимнее время и весной после дождей пески уплотняются и проходимость по ним улучшается.

В низинах пустынно-песчаной местности встречаются солончаки и такыры, которые проходимы для всех видов техники только в сухое время года, в другое время они непроходимы, особенно в период дождей.

Пустынно-песчаная местность характеризуется ограниченным количеством водных источников и плохим качеством воды, которая не может быть использована без предварительной очистки. Каналы, системы искусственного орошения имеют крутые берега и труднопроходимы без предварительной подготовки. Климат пустынно-песчаной местности резко континентальный. Летом температура воздуха достигает до 50С, а грунта до 70С. Сильные ветры (до 15-20м/с и более), достигающие силы урагана, и малое количество осадков обуславливают большую запыленность воздуха. Встречаются явления миража.

Движение машин по пустынно-песчаной местности характеризуется недостаточным сцеплением гусениц (колес) с грунтом, вследствие чего показания спидометров на 10-15% превышают действительно пройденное расстояние. Высокая температура воздуха и сильный нагрев металлических поверхностей машин затрудняют работу водителей.

При вождении машин в пустынно-песчаной местности кроме соблюдения общих правил, изложенных в инструкциях по эксплуатации, водитель должен выполнять следующие правила:

- проверить устойчивость работы двигателя на всех режимах и герметичность системы питания;
- убедиться в исправности централизованной системы регулирования давления воздуха в шинах;
- проверить наличие и исправность средств повышения проходимости машин по песку, а также колеяных мостиков для преодоления арыков, окопов и траншей;
- проверить исправность запасного колеса, домкрата и наличие подкладки под него;
- проверить состояние сапунов картера, агрегатов, трансмиссии и пылезащитных чехлов;
- пополнить запас питьевой кипяченой воды;
- получить брезент для укрытия машин (при наличии);
- перед длительным рейсом получить запас дистиллированной воды для доливки в аккумуляторы и медицинскую аптечку (при наличии) [2].

Для предупреждения перегрева двигателя необходимо чаще очищать

водяной и масляный радиаторы от пыли и масла. Пыль удаляется после каждого выхода независимо от пройденных километров.

В системе охлаждения необходимо систематически проверять регулировку паро-воздушного клапана, а на некоторых гусеничных машинах и момент пробуксовки фрикциона вентилятора.

Особое внимание при подготовке машин к вождению обращать на обслуживание радиаторов. Систему охлаждения необходимо заправлять очищенной (желательно кипяченой) водой с добавлением в нее противокоррозионной присадки.

В условиях сильной запыленности воздухоочистители следует промывать по потребности, как правило, чаще, чем обычно.

При движении колесных машин по песчаной местности для улучшения проходимости, давление в шинах понижается до 1,5-0,75 кгс/см в зависимости от плотности песка и условий движения.

При вождении машин в пустынно-песчаной местности необходимо учитывать следующие особенности:

- возможность буксирования машин при значительном погружении гусениц (колес) в грунт вследствие пониженного (в 2,0-2,5 раза) сцепления на песках и солончаках;

- увеличения сопротивления движению в 1,5-2,0 раза по зыбучим пескам особенно при движении с места;

- высокая температура окружающей среды летом обуславливает повышенный тепловой режим работы двигателя и других агрегатов машин;

- трудность ориентирования ввиду однообразия местности, большой запыленности воздуха, отсутствие ориентиров;

- снижение запаса хода по гусеницам с механическим шарниром в 1,5-2 раза при движении по барханам и зыбучим пескам [3].

Движение машины с места на песчаном грунте нужно начинать на низших передачах, плавно, при необходимости используя рычаги управления; первое положение ПМП замедленной передачи на гусеничных машинах и раздаточной коробки на колесных машинах.

На песчаном грунте быстро теряется инерция, поэтому для переключения передач выбираются ровные участки с твердым грунтом, использовать уклоны и спуски с барханов.

При вождении по такой местности выбирать для движения по возможности ровные участки с растительным покровом. В песках двигаться по межгрядовым понижениям, перемычки пересекать в более низких местах. Солончаки, мокрые такыры и глинистые участки по возможности обходить или преодолевать их после разведки, используя средства повышения проходимости.

Подсохшие солончаки и такыры с крепкой верхней коркой преодолевать по краю на максимальной скорости без поворотов, остановок и резкого изменения скорости движения.

По незакрепленным пескам, мокрому такыру и солончакам двигаться прямолинейно, избегая резкого изменения скорости движения и торможения.

Если двигатель не развивает необходимой мощности, перейти на низшую

передачу или перевести рычаги управления в промежуточное положение, а на машинах с ПМП - в первое положение, включить замедленную передачу (на гусеничной машине) и продолжить движение до набора двигателем эксплуатационных оборотов, после чего вернуть их в исходное положение.

При буксовании колес (гусениц) остановить машину, расчистить песок и подложить под колеса (гусеницы) доски, маты или другие подручные материалы.

При зарывании тягача с артиллерийским орудием или прицепом в песок, орудие (прицеп) отцепить, тягач вывести на более плотный грунт и с помощью лебедки перетащить орудие (прицеп) через труднопроходимое место.

При длительной работе гусеничных машин на песчаной местности использовать шпоры (грунтозацепы) и уширители гусениц. Разъезд со встречными машинами выполнять на малой скорости.

В дождливую погоду или после дождя перед преодолением солончаковых участков надеть цепи противоскольжения и двигаться с повышенной скоростью, не сворачивая с колеи. При полной потере видимости остановить машину и продолжать движение после достаточной видимости.

Для поворотов на песчаном грунте рекомендуется использовать выпуклости, неровности, когда с грунтом соприкасается не вся опорная поверхность гусеницы, а только ее середина.

Повороты производить в несколько приемов (ступенчато), многократным торможением гусеницы. После каждого притормаживания продвигать машину вперед не менее чем на половину длины корпуса.

Высокие барханы преодолевать по выпуклой стороне на низших передачах без остановки, направляя машину под прямым углом к вершине бархана и избегая разбитой колеи.

Перед спуском с бархана, имеющего крутизну ската более 30 градусов, на машинах с башней необходимо развернуть ее пушкой назад.

Маневрировать необходимо таким образом, чтобы не допускать застревания при крутом повороте на сыпучем песке, при движении с креном на бархан, в узкой выемке при крутом повороте на солончаке или мокром такыре. Резкий поворот машины на песчаном грунте вызывает перегрузку двигателя и силовой передачи. Это создает опасность повреждения бортовой передачи, опорных катков и траков гусеничных машин или ведущих мостов у колесных машин.

Дальнейшее движение возможно только после очистки гусениц (колес) от песка.

Движение по косоугору бархана даже с малым углом наклона вызывает сползание машины и зарывание гусениц, вследствие чего возможен разрыв гусеницы (колеса) и в случае буксовании прибегнуть к помощи тягача.

Узкие выемки преодолеваются с использованием инерции машины. Колесные машины должны их обходить по возможности или пропускать между колес.

Крутой и резкий поворот на солончаке (мокрое такыре) приводит к разрушению верхней корки, и машина может сесть на днище (мосты). При таком застревании необходимо попытаться выйти задним ходом. Если гусеницы (колеса) пробуксовывают, то машина эвакуируется с помощью средств

самовытаскивания, тягача или лебедки.

При движении колонны в условиях сильной запыленности дистанция между машинами увеличивается, включаются габаритные фонари, при этом водитель сзади идущей машины должен держаться края пылевого облака и двигаться уступом.

В частично закрепленных или неглубоких сыпучих песках двигаться по одной колее. По глубине погружения гусениц (колес) впереди идущей машины нужно оценивать твердость грунта и выбрать место для переключения передач и поворотов.

При преодолении барханов в составе подразделений необходимо следить за состоянием колеи. После прохода нескольких машин она (колея) разбивается, и поэтому следующая машина должна двигаться правее или левее прошедших на 1-3 метра [3].

Движение по солончаку или мокрому такыру по одной колее не допускается.

На привалах и остановках выполнить следующие мероприятия:

- продуть сжатым воздухом радиатор и двигатель;
- проверить исправность защитных чехлов;
- протереть стекла и внутренние поверхности кабины от пыли;
- проверить уровень и при необходимости долить дистиллированную воду в аккумуляторы;
- при длительной остановке по указанию командира укрыть машину брезентом.

После завершения марша или рейса выполнить ежедневное техническое обслуживание № 1 или № 2 и подготовить машину к выполнению последующей задачи.

Таким образом, исходя из опыта ведения боевых действий в Афганистане и последнее время в Сирийской Арабской Республике, можно сделать вывод, что правильная и технически грамотная эксплуатация машин инженерного вооружения является составной частью инженерно-технического обеспечения войск, имеет целью обеспечить успешное и качественное выполнение поставленных задач по инженерному обеспечению боевых действий войск и сохранению при этом машин в постоянной исправности и готовности к дальнейшим действиям.

В процессе эксплуатации необходимо строго поддерживать установленный уровень готовности и надежности инженерной техники.

Особое значение это требование приобретает в условиях боевой деятельности войск, когда напряжение в работе машин резко возрастает, а условия для обслуживания и ухода за машинами усложняются.

Организация эксплуатации инженерной техники предполагает разработку и осуществление комплекса мероприятий по обеспечению надежной работы и сохранению машин с момента поступления в подразделение до выхода в плановый ремонт или списание по амортизационному износу.

Эксплуатация инженерной техники включает в себя вопросы эффективного использования машин по прямому назначению в различных дорожных и

климатических условиях и в условиях боевой деятельности войск, технического обслуживания, хранения и транспортировки.

Знание основ организации правильной эксплуатации инженерной техники, является необходимым условием успешного выполнения задач по инженерному обеспечению боевых действий войск [4].

Из этого следует, что офицеры инженерных войск должны знать и уметь правильно организовать эксплуатацию инженерной техники.

Список литературы

1. Бородин Н.Г., Ольшанский А.В. Машины инженерного вооружения ч.1 М., Воениздат, 1987.
2. Лобов А.Г., Николаев В.Н. Машины инженерного вооружения. Книга первая, Москва, ВИА, 1970.
3. Чуев Ю.В. Исследование операций в военном деле, Воениздат., 2007.
4. Бородин Н.Г., Топилин Н.Г. Развитие техники инженерных войск Российской Армии 2016.

Ильинский Ю.Ю., Красиков Д.Н. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ МЕТАЛЛА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

*Ильинский Юрий Юрьевич, Красиков Дмитрий Николаевич,
Дальневосточный федеральный университет, Военный учебный центр,
690922, Российская Федерация, Приморский край, г. Владивосток,
о. Русский, п. Аякс, 10*

Научный руководитель: Козлов Павел Геннадьевич

Аннотация. В данной работе исследуются взаимодействия стальных конструктивных элементов, таких как пластины, балки, трубы, стержни и тросы, под воздействием внешних контактных взрывных зарядов. При определенных условиях может произойти сварка этих стальных элементов в процессе их взрыва. Несмотря на свою редкость, данный процесс объясняется физико-химическими реакциями, которые возникают в условиях высокой температуры и давления, сопровождающих взрывное воздействие.

Ключевые слова: взрывчатое вещество, металл, сварка, штамповка, упрочнение

Сварка металлов взрывом, как метод соединения часто используется в специальных условиях, когда традиционные технологии сваривающего процесса не могут быть применены или, когда требуется высокая прочность стыка. Взрывная сварка стала востребованной в таких отраслях, как судостроение, аэрокосмическая промышленность и машиностроение, где необходима надежность и стойкость соединений. Импульсные нагрузки, возникающие при взрыве, позволяют реализовать при обработке металлов физические процессы, не используемые в традиционных методах сварки, штамповки, упрочнения, плакирования, дробления и др. В результате, металлические элементы, казалось

бы, разрушающиеся, подвергаются не только механическим изменениям, но и генерации новой структуры атомов, образуя прочное соединение. В процессе взрывной сварки происходит локализованное разрушение материала, что позволяет осуществлять соединение даже разных по составу металлов, создавая при этом прочные и надежные швы. Применение взрывного штампования способствует получению сложных форм, достигая высокой прочности изделий при оптимизации затрат на сырье.

Обзор литературы

При взаимодействии взрывчатых веществ и различных металлов происходят физические изменения в структуре подрываемых конструкций. Расчет массы зарядов ведется по правилам ведения взрывных работ, установленными в военно-инженерном и горном деле. Это объясняется тем, что энергия взрыва должна концентрироваться на разрушение или соединение металлов [1, 2].

В работе [3] рассматриваются вопросы применения взрывов металлических конструкций и арматуры при реконструкции зданий и сооружений.

Опыт применения сварки металлов взрывом сотрудниками лаборатории импульсной обработки металлов (ЛИОМ), представлен в работе [4], в которой на основе анализа обширных экспериментальных данных разработана методика определения оптимальных технологических параметров сварки взрывом различных пар металлов.

Авторами [5, 6] установлены параметры сварки взрывом листов и труб из жаропрочных сплавов с высокопрочной сталью; закономерности формирования правил сварки взрывом для получения многослойных композиций, обладающих высоким ресурсом трещиностойкости.

Материалы и методы

Сварку и штамповку металла взрывом осуществляют при непосредственном контакте ВВ и металла или при передаче энергии взрыва через промежуточную среду (вода, масло, воздух). Используя взрывные волны, инженеры могут создавать соединения и формованные изделия, недоступные для традиционных методов. Однако данная технология требует тщательного расчета и контроля, поскольку неправильное применение может привести к нежелательным последствиям. Внимательное изучение характеристик материалов и режимов взрыва является ключевым фактором для успешного использования этого инновационного метода в современных производственных процессах.

Обработка металлов в процессе проведения взрывных работ может проводиться с использованием следующих методов:

1. Сварка взрывом однородных и разнородных металлов.
2. Штамповка металла взрывом.
3. Упрочнение металла взрывом.

1) Сварка взрывом.

Взрывной метод сварки позволяет соединять как однородные, так и разные металлы, которые не поддаются традиционным методам соединения (например, сталь с медью или алюминий со сталью). Этот способ дает возможность создавать как биметаллические, так и многослойные конструкции из различных

металлов. Процесс сварки при помощи взрыва характеризуется высоким уровнем скорости и приводит к возникновению волн на поверхности контакта. Для соединения крупных деталей применяется контактный метод, в то время как листовые материалы и фольга, как правило, соединяются дистанционно с использованием промежуточной среды. При сварке металлические пластины располагаются параллельно или под углом $5\text{—}15^\circ$ друг к другу, причем нижняя пластина устанавливается на прочную основу, а заряд взрывчатого вещества размещается на верхней. Взрывная сварка эффективна для работы с многослойными и композиционными материалами, обеспечивая соединение элементов на всей их поверхности.

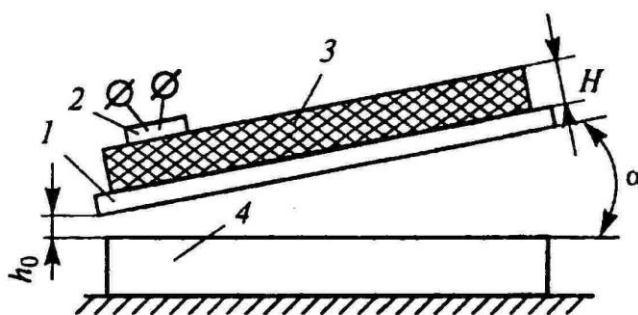


Рисунок 1 - Сварка взрывом

1 – верхняя заготовка; 2 – детонатор; 3 - слой ПВВ-5А; 4 - нижняя заготовка (свариваемая пластина)

Как подготовить заготовки к обработке взрывом?

Сварка взрывом подразумевает проведение определенных подготовительных работ, к которым следует отнести следующие процессы:

- предварительно подготавливают фундамент, на котором будет располагаться неподвижная заготовка;
- элементы, которые нужно соединить друг с другом;
- сам взрывчатый элемент;
- детонатор;
- между заготовками придется соблюдать определенное расстояние и угол относительно друг друга.

Стоит отметить, что сваривать можно как небольшие, так и довольно габаритные конструкции, например, многослойные, армированные, цилиндрические и так далее.

2) Штамповка металла взрывом.

Взрывная штамповка металлов позволяет производить изделия практически любого размера (см. рис. 2). Процесс обычно начинается с размещения заготовки на специальной матрице, где она надежно фиксируется. Заряд взрывчатого вещества может находиться либо прямо на заготовке, либо в среде, которая передает давление. В момент подрыва заряд вызывает деформацию заготовки, придавая ей форму матрицы. Взрывные волны создают высокие скорости

изменения формы металла, что в свою очередь улучшает его механические характеристики.

Для штамповки используют бризантные взрывчатые вещества нормальной мощности ПВВ-5а (пластит). Массу заряда и параметры его расположения определяют опытным путем.

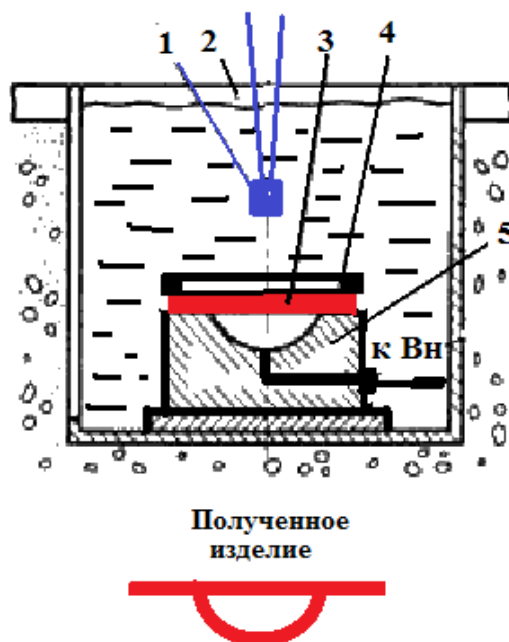


Рисунок 2 - Штамповка металлов взрывом

- 1 – заряд ВВ с электродетонатором; 2 – бассейн с водой; 3 – заготовка; 4 – прижим; 5 – матрица;

Штамповка взрывом осуществляется в бассейнах, наполненных водой. Заготовку, зажатую между матрицей и прижимом опускают в бассейн с водой. Полость матрицы под заготовкой вакуумируется при помощи вакуумного насоса (Вн). Заряд с детонатором подвешивают в воде над заготовкой. Взрыв образует волну высокого давления, которая, достигая заготовки, вызывает ее разгон. Процесс штамповки длится тысячные доли секунды [7].

3) Упрочнение металла взрывом.

Упрочнение металлов взрывом – это передовой метод обработки материалов, основанный на воздействии ударных волн, генерируемых взрывчатыми веществами. В отличие от традиционных методов термообработки, этот процесс обеспечивает уникальное сочетание высокой скорости деформации и сжатия, что приводит к значительным изменениям микроструктуры металла и, как следствие, к улучшению его механических свойств (рис. 3).

Механизм упрочнения достаточно сложен и включает в себя несколько взаимосвязанных процессов. Во-первых, ударная волна, распространяясь в металле, вызывает интенсивную пластическую деформацию, приводя к измельчению зерна кристаллической решетки. Это значит, что крупные кристаллы, обладающие повышенной склонностью к образованию трещин, разрушаются, замещаясь мелкозернистой структурой с более высокими показателями прочности и пластичности [7]. Во-вторых, высокое давление и температура, возникающие при взрыве, способствуют образованию так

называемых "механических двойников" – дефектов кристаллической решетки, которые препятствуют движению дислокаций (линейных дефектов, ответственных за пластическую деформацию), тем самым увеличивая сопротивление металла к деформации и износу.

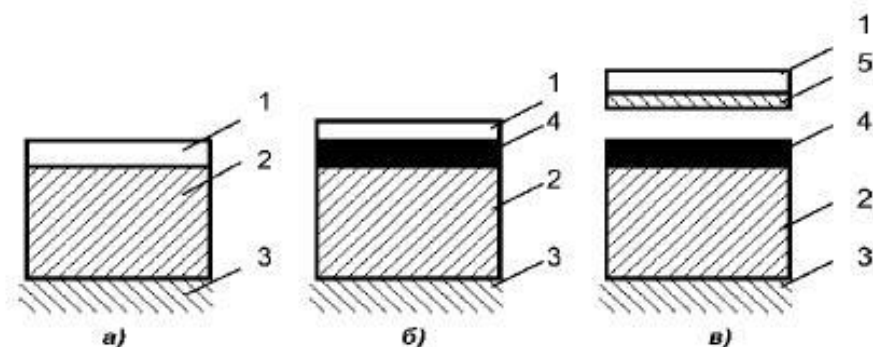


Рисунок 3 – Схема упрочнения металла взрывом:

- а – с укладыванием взрывчатого вещества на поверхность;
- б – с использованием передающей среды; в – с метанием пластины на поверхность; 1 – заряд; 2 – деталь; 3 – опора; 4 – среда; 5 - пластина

Кроме того, в зависимости от типа взрывчатого вещества и параметров взрыва (масса заряда, расстояние до обрабатываемой поверхности, конструкция подложки), можно регулировать глубину проникновения ударной волны и, соответственно, уровень упрочнения. Например, применение более мощных взрывчатых веществ или увеличение массы заряда позволит упрочнить более толстые слои металла. Однако, необходимо учитывать, что чрезмерно интенсивное воздействие может привести к образованию микротрещин и, как следствие, к снижению прочности. Поэтому, для каждого конкретного металла и геометрии детали требуется подбор оптимальных параметров процесса.

В настоящее время взрывное упрочнение широко применяется для повышения износостойкости различных металлических изделий, работающих в условиях интенсивного износа и ударных нагрузок. К таким изделиям относятся, зубья ковшей экскаваторов, детали дробилок (роторы, билы), сварные швы (особенно ответственные, например, в нефтегазовой промышленности), траки гусеничных машин, стрелочные переводы железнодорожного полотна, а также элементы бурового оборудования и многое другое. Применение взрывного упрочнения позволяет существенно увеличить срок службы этих деталей и снизить затраты на их ремонт и замену.

В качестве взрывчатых веществ наиболее часто используются пластичные бризантные ВВ, например, гексопласт ГП-87К, в форме листовых зарядов, характеристика которых приведена в табл. 1, табл. 2.

Таблица 1 – Технические характеристики взрывчатых веществ

Показатели	Аммонит АТ	Гексопласт ГП-87К	Аммонит А-2
расчетные			
Теплота взрыва, кДж/кг	3700	5024	3770
Объем газов, л/кг	930		915

экспериментальные			
Плотность, г/см ²	0,8 - 0,9	1,45 - 1,5	1,85 - 0,95
Работоспособность, см ³	270 - 285	400 - 410	300 - 310
Критическая толщина	10 - 15	3 - 4	35 - 55
Скорость детонации, км/с	1,5 - 3,8	7,0 - 7,5	2,5 - 4,5

Таблица 2 – Расчетный удельный расход ВВ (

Материал	К, кг/см²
Сталь:	
хрупкая, каленая	0,018 - 0,02
вязкая	0,022 - 0,025
Чугун:	
белый	0,012 - 0,014
серый	0,015 - 0,017

Заключение

Выбор типа ВВ определяется необходимым уровнем энергии взрыва и требуемой глубиной обработки металлов. Для эффективного процесса обработки важно обеспечить надёжное прилегание заряда к поверхности обрабатываемой детали, что может потребовать использования специальных подложек и фиксаторов. При промышленных работах обычно пользуются основанием, которое изготавливается из материалов, подлежащих восстановлению в кратчайшее время — это песок, дробь, металлический шлак и так далее.

Процесс обработки металлов требует строгого соблюдения мер безопасности, так как он связан с использованием взрывчатых веществ. Несмотря на кажущуюся простоту, данная технология требует тщательного планирования и контроля на всех этапах, начиная от выбора ВВ и заканчивающим контролем качества обработки. Очень важно правильно хранить взрывчатые вещества, которые используются в работе: они нуждаются в определенных показателях температуры и влажности

Дальнейшие исследования направлены на оптимизацию параметров процесса, расширение спектра обрабатываемых материалов и повышение эффективности метода.

Список литературы:

1. Кутузов, Б. Н. Методы ведения взрывных работ : учебник : в 2 частях / Б. Н. Кутузов. — 3-е изд., стер. — Москва : Горная книга, 2018 — Часть 1 : Разрушение горных пород взрывом — 2018. — 476 с.
2. Инженерное обеспечение боя : учебник / С. Р. Кудряшов, Р. С. Федюк, П. Г. Козлов, А. Г. Примчук. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "КноРус", 2025. – 384 с. – ISBN 978-5-406-13714-7. – EDN EKYNFM.

3. Воздействие сейсмозрывных волн на основание зданий и сооружений / И. А. Выходцев, А. М. Демкин, А. В. Мочалов, П. Г. Козлов // Инженерное дело на Дальнем Востоке России : Материалы конференции, Владивосток, 21–27 января 2024 года. – Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2024. – С. 105-109. – EDN VPVDQP.
4. Бесшапошников, Ю. П. Сварка металлов взрывом / Ю. П. Бесшапошников, Г. П. Берснев // Проблемы недропользования. – 2022. – № 3(34). – С. 55-65. – DOI 10.25635/2313-1586.2022.03.055. – EDN ВРКПН.
5. Малахов, А. Ю. Сварка взрывом жаропрочных сплавов на основе тугоплавких металлов с высокопрочной сталью / А. Ю. Малахов, И. В. Сайков, И. В. Денисов // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2020. – № 11(246). – С. 87-91. – DOI 10.35211/1990-5297-2020-11-246-87-91. – EDN SVKOSS.
6. Дидык, Р. П. Формирование многослойных конструкций сваркой взрывом / Р. П. Дидык, В. А. Козечко // Черные металлы. – 2016. – № 7(1015). – С. 66-70. – EDN WHMNAF.
7. Специальные способы обработки металлов давлением // <https://studfile.net/preview/1675625/>

Рылко А.Г., Нохрин Б.М., Федюк Р.С. ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ ИНЖЕНЕРНОГО ВООРУЖЕНИЯ

*¹Рылко Александр Григорьевич, ¹Нохрин Борислав Михайлович,
²Федюк Роман Сергеевич*

*¹Тюменское высшее военно-инженерное командное ордена Кутузова училище
имени маршала инженерных войск А.И. Прошлякова,
625001, Российская Федерация, г. Тюмень ул. Льва Толстого, д. 1*

*²Дальневосточный федеральный университет, Военный учебный центр,
690922, Российская Федерация, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский,
п. Аякс, 10*

Аннотация: В статье рассматриваются показатели эффективности, применяемые для проведения военно-экономического анализа вновь разрабатываемых или модернизируемых средств инженерного вооружения с целью обоснования качественного и количественного состава этих средств в войсках для решения задач инженерного обеспечения.

Ключевые слова: Военно-экономический анализ, средства инженерного вооружения (СИВ); показатели боевой эффективности; показатели эффективности выполнения инженерных задач; частные показатели эффективности); тактико-технические характеристики (ТТХ).

Военно-экономический анализ вновь разрабатываемых или модернизируемых средств инженерного вооружения (СИВ) является

неотъемлемой частью обоснования качественного и количественного состава этих средств в войсках для решения задач инженерного обеспечения [1;2].

Определение рационального состава инженерного вооружения, с учетом развития средств вооруженной борьбы и характера ведения боевых действий, научно-технических и материальных возможностей, представляет собой сложную задачу, включающую обширный круг самых разнообразных вопросов.

Метод военно-экономического анализа предусматривает применение различных численных показателей, по которым и производится оптимизация решений. Показатели эффективности количественно определяют меру соответствия результатов рассматриваемого процесса поставленной цели. Они являются связующим звеном между целями и анализом.

В области инженерного вооружения (как средств боевого обеспечения) могут в принципе применяться следующие группы показателей:

- показатели боевой эффективности;
- показатели эффективности выполнения инженерных задач;
- частные показатели эффективности.

С помощью показателей боевой эффективности можно оценивать влияние средств инженерного вооружения и способов их применения на выполнение войсками боевых задач [4]. Естественно, что в качестве таких показателей должны использоваться те же, что для оценки эффективности боя или операции (например, вероятность выполнения соединением поставленной задачи, математическое ожидание сохранившейся боевой техники, средний темп наступления войск и т.п.).

В общем виде эффективность боя (операции) может быть представлена величиной $W_6(X, Y, Z)$, которая является функцией способа ведения боевых действий X , способа использования СИВ Y и способа использования других средств обеспечения Z . Тогда показатель:

$$W_B = \max W(x, y, z) \quad (1.1)$$

дает возможность определить боевую эффективность (эффективность выполнения боевой задачи) при данном способе применения СИВ Y и оптимальном способе использования всех других средств – X и Z .

Очевидно, что нужно иметь такой способ использования СИВ, который бы обеспечивал максимум этого показателя.

Во многих задачах эффективность СИВ целесообразно оценивать приращением ΔW_6 показателя (1.1) по сравнению со случаем, когда бой (операция) проводится без применения таких средств, т.е. условно принимается, что вектор $Y=0$. Тогда

$$\Delta W_B = W(x, y, z) - W(x, 0, z) \quad (1.2)$$

или в процентах:

$$\Delta W_B = \frac{W(x, y, z) - W(x, o, z)}{W(x, o, z)} \cdot 100\%$$

Показатель (1.2) удобен тем, что при проведении анализа он непосредственным образом количественно отражает характер повышения боевых возможностей частей и соединений за счет применения СИБ.

С помощью показателя эффективности выполнения инженерных задач оценивается степень выполнения войсками задач инженерного обеспечения боя и операции. Сюда могут быть отнесены:

вероятность выполнения инженерной задачи:

$$W_u = P(A) \quad (1.3)$$

где: событие А – инженерная задача выполнена.

математическое ожидание объема Q выполнения инженерной задачи:

$$W_u = M[Q] \quad (1.4)$$

В ряде случаев, если заранее известен (или установлен по определенным соображениям) требуемый объем $Q_{тр}$ инженерной задачи, то удобно пользоваться в качестве показателя эффективности математическим ожиданием относительной доли (в процентах) выполнения рассматриваемой задачи, т.е.

$$W_u = M\left[\frac{Q}{Q_{тр}}\right] \times 100\% \quad (1.5)$$

Примерами показателей эффективности инженерных задач могут служить: вероятность обнаружения замаскированного объекта, вероятность устройства прохода в минном поле, ожидаемое количество возводимых фортификационных сооружений на позициях войск за определенное время и ряд других подобных показателей [3].

Частные показатели позволяют оценить отдельные, интересующие нас стороны при использовании тех или иных СИБ в ходе выполнения задач (например, пропускная способность мостовой переправы, коэффициент использования землеройной техники при оборудовании позиций войск, защитные свойства фортификационных сооружений и т. п.). Эти показатели могут быть выражены в виде, как случайных, так и неслучайных величин.

Для оценки затрат, связанных с применением СИБ, применяется ряд экономических показателей [2]. Основными из них являются:

- денежные затраты на отдельный образец;
- денежные затраты на выполнение задачи;
- трудовые затраты на выполнение задачи.

Денежные затраты на отдельный образец слагаются из стоимости его разработки, отнесенной к объему серийных поставок образца, его оптовой цены и стоимости хранения.

Денежные затраты на выполнение задачи выражаются в виде сложной функции, зависящий от характера и объема выполняемой задачи, количества и стоимости используемых при этом средств, их потерь в ходе боевых действий, эксплуатационных затрат и других факторов.

Трудовые затраты на выполнение задачи выражаются в виде потребного количества человеко-часов (человеко-дней) или количества привлекаемого для этого личного состава. Этот экономический показатель позволяет оценивать, в какой мере те, или иные средства позволяют освободить личный состав подразделений от ручного труда или обслуживания инженерной техники.

При проведении военно-экономических обоснований выбор показателя эффективности имеет важное значение. Необоснованный, случайный выбор показателя эффективности может привести к ошибочным, бесполезным результатам [1].

Конкретные виды показателей выбираются в зависимости от решаемых задач. При этом должно соблюдаться основное требование к показателю – его критичность, т.е. чувствительность к изменяемым параметрам; чем критичность выше, тем лучше. Показатель, кроме того, должен быть максимально простым. Введение в него второстепенных величин может усложнить анализ, не приводя ни к каким уточнениям результатов.

Необходимо по возможности всегда стремиться использовать показатели боевой эффективности. Особенно это важно, когда стоит вопрос о создании принципиально нового и дорогостоящего средства или об определении объемов и содержания выполняемых задач инженерного обеспечения. Вместе с тем нужно иметь в виду, что вычисление показателей боевой эффективности требует составления сложных моделей функционирования боевых и обеспечивающих средств вооружения и не всегда удастся учесть влияние интересующих нас «инженерных параметров» в совокупности множества других факторов.

Показатели эффективности инженерных задач следует использовать главным образом при оптимизации тактико-технических характеристик (ТТХ) образцов техники, определении целесообразности замены старых образцов новыми, выборе лучшего способа их применения и т.д.

При отсутствии соответствующих математических моделей для анализа применяются частные показатели. Применение экономических показателей во всех случаях обязательно.

Список литературы

1. Пособие по военно-экономическому анализу инженерного вооружения. Книга 1. – М.: ВИА, 1976. - 232 с.
2. Пособие по военно-экономическому анализу инженерного вооружения. Книга 2. – М.: ВИА, 1977. - 276 с.
3. Волынский В.Ф. Эффективность военно-инженерной техники. Учебное пособие. - М.: ВИА, 1995. - 103 с.

4. Исследования эффективности системы инженерно-технического обеспечения. Отчёт о НИР/ ВИА; Инв. № 105920. – М., 1997. – 154 с.

Секция 12 - Химическая технология

Цветников А.К. ЭНЕРГОРЕСУРСΟΣБЕРЕГАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

Цветников Александр Константинович

Институт химии Дальневосточного Отделения Российской Академии Наук

Зав. группой фторуглеродных материалов, к.х.н., доцент

Институт химии Дальневосточного Отделения Российской Академии Наук

690022 Владивосток, пр-т 100-летия Владивостока 159

Тел./факс +7 423 2319272

E-mail: tsvetnikov@ich.dvo.ru

Аннотация. Энергоресурсосберегающие материалы на основе ультрадисперсного политетрафторэтилена (ПТФЭ) представляют собой революционное решение в области теплоизоляции и защиты от коррозии. ПТФЭ, благодаря своим исключительным свойствам, таким как высокая термостойкость, химическая стойкость и низкий коэффициент трения, открывает новые горизонты в создании эффективных и долговечных материалов.

Исключительная дисперсность данного полимера позволяет значительно улучшить механические характеристики композитов, что делает их идеальными для применения в различных отраслях — от строительства и энергетики до аэрокосмической промышленности. Использование ультрадисперсного ПТФЭ не только снижает теплотери, но и увеличивает срок службы конструкций, защищая их от негативного воздействия внешней среды.

Внедрение энергоэффективных технологий, основанных на синтетических материалах нового поколения, в свою очередь, способствует снижению углеродного следа и оптимизации энергозатрат. Эти разработки подчеркивают важность научных исследований в области новых материалов, открывая путь к устойчивому развитию и экологической безопасности.

Ключевые слова: ресурсоэнергосберегающие материалы, термодеструкция отходов, фторопласт

Уникальные физико-химические и эксплуатационные свойства политетрафторэтилена (ПТФЭ) (товарное название в России «фторопласт-4»): занесен в книгу Рекордов Гиннеса как самый скользкий материал), высокая термостойкость и исключительная химическая стойкость, делают его незаменимым в современном мире, на что указывает самый большой ежегодный прирост объемов производства среди фторорганических соединений. Помимо наращивания производства блочного ПТФЭ ведутся работы по созданию новых технологий измельчения ПТФЭ до микронных размеров [1]. Тем не менее, ряд

недостатков ПТФЭ (низкие адгезия и пластичность) такими способами не устраняются. В Институте химии ДВО РАН впервые обнаружено явление переноса тяжёлых молекул ПТФЭ в газовую фазу [2], разработан и реализован на практике термогазодинамический способ получения ультрадисперсного ПТФЭ (УПТФЭ) с размером сферических частиц ~ 1 мкм, имеющего высокую пластичность и адгезию к твердой поверхности [3-5]. Микросферы УПТФЭ состоят из пакета нанопленок, которые при механическом воздействии на частицы легко распределяются по любой поверхности и прочно на ней удерживаются [6, 7]. Полученный продукт имеет зарегистрированный в РФ товарный знак ФОРУМ® [8]. В качестве исходного сырья могут быть использованы все виды фторопласта-4, включая композиты и отходы. Продукция на основе УПТФЭ в настоящее время производится ООО «Владфорум».

Сухая смазка: УПТФЭ Форум легко наносится на любую поверхность механическим натиранием (сухая смазка). При этом микрочастицы распадаются на нанопленки, которые, в свою очередь, благодаря наноэффекту прочно налипают на поверхность и проникают в нано-и-микротрещины. Образуется сверхскользящее химически стойкое высокотемпературное диэлектрическое покрытие не подверженное старению и не пропускающее ультрафиолетовое излучение [9].

С целью определения прочности и долговременности ПТФЭ-покрытия ФОРУМ на металле, внутреннюю поверхность ствола стрелкового оружия после предварительного обезжиривания натирала сухой смазкой ФОРУМ, после чего из него было произведено 104 выстрела. Методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии на внутренней поверхности был обнаружен полимер ПТФЭ с характерной энергией связи F1s электронов $E_{св} = 689.6 \pm 0.3$ eV. Помимо обработки ствола, были проведены испытания смазки для обработки спусковых механизмов оружия. Установлено, что сухая смазка ФОРУМ резко улучшает плавность и мягкость работы механизмов.

Испытание в Крыловском научном центре ЛКМ-покрытия с нанесенным микронным слоем УПТФЭ показали, что слой УПТФЭ сохраняется на поверхности покрытия при скорости 170 км/час в воде.

Испытания в течение 13 месяцев на базе Морского испытательного стенда МНИИС Дам Бай (Приморское отделение Тропического центра (ПО ТЦ), Вьетнам) образца, покрытого самополирующейся противообрастающей краской и обработанного УПТФЭ показали, что поверхность остается чистой и не подвергается обрастанию, тогда как контрольный образец полностью покрыт био пленкой и на его поверхности отмечается оседание макрообрастателей (балянусов).

НПТФЭ-добавка в краски: Натурные статические испытания в течении 6 месяцев металлических пластинок с ЛКМ-покрытиями на основе противообрастающих красок JOTUN SEA FORS 30 и CUMIXAN ECO и с добавкой ФОРУМ в акватории б. Тихая заводь, залива Восток залива Петра

Великого в Японском море показали, что металлические пластинки с покрытием суриком МА-15 (для сравнения) обросли полностью всеми видами гидробионтов, включая мидии. На всех пластинах окрашенных противобрастающей краской прошло оседание двумя макроформами: усоногими раками рода *Balanus* и многощетинковыми червями *Polychaeta* рода *Spirirbis* либо *Hydroides*. Добавка ПТФЭ ФОРУМ в краски и сухое покрытие поверхности красок ПТФЭ ФОРУМ многократно снижает обрастание [10,11].

Совместно с ИПЭЭ РАН (г. Москва) на морском испытательном стенде МНИИС Дам Бай (Приморское отделение Тропического центра (ПО ТЦ), Вьетнам) в течение 15 месяцев в условиях полного погружения (глубина 0,5-1,5 метров) в Южно-Китайском море проводились сравнительные с добавкой и без добавки УПТФЭ ФОРУМ испытания противобрастающих покрытий на основе краски SeaForce 90. Установлено заметное снижение обрастания на краске SeaForce 90 с добавкой 10-15 % УПТФЭ. Получено заключение ИПЭЭ РАН о рекомендации добавки суспензии УПТФЭ в коммерческие краски с целью повышения их эффективности.

Опытная частичная покраска днища и кормы катера ЗФ ГОСАКВАСПАС МЧС России краской с добавкой УПТФЭ позволила увеличить максимальную скорость с 48 до 50,5 узлов при равных метеоусловиях.

Проведены натурные испытания большого катера ТОФ, окрашенного краской с добавками УПТФЭ для лакокрасочных материалов. В ходе очередной постановки в док выполнен осмотр корпуса корабля, в ходе осмотра установлено, что корпус не имеет обрастаний, и степень истирания лакокрасочного покрытия не превышает установленных параметров [12].

УПТФЭ-добавка к маслам и смазкам: Разработана антифрикционная противоизносная добавка Форум[®] - масляная суспензия порошка Форум[®] в маслах и консистентных смазках. Применение добавки Форум[®] позволяет создать на трущихся поверхностях прочное и сверхскользящее покрытие. Это покрытие приводит к резкому уменьшению коэффициента трения, контактных нагрузок, устраняет дефекты поверхности и, как следствие, увеличивает уплотнение деталей и снижает вибрацию. В результате резко снижается износ деталей и улучшаются рабочие характеристики двигателей, трансмиссий и других механизмов. Особенно следует отметить защитные свойства Форум при полной потере масла двигателем, трансмиссиями или при использовании некачественного масла. В настоящее время налажен выпуск добавки Форум[®] для всех видов двигателей, трансмиссий и видов транспорта, в том числе морского [13].

Добавка Форум[®] прошла весь комплекс испытаний в ряде научных и промышленных организаций России и за рубежом, в том числе:

- Гос. Предприятие АЗЛК (Москва),
- 25-й ГосНИИ МО РФ (Москва),
- 21-й ГосНИИИ АТ (г. Москва),
- АО «ВНИИТрансмаш» (г. С.-Петербург),
- АО «КАМАЗ» (г. Набережные Челны),
- МАДИ (г. Москва),

- ВНИПТИ АЭК «Динамо» (Москва),
- Аэрокосмический Университет (Самара),
- НПО «Техника и технология добычи нефти» (Тюмень),
- ЗАО «Дальневосточное морское пароходство» (г. Владивосток),
- ВМФ (ТОФ) МО РФ (г. Владивосток),
- Политехнический Университет (Харбин, КНР),
- Компания JSN (Япония) и т.д.

Испытания на новых двигателях и шестернях показали:

- мощность двигателя возрастает до 6% с одновременным снижением расхода горючего до 10%;
- износ шестерен падает в 52 раза;
- минеральное масло сохраняет свои эксплуатационные свойства в 2-3 раза дольше;
- в два раза снижается расход масла на угар;
- вдвое снижается нагарообразование;
- износ цилиндрико-поршневой группы снижается в 2-3 раза, вкладышей в десятки раз;
- трение в масле уменьшается на 17%, без масла – в 100 раз;
- срок службы подшипников и приводов повышается в два-три раза;
- шум механизмов снижается на 2-7 дВ.

На изношенных двигателях эффект от применения добавки ФОРУМ возрастает многократно.

Добавка в масла и смазки Форум[®] допущена Государственной межведомственной комиссией («Общество производителей масел и присадок», ВНИИ НП, НАТИ, НИИАТ, АО «НАМИ-ХИМ», АМО «ЗИЛ», ЯМЗ, АО «ГАЗ», 25 ГосНИИ МО РФ, АО «Москвич») к применению в легковом автотранспорте.

В начале 2000-х годов по результатам испытаний добавка Форум[®] допущена к применению на федеральной (военной) автомобильной технике [14].

Заключение

Оригинальная технология получения ультрадисперсного ПТФЭ методом частичной термодеструкции отходов фторопласта-4 позволила создать новые ресурсоэнергосберегающие материалы для широкого спектра областей применения в качестве: добавки к маслам и смазкам для различных механизмов и двигателей внутреннего сгорания; добавки в составе различных ЛКМ с целью защиты от химического и биологического воздействия; сухой краски для защиты металлов от трения, износа, биообрастания и повышения гидрофобности покрытий. Результаты испытаний подтверждают высокую эффективность УПТФЭ ФОРУМ[®] и определяют направление дальнейшей работы по совершенствованию материала и технологии применения на различных объектах и в различных областях промышленности, транспорта, строительства и другой хозяйственной деятельности.

Список литературы

1. Фторполимерные материалы / отв. ред. В.М. Бузник. – Томск: Изд-во НТЛ, 2017. – 600 с.
2. А.К. Цветников. Термоградиентный метод синтеза нано- и микродисперсных фторуглеродных материалов. Свойства и применение // Вестник ДВО РАН. 2009. - №2. – С. 18-22.
3. Способ получения полифторуглерода: П. № 1808194 РФ, МКИ⁵ C08F 8/50, C08J 11/18/ Цветников А.К., Уминский А.А. (РФ).-4 с.: ил., опубл. 10.09.1990 г.
4. Установка для переработки политетрафторэтилена: П., № 2035308 РФ, МКИ⁵ B29B 17/00/ Цветников А.К. (РФ).-4 с.: ил., опубл. 20.05.1995 г.
5. V.M. Bouzник, S.D. Kirik, L.A. Solovyov, A.K. Tsvetnikov. A crystal structure of ultra – dispersed form of polytetrafluoroethylene based on X – ray powder diffraction data. // Powder Diffraction 19 (2), June 2004, p. 135-141.
6. Бузник В.М., Цветников А.К., Шикунев Б.Ю., Полькин В.В. Размеры и форма частиц ультрадисперсного политетрафторэтилена, полученного термогазодинамическим способом. Перспективные материалы. 2002. № 2. С. 89–72
7. Павлов А.Д., Суховерхов С.В., Цветников А.К. Использование пиролитической хроматомасс-спектрометрии для определения состава Форума и его фракций // Вестник ДВО РАН. 2011. № 5. С. 51-55
8. Тов. знак ФОРУМ. Регистрационный № 140123 (РФ).
9. Цветников А.К. Сухая смазка ФОРУМ и композиционные покрытия на ее основе// Международная конференция, посвященная 50-летию Химмотологии, Москва, 2014, С. 268-270.
10. Цветников А.К., Матвеев Л.А., Пузь А.В., Егоркин В.С., Голуб А.В., Масленников С.И., Павлов А.Д., Гнеденков С.В. Нанодисперсный политетрафторэтилен ФОРУМ[®] и его влияние на физические свойства лакокрасочных покрытий // ЛКМ. – 2016. - № 1-2. – С. 63-67.
11. Способ получения многофункциональных защитных покрытий Пат. 2619687 Рос. Федерация: МПК С 09 D 127/18, С 09 D 5/16, В 82 Y 30/00 / Цветников А.К.; Матвеев Л.А., Пузь А.В., Егоркин В.С., Гнеденков С.В., Гарифуллин А.Р. – № 2015150853; заявл. 26.11.15; опубл. 17.05.17, Бюл. 14.
12. Цветников А.К., Матвеев Л.А., Курявый В.Г., Опра Д.П., Соколов А.А., Егоркин В.С., Устинов А.Ю., Синявский С.Л., Гнеденков С.В. Синтез, физико-химические свойства и области применения оксидных, оксофторидных и фторидных искусственных и природных углеродных полимеров. // Научно-практическая конференция «Фторидные материалы и технологии», Москва, 2024, с. 231-232.
13. Способ получения тонкодисперсного ПТФЭ и содержащая его масляная композиция: П. № 2100376 РФ, МКИ⁶ C08F 114/26, C08J 11/04, 11/10/ Цветников А.К., Бузник В. М., Матвеев Л.А. (РФ). - 5 с.: ил., опубл. 27.12.1997 г.
14. А.К. Цветников, А.В. Улитко Антифрикционная противоизносная добавка к маслам и смазкам Форум// Тез. докладов Международной конференции посвященная 50-летию Химмотологии, Москва, 2014, С 200-206.

Цыбульская О.Н., Ксеник Т.В., Волков Д.А., Юдаков А.А., Перфильев А.В.
РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССОВ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ
ХРОМСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ МЕТОДАМИ ДВУХСТАДИЙНОЙ И
ОДНОСТАДИЙНОЙ РЕАГЕНТНОЙ ОБРАБОТКИ

*Цыбульская Оксана Николаевна, Ксеник Татьяна Витальевна,
Волков Дмитрий Анатольевич, Юдаков Александр Алексеевич,
Перфильев Александр Владимирович*

*690022 Институт химии Дальневосточного отделения РАН,
г. Владивосток, пр. 100-летия Владивостока, д. 159.*

Аннотация. Рассмотрен практический подход к проблеме обезвреживания жидких растворов, содержащих соединения шестивалентного хрома. Представлен реагентный метод очистки от хрома путем обработки в две стадии. Описана установка, на которой были нейтрализованы концентрированные и разбавленные хромсодержащие растворы. Разработан технологический процесс реагентной обработки ингибитора с высокой концентрацией хроматов в растворе в одну стадию путем непосредственного осаждения трудно растворимых хроматов.

Ключевые слова: хромсодержащие отходы, ингибитор, реагентная обработка, нейтрализация, осаждение

Введение

Многие экологические проблемы Дальнего Востока связаны с промышленными предприятиями, в процессе деятельности которых образуется большое количество опасных отходов. Это относится к гальваническому производству предприятий, специализирующихся на судоремонте и судостроении. Гальванические отходы, промывные, сточные воды, отработанные электролиты, содержащие соединения шестивалентного хрома, имеют сложный и нестабильный состав и являются особо токсичными. Кроме того, широкое распространение в производстве получило применение растворов ингибиторов различного состава. Особенно остро возникает необходимость обезвреживания содержащих шестивалентный хром растворов ингибиторов при техническом обслуживании, выводе из эксплуатации и утилизации атомных подводных лодок [1].

Все хромсодержащие растворы трудно нейтрализуются и представляют экологическую опасность, так как высокое содержание хрома и их коррозионная активность затрудняют их хранение и транспортировку для дальнейшей переработки. Образование значительных объемов таких опасных источников загрязнений оказывает нагрузку на окружающую среду. Проблемы утилизации жидких хромсодержащих отходов требуют разработки и внедрения современных систем их очистки, а также разработки безопасных и экономически эффективных технологий утилизации образующихся твердых осадков.

Широко используемые в практике реагентные способы могут быть реализованы двумя методами [2]. Первый метод включает две стадии. В этом случае хромсодержащие растворы сначала обрабатываются реагентами, которые

восстанавливают шестивалентный хром до трехвалентного. Затем, после восстановления, хром осаждается в виде гидроксида. Примерами таких реагентов могут быть натриевые соли сернистой кислоты, сульфат двухвалентного железа и др. Выбор реагента зависит от конкретных условий и требований.

Второй метод предусматривает непосредственное осаждение трудно растворимых хроматов в одну стадию. В этом случае хромосодержащие растворы обрабатываются реагентами, которые способны связывать хром, превращать его в нерастворимую форму и образовывать тяжелые осадки бариевых хроматов. В качестве реагентов применяют твердый карбонат бария, гидроксид бария или раствор хлорида бария. Образующийся в результате реакции кристаллический хромат бария BaCrO_4 легко осаждается в нейтральной или слабокислой среде и удаляется фильтрацией.

Цель настоящей работы – разработка базовой концепции установки для реализации технологического процесса нейтрализации хромосодержащих растворов реагентным способом, изучение технологических особенностей обработки в одну и в две стадии, определение оптимальных параметров дополнительной очистки для получения обезвреженного раствора.

Двухстадийная реагентная обработка

Для реализации реагентной технологии в производственных условиях была разработана опытно-промышленная установка, рис. 1.

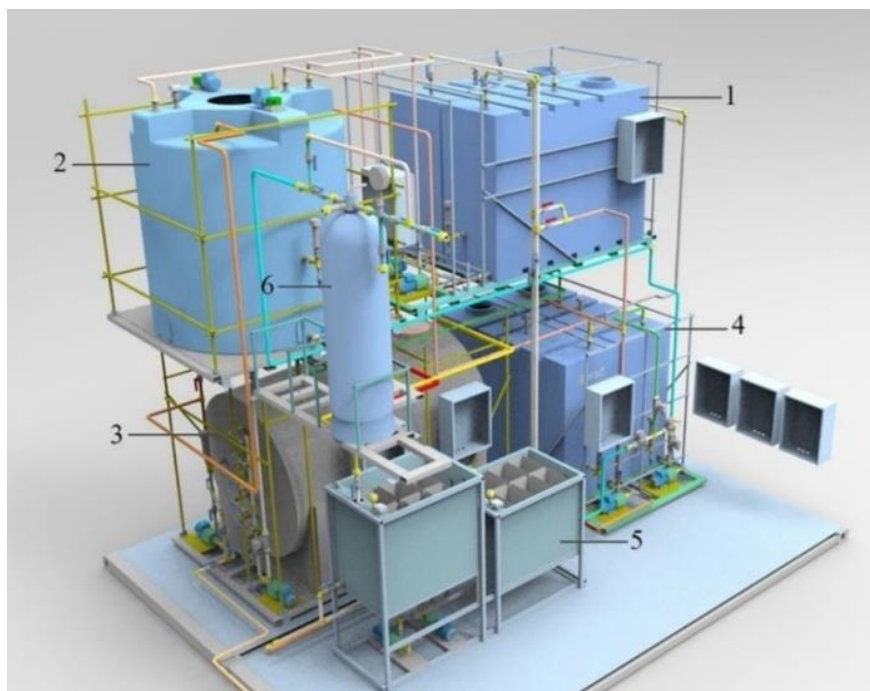


Рисунок 1 - Опытно-промышленная установка для нейтрализации хромосодержащих отходов

Реагентную обработку производили в две стадии в следующей последовательности: восстановление Cr^{6+} до Cr^{3+} → регулирование pH → выдержка для прохождения реакции → осаждение гидроксидов ($\text{Cr}^{3+} + 3\text{OH}^- \rightarrow$

$\text{Cr}(\text{OH})_3 \downarrow$) → отстаивание → отделение твердого осадка от фильтрата [3]. Реагентная обработка проходила при постоянном контроле рН среды, температуры, времени протекания реакции. В качестве основных реагентов использовали сульфит натрия или сульфат железа (II). Для обработки, независимо от вида используемого реагента, хромсодержащие отходы накапливались в загрузочной емкости 1, где производилось их усреднение, контроль параметров, корректирующая обработка. Восстановление шестивалентного хрома до трехвалентного осуществлялось в реакторе-нейтрализаторе 2. После чего прореагировавший раствор сливался в реактор-осветлитель 3 для осаждения образующихся в процессе реагентной обработки нерастворимых соединений в виде фракций гидроксида хрома. Осветленный раствор подавался в емкость фильтрата 4. При необходимости доочистки до норм предельно допустимых концентраций (ПДК) очищенный раствор подавался в реактор-восстановитель двухступенчатого типа 5 с активной загрузкой из предварительно подготовленной металлической стружки или в сорбционный фильтр тонкой очистки 6.

Классическая реагентная технология, реализуемая в данной установке, является эффективной при точном дозировании реагентов, но требует больших расходов дорогостоящих реактивов. Поэтому для нейтрализации хромсодержащих растворов с низкой концентрацией хрома перспективным представляется метод, основанный на применении отходов металлообработки в качестве восстановителя шестивалентного хрома.

Сточные или промывные воды подаются непосредственно в реактор-восстановитель (см. рис. 1), не проходя другие стадии реагентной обработки. В этом случае предварительно обезжиренная стальная стружка или металлические опилки применяются в качестве активной загрузки.

Реактор-восстановитель представляет собой конструкцию двухступенчатого типа, рис. 2, состоящую из двух отсеков из нержавеющей стали. В каждый отсек устанавливаются кассеты с активной загрузкой. В процессе обработки первоначально осветленный раствор с низкой концентрацией хрома подается в первый отсек реактора 1, где выдерживается определенное время. В случае недостаточной полноты прохождения реакции в первом отсеке раствор через патрубок поступает во второй отсек реактора 2, где производится его обработка до норм ПДК по содержанию хрома. В процессе обработки происходит растворение железной стружки с образованием двухвалентного железа и последующее окисление двухвалентного железа до трехвалентного. Для успешного протекания процесса в реакторе осуществляется интенсивный барботаж воздуха через слой активной загрузки, в результате чего обеспечивается отвод образующихся продуктов реакции от поверхности стружки. Принудительное барботирование производится путем подачи воздуха необходимого давления от компрессора через воздушные патрубки 3. Для интенсификации процесса обработки в конструкции предусмотрены нагревательные элементы 4. При недостаточной степени дехромации в реакторе-восстановителе предусмотрены вентили переключения на кратковременную работу в замкнутом цикле, а также на возврат очищаемых стоков с помощью

химического насоса в загрузочную емкость установки (см. рис. 1) для повторной реагентной обработки.

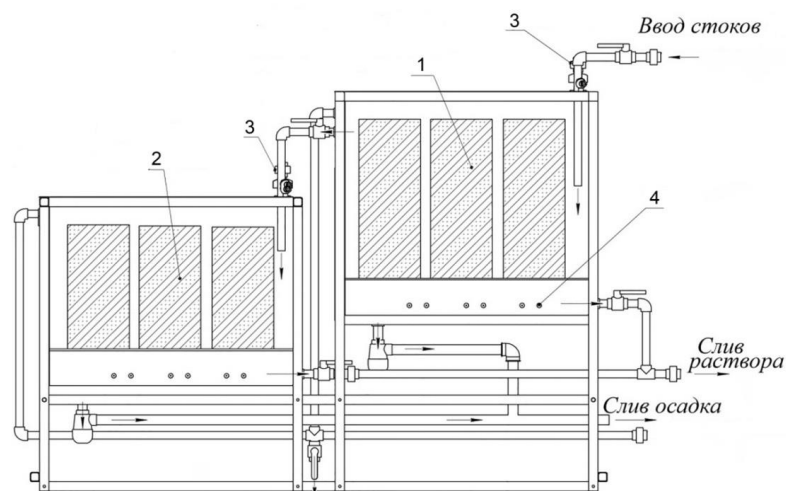


Рисунок 2 - Реактор-восстановитель с активной загрузкой

Опыт показал, что обработка в реакторе с активной загрузкой может производиться в случае необходимости доочистки осветленного раствора до требуемых значений ПДК, кроме того хромосодержащие растворы (промывные или сточные воды) с незначительной исходной концентрацией Cr^{6+} могут непосредственно обрабатываться только в реакторе с активной загрузкой минуя другие стадии обработки.

Одностадийная реагентная обработка

Апробация технологического процесса реагентной обработки в одну стадию осуществлялась на отработанном растворе ингибитора, представляющим собой водный раствор хромата калия (K_2CrO_4), приготовленный на пресной воде. Основные элементы загрязнители раствора – анионы соединений шестивалентного хрома (хроматы CrO_4^{2-}). Содержание Cr(VI) в составе раствора лежало в диапазоне значений 17,5-18 г/л, $\text{pH} \sim 9,3-9,5$. В качестве основного реагента для обработки в одну стадию использовался хлорид бария. Нейтрализация ингибитора осуществлялась путем осаждения Cr(VI) в форме малорастворимого хромата бария BaCrO_4 . Образовавшийся осадок отделялся отстаиванием и фильтрацией. Далее производилась доочистка надосадочной жидкости от остаточных количеств хрома и избытка бария.

Хлорид бария подготавливался в виде 20 %-ного водного раствора, дозировка бралась с небольшим (3-10 %-ным) избытком и составляла около 5 г на 1 г Cr(VI) для технического реактива. Теоретическая дозировка чистого хлорида бария для осаждения составляла 4 г на 1 г Cr(VI) , для дигидрата хлорида бария – 4,7 г на 1 г Cr(VI) .

Основная реакция (1), протекающая в процессе получения осадка:



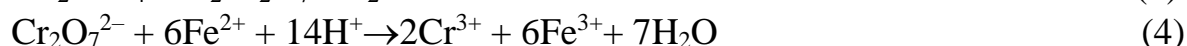
Контроль дозировки хлорида бария при осаждении хрома шестивалентного осуществлялся инструментальным методом (по изменению pH). В ходе работы были обнаружены особенности изменения pH при протекании основной реакции

осаждения. Вследствие чего установлен следующий эффект: при добавлении к ингибитору раствора хлорида бария наблюдался плавный постепенный подъем рН на 0,2-0,3 единицы. Вблизи точки эквивалентности происходил скачкообразный рост рН до уровня 10,5-11, с последующим резким падением до рН<9. При этом исчезало желтое окрашивание раствора, что свидетельствовало об отсутствии шестивалентного хрома. Такое резкое изменение рН принимали за точку эквивалентности. Эффект был обнаружен и применен при реализации данной технологии для определения и контроля необходимого количества хлорида бария.

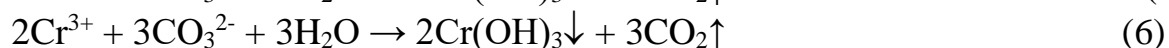
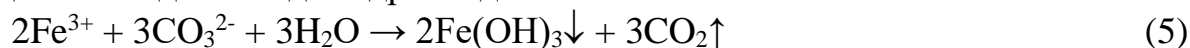
После завершения реакции осадок отделялся осаждением и/или фильтрованием. Надосадочная жидкость дочищалась от остаточных количеств Cr(VI) и избытка бария. Остаточное содержание растворенного Cr(VI) в надосадочной жидкости составляло не более 1 мг/л.

Доочистка осуществлялась восстановлением и нейтрализацией. Первоначально надосадочная жидкость подкислялась серной кислотой до рН < 3. При этом происходил перевод в раствор Cr(VI) из захваченных частиц хромата бария. После чего подкисленный раствор обрабатывался восстановителем. Для удаления небольших количеств хрома шестивалентного было эффективно использование железного купороса (сульфата железа (II)) в дозировке 30–50 г/м³ обрабатываемого раствора. При этом происходило восстановление остаточных количеств Cr(VI) до хрома (III), окисление железа (II) до железа (III), а также связывание избыточного бария в виде нерастворимого сульфата BaSO₄.

Реакции представлены в формулах (2) – (4):



После восстановления проводили нейтрализацию очищенной воды раствором карбоната натрия до рН=8-9. При этом ионы железа (III) и хрома (III) выпадали в осадок в виде гидроксидов:



Избыток ионов железа (II) и бария связывался в виде практически нерастворимых карбонатов:



Совместное присутствие нерастворимых солей бария и гидроксидов железа и хрома способствовало их взаимной коагуляции. Для улучшения осаждения нейтрализованную воду дополнительно обрабатывали раствором катионного флокулянта (Praestol 650) в дозировке 1-2 г/м³. Анализ очищенных стоков показал остаточные концентрации Cr(VI) не более 0,025 мг/л, Cr(III) – 0,1-0,3 мг/л, Fe – 0,1-0,3 мг/л, Ba менее 2 мг/л, что не превышало установленные нормы ПДК.

Опыт обработки ингибитора с концентрацией хрома шестивалентного 17,5-18 г/л показал, что после нейтрализации 1 м³ ингибитора получены следующие

продукты и отходы: сточная вода в объеме 1.5-2 м³, осадок хромата бария массой 100-130 кг, шлам массой до 10 кг.

Сточная вода содержит хлорид калия в концентрации 20-30 г/л. Она может быть слита в систему канализации предприятия или может быть утилизирована в качестве калийного удобрения. Содержание Cr(VI), Ba и Fe в сточной воде не превышает предельные нормативы.

Осадок хромата бария с влажностью 20-50 % относится к отходам I класса опасности. Влажный осадок представляет собой сырьё, которое может быть использовано в качестве пигмента для изготовления антикоррозионных покрытий, корректора концентраций растворов гальванических ванн хромирования (поглотитель сульфатов), компонента пиротехнических составов (воспламенительных и замедлительных), а также сырья для получения металлического хрома и его соединений. Для доведения до состояния товарного продукта потребуется дополнительная промывка осадка и сушка.

Шлам массой от 1 до 10 кг содержит сульфат и карбонат бария, а также примеси гидроксидов железа (III), гидроксидов хрома (III), и карбоната железа (II). Масса образующегося шлама зависит от избытка хлорида бария, который является основным реагентом для осаждения хроматов. Шлам представляет не перерабатываемый отход III–IV класса опасности.

Заключение

Сравнивая рассмотренные выше способы обезвреживания жидких хромсодержащих отходов, можно сказать, что выбор оптимального решения зависит от конкретных условий и требований. Перед использованием или внедрением того или иного метода необходимы проведение дополнительных исследований, оценка эффективности, стоимости, возможности обработки больших объемов отходов. Анализ результатов испытаний реагентной обработки в две стадии на опытно-промышленной установке показал, что восстановление протекает с высокой скоростью, при точном дозировании реагентов достигается высокая степень очистки. Существенным недостатком реагентной обработки в две стадии является образование больших объемов шламов, особенно после использования сульфата железа в качестве реагента восстановителя.

Одностадийная реагентная обработка путем прямого осаждения хроматов обладает преимуществами перед двухстадийной реагентной обработкой, поскольку исключает дополнительный этап восстановления шестивалентного хрома, тем самым сокращая количество технологических операций. Процесс становится проще и быстрее. Кроме того, значительно снижаются затраты на реагенты и их подготовку. Более того, при прямом осаждении соединений хрома существенно снижается объем образующихся осадков, требующих последующей переработки, промывки, обезвоживания, утилизации или хранения. Это является одним из ключевых преимуществ, поскольку снижение объема отходов снижает нагрузку на окружающую среду.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при разработке технологий и оборудования для очистки жидких хромсодержащих отходов с использованием реагентных и комбинированных методов обработки.

Список литературы

1. Куликов К. Н., Петров С. А., Родин Г. А. Методика формирования комплекса переработки жидких опасных отходов, образующихся на стадиях жизненного цикла кораблей и судов с ЯЭУ // Безопасность жизнедеятельности. 2019. № 8 (224). С. 14–24.
2. Ахмадуллина Ф.Ю. Реагентная очистка сточных вод от тяжелых металлов: теоретические основы, материальные расчеты: учеб. пособие. Казань: КНИТУ, 2016. 92 с.
3. Цыбульская О.Н., Ксеник Т.В., Юдаков А.А., Кисель А.А. Опыт применения реагентной технологии для нейтрализации хромсодержащих технологических растворов в производственных условиях // Химическая технология. 2019. № 13. С. 605–611.

Цыбульская О.Н., Ксеник Т.В., Юдаков А.А., Перфильев А.В. ПОЛУЧЕНИЕ ИЗ ПОРИСТЫХ ТЕХНОГЕННЫХ АЛЮМОСИЛИКАТОВ ОЛЕОФИЛЬНЫХ СОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

*Цыбульская Оксана Николаевна, Ксеник Татьяна Витальевна,
Юдаков Александр Алексеевич, Перфильев Александр Владимирович
690022 Институт химии Дальневосточного отделения РАН,
г. Владивосток, пр. 100-летия Владивостока, д. 159.*

Аннотация. Рассмотрены результаты исследования свойств гранулированного пеносиликата, полученного при переработке отходов руды слюдяного сланца. Разработан метод и аппаратное оформление процесса модификации гранулированного пеносиликата в парогазовой фазе углеводородов, экспериментально проверены режимные параметры модификации. Определен температурный интервал стабильности рентгеноаморфного состояния пеносиликата. Показана возможность применения пеносиликата, полученного из отходов руды слюдяного сланца, в качестве основы при создании новых сорбентов для очистки загрязненных вод от органических веществ, включая нефтепродукты.

Ключевые слова: пеносиликат, модифицирующая обработка, сорбенты, олеофильность, гидрофобность, нефтеемкость

Введение

Загрязнение воды нефтью и нефтепродуктами является одной из наиболее серьезных экологических угроз современности. Учитывая, что около 70% поверхности Земли покрыто Мировым океаном, разливы нефти становятся масштабными экологическими катастрофами, оказывающими воздействие как на морские экосистемы, так и на сушу. Основными источниками загрязнений

являются утечки и аварии при добыче, транспортировке, а также погрузочно-разгрузочных работах с нефтепродуктами.

Согласно официальным данным, на территории Российской Федерации ежегодно происходит свыше 20 тысяч инцидентов, связанных с добычей и транспортировкой нефти. Особенно опасны случаи загрязнения водоемов вблизи крупных городов и населенных пунктов. На Дальнем Востоке, включая Приморский край, инциденты с выбросами и разливами нефти часто происходят в связи с работой местных портов. В периоды активизации циклонов и тайфунов возрастает риск аварийных ситуаций с участием морских судов, что может привести к новым разливам нефтепродуктов. Крупная авария произошла 15 декабря 2024 года в Керченском проливе, где в результате чрезвычайной ситуации с танкерами произошел разлив мазута, что привело к экологической катастрофе [1].

Учёные всего мира разрабатывают технологии, направленные на предотвращение природных катастроф и эффективное удаление нефти. При ликвидации последствий аварий широко применяются различные сорбенты [2]. Адсорбенты позволяют быстро удалять нефтепродукты с водной поверхности, минимизируя тем самым экологический ущерб. Особый интерес вызывают новые сорбционные материалы, полученные путем переработки техногенного, рудного и нерудного сырья [3].

В Институте химии Дальневосточного отделения РАН накоплен значительный опыт исследований и создания сорбентов посредством химико-термической обработки пористых природных и искусственных алюмосиликатных материалов углеводородами нефтяного происхождения [4]. Были разработаны и испытаны экспериментальные установки, обеспечивающие активные и пассивные гидродинамические режимы для модификации сырья в условиях неподвижного слоя, падающего слоя в противотоке и закрученном потоке газифицированного модификатора.

Цель настоящего исследования – разработка технологического процесса и новых олеофильных сорбентов нефтепродуктов на основе гранулированного пеносиликата, полученного в Специальном конструкторско-технологическом бюро «Наука» Красноярского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук в результате переработки низкосортного рудного сырья, исследование свойств новых сорбентов.

Материалы и методы обработки

В качестве объектов исследования были выбраны образцы пеносиликата (с маркировкой П1 и П2), полученные из отходов руды слюдяного сланца.

Пеносиликат представляет собой легкие, сыпучие, высокопористые гранулы различных размеров. Внешний вид пеносиликата различных фракций представлен на рис. 1.



Рисунок 1 - Макросъемка образцов пеносиликата

Исследуемые образцы состоят преимущественно из оксидов кальция, кремния, алюминия, которые определяют химические особенности их поверхности. Содержание компонентов составило для П1/П2: CaO – 44,3/37,4; SiO₂ – 29,5/41,2; Al₂O₃ – 14,2/11,9 (% мас.). Содержание оксидов других металлов в образцах незначительно. Для исследований методом рассева на ситах получали фракцию от 2 до 8 мм. В зависимости от фракционного состава насыпная плотность пеносиликата составляла от 70 до 150 кг/м³.

Для модификации гранулированного пеносиликата был разработан вариант аппаратного оформления и технологического процесса, согласно которым, обработка осуществляется в неподвижном слое в рабочей камере установки в условиях разрежения, при этом атмосфера газифицированного модификатора формировалась непосредственно в рабочей камере. Разработанная технология и опытно-промышленная установка описаны в работе [4]. В качестве модифицирующих веществ в экспериментах использовались мазут марки М-100 и высокоочищенный парафин нефтяной марки П-2. Изменение расхода модифицирующего вещества позволяет регулировать толщину покрытия на поверхности материала, получать тонкие пленки (предположительно, толщиной в несколько молекулярных диаметров), избегать закупоривания пор малого размера модифицирующим веществом. Тем самым сохраняется высокая удельная поверхность пеносиликата и объем открытых пор, что повышает его адсорбционную способность по отношению к нефтепродуктам.

Для подбора технологических режимов обработки пеносиликата был проведен ряд экспериментов при вариации температуры прокаливания, температуры нагрева для нанесения модифицирующего покрытия, степени разрежения при вакуумировании и расходе модифицирующего вещества. Оптимальные режимы обработки для получения качественного покрытия были установлены экспериментально. Область изменения режимных параметров, температуры и разрежения в рабочей камере, в зависимости от вида исходного сырья, типа модифицирующего вещества, степени загрузки установки представлены на рис. 2 (заштрихованный участок).

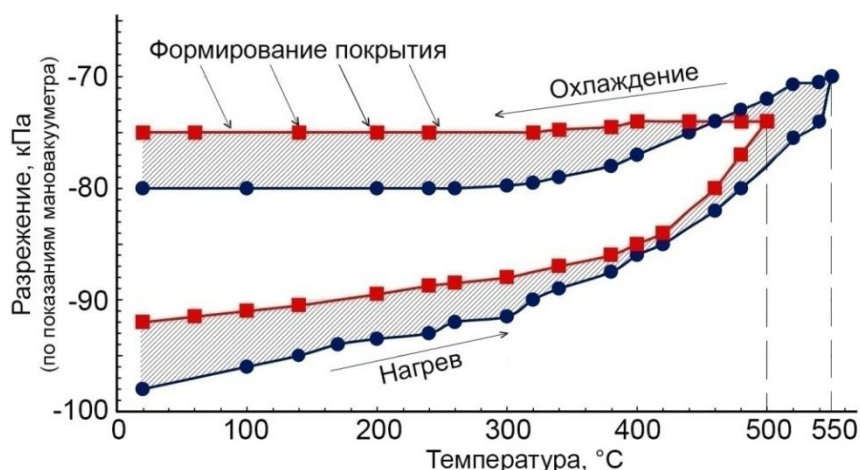


Рисунок 2 - Режимы термохимической модификации

Качество обработки пеносиликата оценивалось по краевому углу смачивания. Водонасыщение и нефтеемкость образцов определялась гравиметрическим методом.

Результаты и обсуждение

Поверхность частиц пеносиликата была изучена при помощи микроскопа LEXTOLS3100, рис. 3. Поры в частице имеют размер от 50 до 300 мкм, межпоровая перегородка в среднем составляет 30 мкм.

Для определения структурных особенностей пеносиликата был проведен рентгенофазовый анализ образцов П1 и П2 на автоматическом рентгеновском дифрактометре D8 Advance (Cu-K α -излучение). Для рентгенофазового анализа после модифицирующей обработки в рабочей камере установки были отобраны по четыре образца П1 и П2, со следующей маркировкой: - н – исходный пеносиликат; - в – термообработанный при температуре 350°C при нормальном давлении; - м – модифицированный мазутом при 550°C в условиях разрежения; - п – модифицированный парафином при 550°C в условиях разрежения. Аналогичная маркировка образцов используется во всех последующих испытаниях.

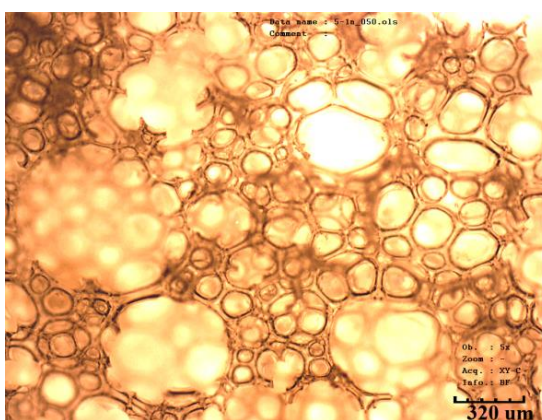


Рисунок 3 - Фрагмент структуры поверхности пеносиликата

Результат показал, что пеносиликат сохраняет аморфное состояние без перехода в кристаллическую форму как для образцов П1, так и П2, различий в структуре материала после обработки не наблюдается, рис. 4.

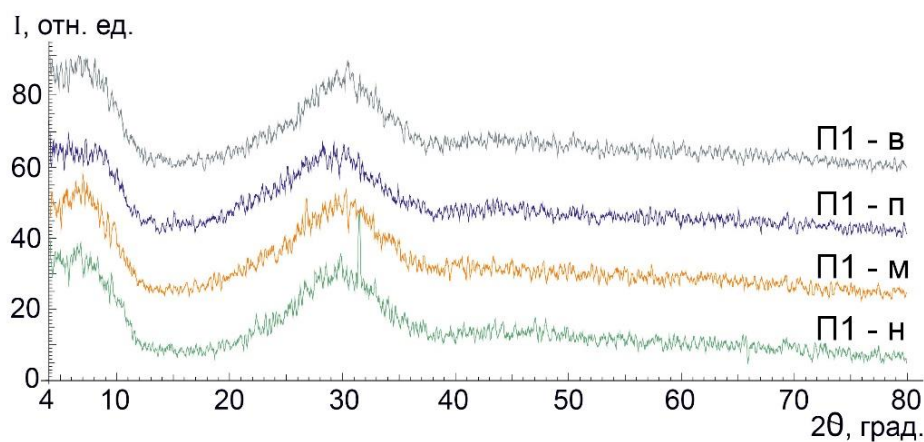


Рисунок 4 - Рентгеновская дифрактограмма образцов пеносиликата

Так как, аморфность структуры обуславливает высокую реакционную способность пеносиликата по сравнению с материалом в кристаллическом состоянии, были проведены исследования для уточнения температуры фазового перехода из аморфного состояния в кристаллическое. Для этого образцы пеносиликата П1 термообработывали при температурах 800÷1140°C. Результаты рентгеноструктурного анализа после обжига показали, что обработка при температурах ниже 1140°C не меняет аморфную структуру материала. Образование фаз зафиксировано только для образцов, обработанных при температуре 1140°C, рис. 5.

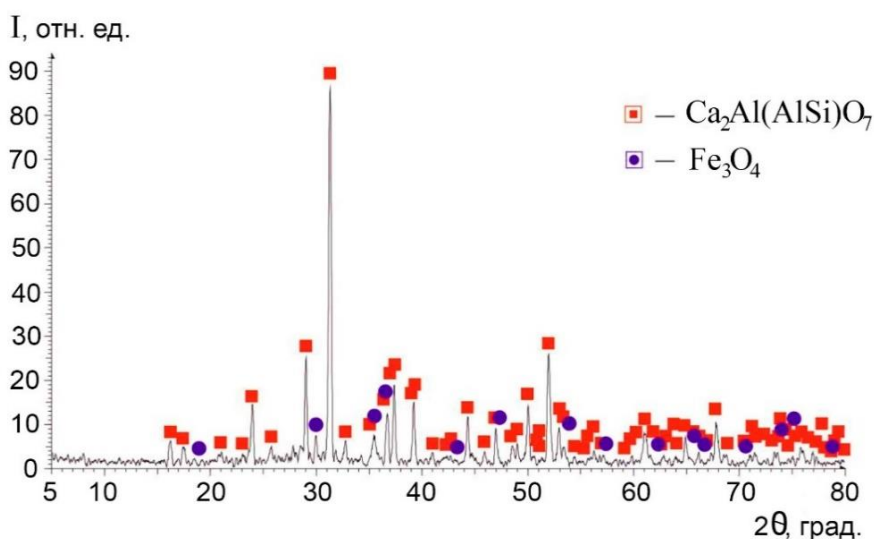


Рисунок 5 - Рентгеновская дифрактограмма пробы П1 после термообработки при температуре 1140°C

Для получения олеофильного материала на основе пеносиликата проводили модифицирующую обработку образцов П1 и П2 по технологическим режимам, указанным выше на рис. 3. После обработки весь материал приобрёл

равномерную гидрофобность по поверхности, что продемонстрировано на фотографиях с макросъёмкой, рис. 6. Статический угол смачивания на поверхности частиц крупностью 4-8 мм составил $142 \div 145^\circ$.



Рисунок 6 - Макросъёмка капли воды на образцах пеносиликата

Для проверки стабильности гидрофобных свойств были выполнены исследования степени водопоглощения пеносиликата, рис. 7. Результаты показали, что через 15 минут испытаний влагосодержание необработанных образцов в два раза выше, чем у модифицированных.

При разработке сорбционных олеофильных материалов на основе пеносиликата главным критерием, который следует учитывать, является их нефтепоглощающая способность, которая определялась гравиметрически по разнице масс исходного и насыщенного нефтепродуктом образца.

Нужно отметить, для того, чтобы максимально приблизиться к реальным условиям эксплуатации сорбционных материалов, где присутствует контакт сорбента с водной средой, в экспериментах использовали водонасыщенные образцы пеносиликата. Это факт необходимо учитывать при анализе результатов испытаний.

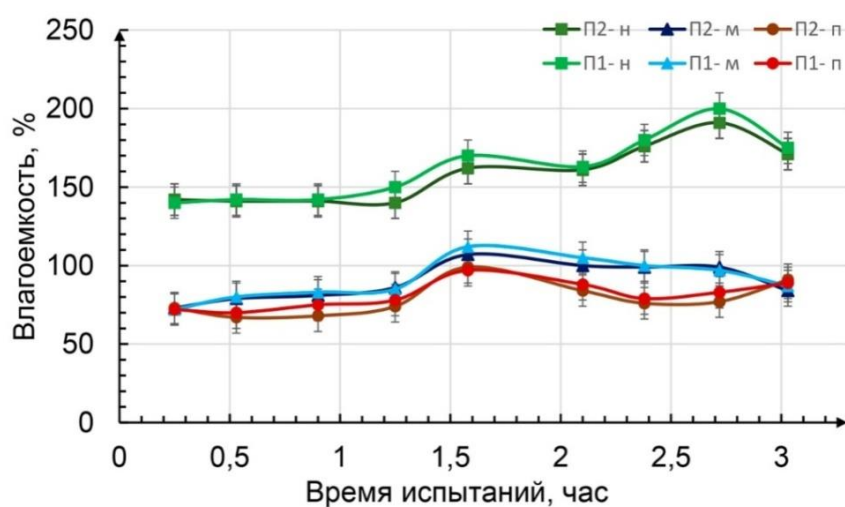


Рисунок 7 - Водопоглощающая способность образцов пеносиликата

Результаты испытаний в течение первых пяти часов показывают, что нефтепоглощение модифицированных образцов выше, максимальное поглощение нефтепродукта образцом пеносиликата П1-м и П2-м происходит через 1,5 часа от начала испытаний (рис. 8).

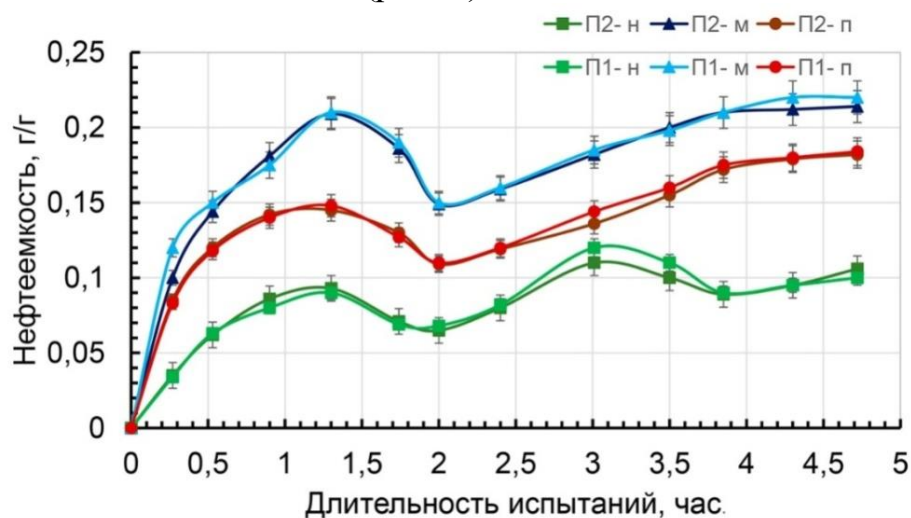


Рисунок 8 - Нефтепоглощение водонасыщенных образцов пеносиликата

Снижение нефтепоглощения во временном интервале 1,2-2 часа характерно для всех образцов. Для необработанных образцов наблюдается повторное снижение нефтепоглощения после 3 часов испытаний. Это связано с удерживающей способностью материала по отношению к нефтепродуктам.

Для определения нефтеемкости по дизельному топливу для неводонасыщенных сухих образцов были проведены испытания модифицированного пеносиликата П1 и П2 в течение 24 часов. Сорбционная емкость составила 1,92 -1,97 г/г для различных образцов.

Заключение

Проведенные эксперименты показали, что пеносиликат, полученный как продукт переработки рудных отходов (руды слюдяного сланца), подвергается термохимическому модифицированию в разработанной опытно-промышленной установке, приобретает гидрофобные и олеофильные свойства. Оптимальные режимы модифицирования установлены экспериментально. Результаты исследования структурных особенностей пеносиликата указывают на развитую пористую структуру с открытыми и закрытыми порами различных размеров. После модифицирования пеносиликат сохраняет аморфное состояние, что свидетельствует о его высокой активности как сорбционного материала. Переход в кристаллическую форму для образцов пеносиликата исследуемого состава происходит при нагреве выше температуры модифицирующей обработки.

Сравнительный анализ влагоемкости исследованных образцов материала показал, что влагоемкость модифицированного пеносиликата более, чем в два раза ниже влагоемкости необработанных образцов. Определение нефтеёмкостных характеристик свидетельствуют о хорошей сорбционной

емкости по отношению к нефтепродуктам, сопоставимой с другими алюмосиликатными сорбентами.

Таким образом, гранулированный пеносиликат, полученный из рудного сырья с учетом его физико-механических и теплофизических свойств, структурных особенностей, может рассматриваться как перспективное экологически безопасное сырье при получении новых олеофильных сорбентов для очистки нефтесодержащих сточных вод.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН Института химии ДВО РАН, Тема №. FWFN(0205)-2025-0002

Список литературы

1. Интерфакс: Разлив топлива зафиксирован на месте ЧП с двумя танкерами в Керченском проливе. URL: <https://www.interfax.ru/russia/997774> (дата обращения: 20.12.2024)

2. Малышкина Е.С. Классификация сорбентов, используемых в технологиях очистки сточных вод от нефтепродуктов // Градостроительство и архитектура. 2020. Т. 10, № 3. С. 26–34.

3. Павлов В.Ф. Физические основы технологии получения новых материалов с заданными свойствами на основе создания системы комплексного использования техногенного и нерудного сырья. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. 196 с.

4. Tsybul'skaya O.N., Ksenik T.V., Yudakov A.A., Kisel A.A. Development of technology of producing the hydrophobic aluminosilicate sorbents for cleaning of water objects from organic pollutions // Procedia Environmental Science, Engineering and Management. 2019. Vol. 6, N 4. P. 535–545.

Молчанов В.П., Юдаков А.А., Медков М.А. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОМПЛЕКСНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ТИТАНА И ЗОЛОТА ИЗ РОССЫПЕЙ УЛЬТРАБАЗИТОВ СИХОТЭ-АЛИНЯ (ДАЛЬНИЙ ВОСТОК, РОССИЯ)

**Молчанов Владимир Петрович^{1,2*}, Юдаков Александр Алексеевич²,
Медков Михаил Азарьевич²**

¹*Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, 690022,
г. Владивосток, Россия*

²*Институт химии ДВО РАН, 690022, г. Владивосток, Россия*

Аннотация. Исследованы возможности создания основ технологии комплексного извлечения полезных компонентов из титаноносных россыпей Ариадненского узла с применением приемов пиро-гидрометаллургии. Использование гидродифторида и сульфата аммония позволило выделить из шлихового материала основные промышленные металлы (диоксид титана, золото). Полученный опыт глубокой переработки золото-ильменитового минерального сырья поможет более обоснованно наметить пути освоения

дальневосточных комплексных месторождений с соблюдением принципов рационального природопользования и охраны окружающей среды.

Ключевые слова: золото, ильменит, гидрофторид аммония, сульфат аммония, термическая обработка, выщелачивание, титаноносные россыпи, Ариадненский массив ультрабазитов, Приморье.

1. ВВЕДЕНИЕ

На юге Дальнего Востока России в пределах Сихотэ-Алинского орогенного пояса с участием авторов [3] выявлен новый перспективный тип проявлений комплексной минерализации, в который стратегически важные металлы (Ti и Au) выступают основными промышленными компонентами. Присутствие в рудах и россыпях остродефицитных видов твердых полезных ископаемых указывает на необходимость создания концепции промышленного освоения этих объектов на основе принципов рационального природопользования и экологической безопасности, что и предопределило направленность наших исследований. На примере промышленно значимых золото-ильменитовых россыпей Ариадненского узла (центральная часть Приморского края) изучены возможности переработки шлихового материала с применением методов пиро-гидрометаллургии.

Для получения диоксида титана в промышленности широко используется два способа - хлоридный и серноокислотный. Хлоридный включает первичное хлорирование титансодержащего сырья, термическую обработку полученного четыреххлористого титана с образованием свободного хлора и двуокиси титана и последующей многостадийной поверхностной обработки последней. Серноокислотный способ заключается в разложении титансодержащего сырья серной кислотой с образованием растворимых сульфатов титана и последующей переработки их в двуокись титана. Весь процесс проходит в жидкой фазе при температуре 110-120⁰С. Использование этих технологий связано с существенным загрязнением окружающей среды из-за появления в первом случае в технологической схеме свободного хлора, а во втором – образования значительных объемов сульфатных сточных вод [4,9].

Для решения этой проблемы было разработано достаточно много пиро-гидрометаллургических способов технологического передела [8]. В случае с ариадненским шлиховым материалом нами использован наиболее экологически безопасный, но при этом достаточно простой и эффективный способ вскрытия ильменита сульфатом аммония при нагревании [1].

В последние годы все большее внимание уделяется гидрофторидной технологии извлечения полезных компонентов [2], основанной на обработке горных пород гидрофторидом аммония с последующим полным растворением продуктов фторирования азотной кислотой. Гидрофторид аммония NH_4HF_2 - кристаллическое вещество, имеющее большую химическую активность (реакционная способность NH_4HF_2 близка к безводному HF) и комплекс благоприятных в технологическом плане физико-химических свойств. Кислородсодержащие соединения переходных и многих непереходных элементов при взаимодействии с NH_4HF_2 образуют очень удобные для

переработки фторо- или оксофторометаллаты аммония, которые в силу своих физико-химических свойств обеспечивают растворимость продуктов и возможность разделения смесей путем возгонки [5] Очевидно, что в этих условиях золото не должно переходить в раствор и, следовательно, будет концентрироваться в нерастворимом остатке. В то же время гидродифторид аммония, который можно было бы использовать для концентрирования золота, является относительно дорогим реагентом, влияющим на рентабельность процесса, определяемого, главным образом, его удельным расходом. Ранее [2] для вскрытия минералов была предложена смесь гидродифторида и сульфата аммония, который значительно дешевле гидродифторида аммония и является отходом ряда производств. Использование этой смеси позволяет с одной стороны вскрывать минералы за счет разрыва связей Si-O в процессе фторирования, а с другой стороны регенерировать основную массу гидродифторида аммония в результате взаимодействия полученных фторидов с сульфатом аммония.

2.МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для решения поставленных задач был выполнен комплекс минералогических, технологических и химических исследований. В пределах россыпи р. Падь Тодохова (Ариадненский рудно-россыпной узел) была отобрана крупнообъемная проба весом до 1000 кг, которая и послужила объектом исследований. Анализ микроэлементного состава пробы был выполнен на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) Agilent 7500с (Agilent Technologies, Япония), оборудованном распылителем Бабингтона, охлаждаемой распылительной камерой Скотта и заземленной горелкой Фассела использовались никелевые конусы сэмплера и скиммера. Петрогенные элементы определяли на атомно-эмиссионном с индуктивно связанной плазмой спектрометре iCAP 6500 Duo (ИСПАЭС) (Thermo Scientific, США). Минералогические исследования осуществляли с применением электронно-зондового микроанализатора Jeol Superprobe JXA 8100 с системой INCA Energy 350 Oxford Instruments и электронного сканирующего микроскопа EVO-500XVP с системой INCA Energy 350 Oxford Instruments. Содержание золота в пробе определяли методом инструментального нейтронно-активационного анализа с использованием калифорниевского источника нейтронов [6].

Для эффективного вскрытия пробу ильменитового концентрата (2,7 кг/л) смешивали с сульфатом аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ марки «х.ч.». Навески со смесью ильменитового концентрата и сульфата аммония весом 10-40 г в стеклоуглеродных тиглях с крышкой помещали в муфельную печь-контроллер фирмы NaberthermGmbH (Германия) и нагревали со скоростью 2,5 град/мин до заданной температуры. Изменения, происходящие с веществом при нагревании, контролировали по убыли массы исходной смеси, а также с использованием рентгенофазового метода анализа. Рентгенограммы образцов снимали на автоматическом дифрактометре D-8 ADVANCE с вращением образца в $\text{CuK}\alpha$ -излучении. Рентгенофазовый анализ проводили с использованием программы поиска EVA с банком порошковых данных PDF-2.

Технологические исследования были выполнены по традиционной для обогащения ильменитсодержащих песков схеме с предварительным гравитационным обогащением и последующей электромагнитной сепарацией. При этом использовались серийные концентрационные столы и электромагнитные сепараторы мокрого типа.

В процессе химических исследований шлиховой материал магнитной и немагнитной фракций смешивали соответственно с сульфатом аммония и смесью сульфата и гидродифторида аммония. Смесь шлиха и исследуемого реагента в стеклоуглеродных или платиновых тиглях помещали в никелевый контейнер с электрообогревом и фторопластовым конденсатором, либо в муфельную печь-контроллер фирмы Nabertherm GmbH (Германия), оснащенную электронным регулятором с цифровым дисплеем, нагревали до заданной температуры и выдерживали при этой температуре в течение 4-6 ч. Навески составляли 30-50 г. Процесс выщелачивания обработанных вскрывающим реагентом образцов проводили во фторопластовых стаканах при комнатной температуре путем растворения полученного продукта в воде при Т:Ж=1:10 в течение 15-30 мин и последующего фильтрования через фильтр «синяя лента».

Изменения, происходящие с образцом при нагревании и выщелачивании, контролировали по убыли массы исходной смеси, рентгенофазовому (дифрактометр D-8 ADVANCE, с использованием программы поиска EVA с банком порошковых данных PDF-2) и рентгенофлуоресцентному (спектрометр Shimadzu EDX 800 HS) анализам полученных в процессе обработки продуктов, атомно-абсорбционному анализу растворов выщелачивания и рентгенофазовому анализу растворов выщелачивания, выпаренных для анализа до сухих солей. Термогравиметрические исследования выполнены на дериватографе Q-1000 в платиновых тиглях на воздухе при скорости нагревания 5 град/мин и навесках 100-200 мг.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Отобранная крупнообъемная проба исходных шлихов (до 2,5 т) была разделена с использованием методов гравитации и электромагнитной сепарации на магнитный (до 93 % общей массы) и немагнитный (7%) концентраты. Первый из них практически полностью представлен ильменитом, второй включает основную массу благородных металлов.

3.1. Извлечение титана из магнитного концентрата.

Ильменит является источником получения диоксида титана, одного из самых востребованных титансодержащих продуктов на мировом рынке [7]. Он представляет собой минеральный вид переменного состава $FeTiO_3$, где Fe^{2+} может изоморфно замещается Mg^{2+} и Mn^{2+} . Стехиометрический состав ильменита характеризуется присутствием Ti (31,6 мас. %), или в пересчете на кислород 52,6 % TiO_2 . Для ариадненских ильменитов характерны (мас. %) довольно близкие к стехиометрии содержания TiO_2 (49,5), сравнительно высокие концентрации V_2O_5 (1,8), умеренная магнизиальность (1,5 мас. %), незначительные лимитируемые примеси SiO_2 (1,02 мас. %) и Cr (0,2 мас. %), а также специфический набор микроэлементов (до 800 г/т) Nb, Nd, Co, Cu.

В процессе проведения эксперимента (рис. 1) ильменитовый концентрат с избытком смешивали с сульфатом аммония (из расчета образования сульфатов, а затем и двойных сульфатов) и нагревали, согласно экспериментальным данным [1], до температурного интервала 360-400°C, выдерживая при достигнутой температуре в течение 4,0-4,5 часов. Полученный после обжига продукт, представляющий по данным рентгенофазового анализа смесь двойного сульфата аммония и железа $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ с двойным сульфатом аммония и титанила $(\text{NH}_4)_2\text{TiO}(\text{SO}_4)_2$, выщелачивали водой при соотношении Т:Ж=1:5,0-5,5, непрерывно перемешивая в течении 30-40 минут. После этого двойные сульфаты железа и титана переходили в раствор, а непрореагировавший минеральный остаток направляли на дальнейшую переработку с целью извлечения высокотехнологичных металлов. Затем раствор выщелачивания подвергали термическому гидролизу при нагревании до 80-90°C в течение 1,5-2,0 часов с выделением осадка в виде диоксида титана анатазной модификации, который после отстаивания в течение 2,5-3 часов отделяли от раствора фильтрованием и высушивали. Степень извлечения титана из ильменитового концентрата при этом составляла 93%. Чистота полученной TiO_2 достигала 96,9 %. Содержание в ней примесей железа в расчете на Fe_2O_3 не превышала 2,3%.

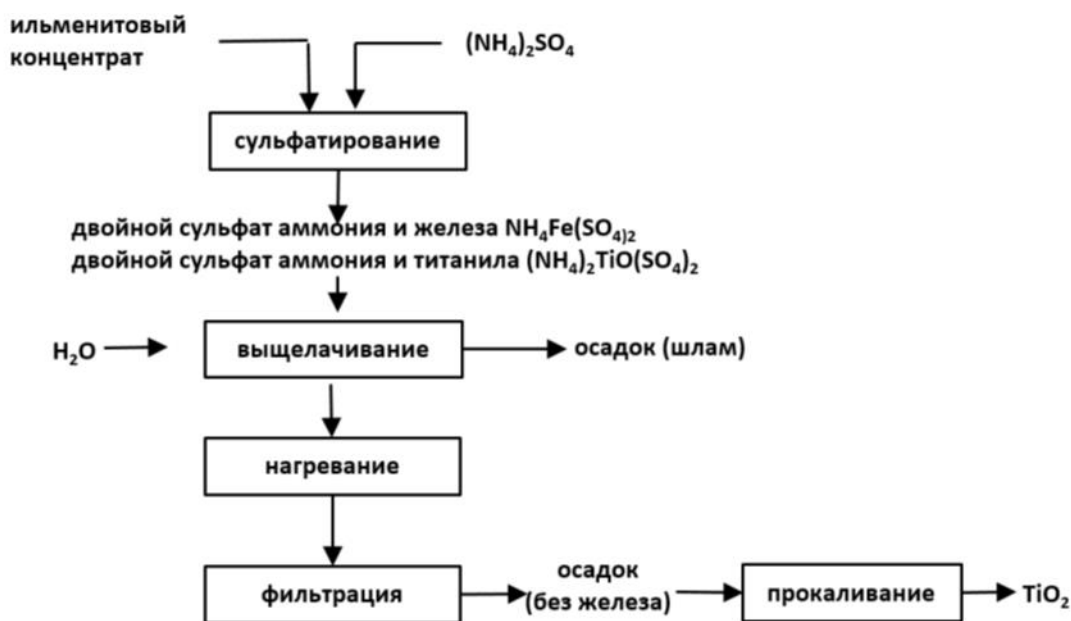


Рисунок 1 - Технологическая схема извлечения диоксида титана из ильменитового концентрата

3.2. Извлечение золота из немагнитной фракции смесью гидрофторида и сульфата аммония.

Немагнитная фракция в сущности представляет собой смесь (мас. %) анортита (36.9), кварца (24.3), роговой обманки (17.6), сфена (15.4) и циркона (3.8). Кроме того, в незначительных количествах присутствуют монацит, рутил и апатит. Из рудных минералов преобладают сульфиды (единичные зерна пирита, арсенопирита, антимонита и галенита) и самородные металлы (золото,

платина, цинк и никель). Химический состав немагнитной фракции характеризуется присутствием следующих основных компонентов (мас.%): SiO_2 (49.6), CaO (13.0), Al_2O_3 (11.0), TiO_2 (9.4), ZrO_2 (4.2), Fe_2O_3 (3.2). Концентрации золота при этом достигают 10.4 г/т, что и предопределило выбор материала немагнитной фракции в качестве предмета исследований. Для вскрытия шлиха использовали гидрофторид аммония NH_4HF_2 марки «х.ч.» и сульфат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ марки «х.ч.».

Вещественный состав немагнитного концентрата, как уже отмечалось выше, был представлен в основном анортитом $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ (алюмосиликат со структурой каркасного типа), кварцем, роговой обманкой (сложный алюмосиликат кальция, магния и железа), сфеном и цирконом. Известно, что алюмосиликаты природного происхождения, не содержащие кристаллизационной воды и ОН-групп, как правило, тугоплавки, термически устойчивы и не растворимы в воде, их взаимодействие с гидрофторидом аммония зависит от их структуры. Так, циркон, имеющий островную структуру, практически не взаимодействует с расплавленным гидрофторидом аммония. В тоже время слоистые, ленточные, цепочечные и островные силикаты, содержащие кристаллизационную воду и ОН-группы, реагируют с NH_4HF_2 уже при шихтовании. Некоторые безводные слоистые продукты вскрываются этим реагентом методом спекания при температуре 200-250°C [1]. Для сброса этой алюмосиликатной матрицы шлиха, содержащей примеси малоценных компонентов, использована смесь гидрофторида и сульфата аммония [2].

Исследование взаимодействия ариадненского шлиха со смесью гидрофторида и сульфата аммония показало, что при этом в интервале температур до 200°C протекает процесс фторирования компонентов минерального сырья NH_4HF_2 с разрушением кристаллической структуры минералов и образованием, согласно данным рентгенофазового анализа, простых фторидов металлов или их комплексных фтороаммониевых соединений составов: $(\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6$, CaF_2 , $(\text{NH}_4)_3\text{FeF}_6$, $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$. Дальнейшее повышение температуры сопровождается разложением сульфата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ с образованием кислого сульфата NH_4HSO_4 (>250°C), который при температурах 300-390°C вступает в реакцию взаимодействия с образовавшимися фторидами с получением согласно данным рентгенофазового анализа растворимых в воде двойных сульфатов составов: $(\text{NH}_4)_2\text{TiO}(\text{SO}_4)_2$, $(\text{NH}_4)_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$, $(\text{NH}_4)_2\text{Ca}_2(\text{SO}_4)_3$ и $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$. Присутствие в пробе алюминия при температурах до 200°C приводит к появлению комплексной фтороаммониевой соли алюминия $(\text{NH}_4)_3\text{AlF}_6$. Взаимодействие последней с NH_4HSO_4 заканчивается образованием растворимой в воде двойной соли $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2$.

Гексафторосиликат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$ не вступает в реакцию взаимодействия с NH_4HSO_4 , а переходит в газовую фазу и сублимирует ($T_{\text{суб}}=319^\circ\text{C}$). Кроме того, при этих температурах в газовую фазу переходят NH_3 и HF , сублимат которых может быть собран в виде фторидов аммония. Анализ собранных возгонов показал, что при сублимации гексафторосиликат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$ собирается в более горячей зоне конденсатора, а NH_4HF_2 – в более холодной. Разделить эти два продукта можно путем аммиачного гидролиза с

осаждением SiO_2 («белая сажа») и получением раствора NH_4F , либо путем селективной отгонки NH_4HF_2 ($t_{\text{кипения}} = 239.5^\circ\text{C}$) из этой смеси (рис. 2), и в дальнейшем использовать его в обороте.

На приведенной термограмме возгона, собранного при обработке немагнитного концентрата смесью NH_4HF_2 и $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ до температуры 390°C , первый эндотермический эффект относится к процессу выделения аммиака и образования NH_4HF_2 из NH_4F . Второй, протекающий с максимальной скоростью при 253°C , относится к процессу перехода в газовую фазу NH_4HF_2 , а конечный (с поглощением тепла и максимальной скоростью при 335°C) - в газовую фазу $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$.

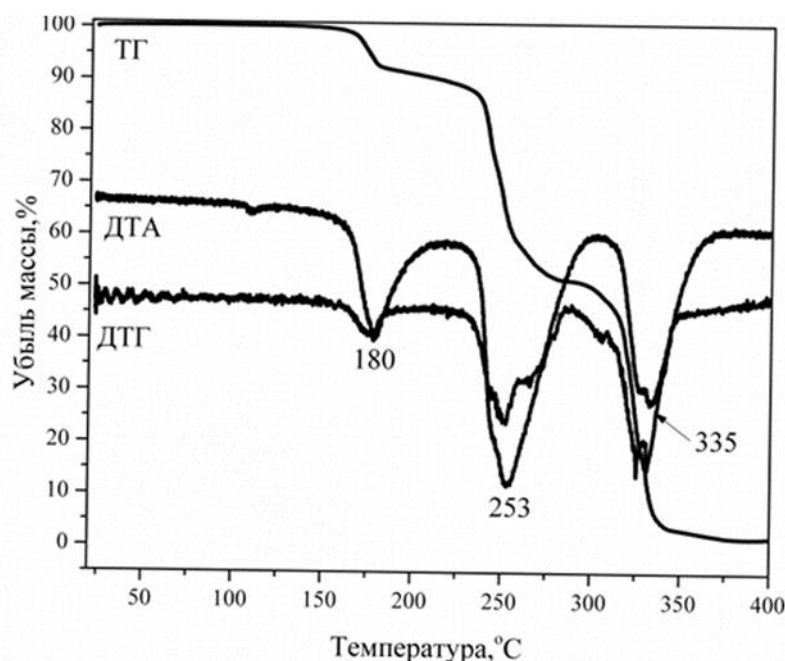


Рисунок 2 - Термограмма возгона, собранного при обработке немагнитного концентрата смесью NH_4HF_2 и $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ при температуре 390°C

Водное выщелачивание продукта взаимодействия шлиха со смесью NH_4HF_2 и $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ при температуре $340\text{--}360^\circ\text{C}$ позволяет перевести в раствор значительную массу исследуемого концентрата в форме хорошо растворимых в воде двойных сульфатов аммония. Следует отметить, что избыток NH_4HSO_4 , не вступивший в реакцию при вскрытии минерального сырья, остается в полученном продукте и при водном выщелачивании переходит в раствор вместе с сульфатами компонентов-примесей, обеспечивая рН раствора выщелачивания, равный 1-2. При небольшом нагревании (до $50\text{--}60^\circ\text{C}$) раствор выщелачивания мутнеет и образуется осадок белого цвета, появление которого обусловлено процессом гидролиза соли титана $(\text{NH}_4)_2\text{TiO}(\text{SO}_4)_2$ с образованием диоксида титана в форме анатаза. Этот способ позволяет полностью выделить титан из раствора выщелачивания.

Результаты нейтронно-активационного анализа содержания золота на различных стадиях переработки показали, что металл при выщелачивании не переходит в раствор, а полностью остается в нерастворимой фракции (табл.).

Так, обработка шлиха гидрофторидом аммония при температуре 190⁰С с выщелачиванием профторированного продукта водой (табл., опыт 1) и последующей обработкой нерастворимого остатка сульфатом аммония при 350⁰С (табл., опыт 2) позволяет сконцентрировать золото в нерастворимом остатке примерно в 10 раз. Дополнительная обработка этого остатка азотной кислотой (табл., опыт 3) еще более увеличивает концентрацию золота, указывая на возможность объединения операции фторирования и обработки сульфатом аммония. Обработка исходного немагнитного концентрата смесью гидрофторида и сульфата аммония с последующим водным выщелачиванием позволила сконцентрировать золото в нерастворимом осадке уже в 15 раз (табл., опыт 4). Повторная обработка нерастворимого остатка смесью гидрофторида и сульфата аммония в тех же условиях позволяет еще более увеличить степень концентрирования золота на два порядка (табл., опыт 5). При этом следует отметить, что кислотное выщелачивание нерастворимого остатка может быть заменено повторной обработкой смесью этих реагентов. Увеличение содержания NH₄HF₂ в смеси, используемой для вскрытия шлиха, заметно сказывается на степени концентрирования золота в нерастворимом остатке (таблица, опыт 6).

Таблица 1 - Результаты концентрирования золота

№	Условия обработки*	Исходное содержание Au, г/т	Содержание Au в нераствор. остатке, г/т	Степень концентрирования
1	Гидрофторид аммония (1:2.4), водное выщелачивание	10.4	54.6	5.26
2	Сульфат аммония (1:4), водное выщелачивание	54.6	106.0	1.9
3	Выщелачивание раствором азотной кислоты (16 %)	106.0	281.7	2.66
4	Смесь гидрофторида (1:2.4) и сульфата аммония (1:4), водное выщелачивание	10.4	159.7	15.4
5	Повторная обработка смесью гидрофторида (1:2.4) и сульфата аммония (1:4), водное выщелачивание	159.7	2315.6	14.5
6	Смесь гидрофторида (1:6) и сульфата аммония (1:4), водное выщелачивание	10.4	4207.7	405

* В скобках указано соотношение исходной навески концентрата и массы используемого реагента.

Полученный нерастворимый остаток представляет собой порошок черного цвета, являющийся, согласно данным рентгенофазового анализа, смесью фаз циркона и золота.

Необходимо отметить, что предлагаемый способ концентрирования золота с использованием смеси гидрофторида и сульфата аммония позволяет доизвлечь из растворов выщелачивания титан, частично перешедший из магнитной фракции, а также выделить из возгонов гексафторосиликат аммония и вернуть в оборот основную массу гидрофторида аммония.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные технологические исследования позволили наметить пути промышленного освоения ариадненских комплексных россыпей с применением методов пиро-гидрометаллургии. На начальном этапе из магнитного (ильменитового) концентрата с использованием сульфата аммония выделили диоксид титана. На заключительном этапе применение смеси сульфата и гидрофторида аммония позволило извлечь из немагнитного концентрата золото.

Предлагаемые технические решения по извлечению стратегических металлов из титаносодержащих россыпей с соблюдением принципов рационального природопользования и экологической безопасности являются лишь одним из первых шагов в комплексном освоении месторождений полезных ископаемых юга Дальнего Востока России. Очевидно, что дальнейшие исследования необходимо проводить в направлении углубления степени переработки, что позволит снизить затраты на получение отдельных продуктов и обеспечить более высокую эффективность производства.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование минералогии и геохимии шлиховых проб выполнено в рамках государственного задания ФГБУН Геологического института Дальневосточного отделения российской академии наук (тема № 0205-2025-0002. Регистрационный № НИОКТР 122040800199-8), технологии извлечения золота и титана выполнено за счет государственного задания ФГБУН Института химии Дальневосточного отделения российской академии наук (тема № FWFN (0205) - 2025-0002).

Список литературы

[1] Медков М.А., Крысенко Г.Ф., Эпов Д.Г. Способ переработки ильменитового концентрата. Патент РФ. 2020. № 2715193.

[2] Медков М.А., Крысенко Г.Ф., Эпов Д.Г., Дмитриева Е.Э. Разложение минерального сырья с использованием смеси гидрофторида и сульфата аммония. Химическая технология. 2022. № 10. С. 444-450. DOI: 10.31044/1684-5811-2022-23-10-444-450.

[3] Молчанов В.П., Медков М.А., Юдаков А.А. Пути промышленного освоения золото-ильменитовых россыпей ультрабазитов Сихотэ-Алиня. Наука Северо-Востока России: фундаментальные и прикладные исследования в Северной Пацифике и Арктике. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН. 2020. С. 118-120.

[4] Achimovicova M. et al. Alumino thermic production of titanium alloys (Part 1): synthesis of TiO₂ as input material. Metallurgical and Materials Engineering. 2014. V. 20 (2). P. 141–154.

[5] Dmitriev A.N., Smorokov A.A., Kantaev A.S., Nikitin D.S., Vit'kina G.Yu. Fluoroammonium Method for Titanium Slag Processing. Steel in Translation. 2022. Vol. 52. № 1. pp. 81–86.

[6] Ivannikov S.I., Markin N.S., Zheleznov V.V. Determination of uranium in solutions by the neutron activation analysis method with ²⁵²Cf radionuclide neutron source. Nuclear Technology and Radiation Protection. 2021. Vol. 36. № 1. P. 12–17. [https://doi: 10.2298/NTRP201217005I](https://doi.org/10.2298/NTRP201217005I).

[7] U.S. Geological Survey. Mineral commodity summaries 2018. 200 p.

[8] Zhang Y. Extraction of titanium from titanium-containing blast furnace slag by sulphate melting. Canadian journal of metallurgy and materials science 2014. V.53 (4). P. 440–443.

[9] Zhang W., Zhu Z., Cheng C. Y. A literature review of titanium metallurgical processes. Hydrometallurgy. 2011. V. 108. P. 177–188.

Вялый И.Е., Егоркин В.С., Минаев А.Н., Цветников А.К., Синебрюхов С.Л., Гнеденков С.В. МОРФОЛОГИЯ, ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕР-ОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ, ФОРМИРУЕМЫХ НА АЛЮМИНИЕВО-МАГНИЕВЫХ СПЛАВАХ

Вялый И.Е.¹, Егоркин В.С.¹, Минаев А.Н.^{1,2}, Цветников А.К.¹, Синебрюхов С.Л.¹, Гнеденков С.В.¹

¹ Институт химии ДВО РАН, 690022, Владивосток, проспект 100-летия Владивостока, 159

² Дальневосточный федеральный университет, Политехнический институт (школа), 690922, г. Владивосток

Аннотация. Алюминиево-магниево-магналии широко применяют в различных отраслях промышленности [1, 2], например, в судостроении, поскольку они обладают коррозионной стойкостью, хорошей свариваемостью и высокой пластичностью [3]. Однако зачастую в жестких эксплуатационных условиях такие материалы быстро теряют защитные свойства, что является причиной выхода из строя важных конструктивных элементов [4]. Вследствие низких трибологических свойств сплавов алюминия [5], изготавливаемые из них корпуса морских и речных судов подвержены фреттинг-износу [6].

Ключевые слова: алюминиево-магниево-магналии, коррозия, трибология, защитные покрытия.

В настоящее время существует необходимость в создании защитных поверхностных слоев, обладающих высокими механическими и

противокоррозионными свойствами. Метод плазменного электролитического оксидирования (ПЭО) и последующее нанесение полимера в пористую часть оксидного слоя позволяют формировать такие покрытия на поверхности изделий сложной геометрической формы [7, 8]. В данной работе в качестве полимера использовали поливинилиденфторид (ПВДФ) и для воздушного распыления на образец с ПЭО-покрытием приготавливали его 6 % раствор в N-метил-2-пирролидоне. Проведена сравнительная оценка защитных свойств ПЭО/ПВДФ-покрытий, сформированных на сплавах АМг3 и АМг6.

Формирование оксидной матрицы для полимерного слоя проводили в импульсном гальваностатическом режиме с длительностью импульсов 3,3 мс при плотности тока $1,65 \text{ А/см}^2$ в течение 3 мин. Водный раствор 0,6 г/л NaF, 20 г/л $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6\text{K}_2 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ послужил электролитом для оксидирования. Воздушное распыление 6 % раствора ПВДФ в N-метил-2-пирролидоне осуществляли с использованием краскопульта Dat Grand Land H-2000 (Karlux, Китай) с диаметром иглы 1,8 мм и при давлении 3–4 атм. После нанесения суспензии образцы помещали в сушильный шкаф и выдерживали в течение 3 ч при $40 \text{ }^\circ\text{C}$ для испарения растворителя.

Морфология ПЭО-покрытий характеризуется отсутствием микротрещин и однородным распределением по поверхности микротрубок с диаметром 250–300 нм (рис. 1 а, г). Проведенный с использованием программного обеспечения ImageJ (National Institutes of Health, США) анализ СЭМ-изображений поперечных сечений образцов показал, что покрытия, формируемые на сплаве АМг3, обладают большей пористостью (28,9 %), чем для сплава АМг6 (26,5 %), а значение толщины для обоих покрытий составляет около 11 мкм. Вследствие этого данный слой характеризуется более высокой плотностью тока коррозии ($2,1 \cdot 10^{-8} \text{ А/см}^2$), чем покрытие на образце сплава АМг6 ($1,7 \cdot 10^{-8} \text{ А/см}^2$). Анализ микроснимков с ЭДС-картированием для композиционных покрытий (КП) показал отсутствие дефектов/трещин на границе соприкосновения полимера с поверхностью микротрубок, свидетельствуя о высокой адгезии полимерного слоя к материалу матрицы, при этом общая толщина композиционного слоя для обоих сплавов алюминия составила около 30 мкм (рис. 1 б, в). Методом потенциодинамической поляризации установлено, что полимерсодержащие слои характеризуются почти на 5 и 3 порядка меньшей плотностью тока коррозии ($5,3\text{--}6,2 \cdot 10^{-11} \text{ А/см}^2$), по сравнению со значением данного параметра для незащищенных сплавов АМг3 ($1,1 \cdot 10^{-6} \text{ А/см}^2$) и АМг6 ($4,8 \cdot 10^{-8} \text{ А/см}^2$) соответственно.

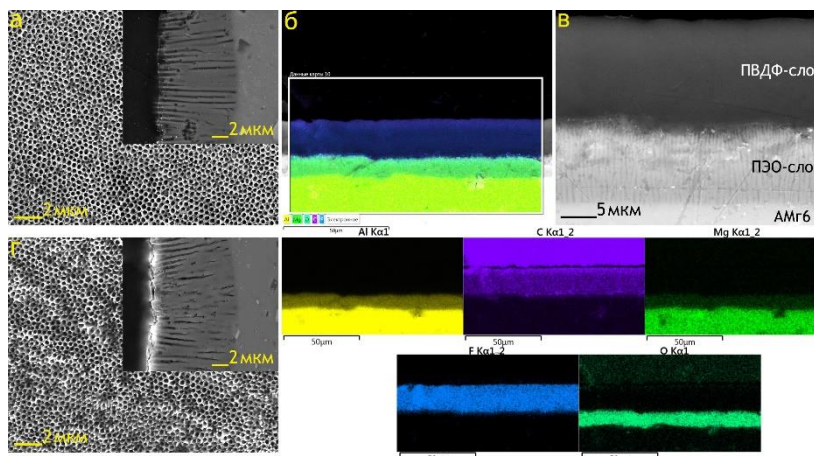


Рисунок 1 – СЭМ-изображения поверхности и поперечных шлифов ПЭО-слоев на сплаве АМг3 (а) и АМг6 (г), поперечных шлифов КП с ЭДС-картированием на сплаве АМг3 (б) и КП на сплаве АМг6 (в)

Трибологические испытания образцов АМг3 и АМг6 сплавов с композиционными покрытиями показали, что такие покрытия обладают значительно меньшим коэффициентом трения ($0,32 \pm 0,03$ и $0,29 \pm 0,02$ соответственно), по сравнению с ПЭО-обработанными образцами ($0,75 \pm 0,18$ и $0,70 \pm 0,11$). Проведённое скратч-тестирование данных образцов позволило установить, что первые признаки разрушения композиционного слоя наблюдаются при нагрузке 75 ± 2 Н и 77 ± 2 Н, а разрушение КП до металлической подложки происходит при 82 ± 3 Н и 84 ± 1 Н. Твердость по Виккерсу при нагрузке 100 Н для ПЭО/ПВДФ-слоя на обоих сплавах алюминия составила 49,90 HV10.2.

Таким образом, сформированные покрытия увеличили защитные свойства сплавов АМг3 и АМг6 до достаточного уровня при длительной эксплуатации в коррозионной среде и способны значительно расширить применение данных материалов в судостроении и других отраслях промышленности.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда, проект № 24-73-10008.

Список литературы

1. Осокин Е.П., Барахтина Н.Н., Павлова В.И., Алифиренко Е.А., Зыков С.А. Алюминиевые материалы в судостроении и эффективность их использования в промышленности // Технология легких сплавов. 2022. № 3. С. 69–84. DOI: 10.24412/0321-4664-2022-3-69-84.
2. Гайдукова А.М., Назарова Д.Ю., Конькова Т.В., Стоянова А.Д. Определение влияния параметров электрохимического полирования сплавов алюминия на шероховатость и отражательную способность поверхности // Цветные металлы. 2024. № 8. С. 40–47. DOI: 10.17580/tsm.2024.08.06.
3. Gnedenkov S. V., Sinebryukhov S.L., Egorkin V.S., Vyalyi I.E., Mashtalyar D. V., Nadaraia K. V., Ryabov D.K., Buznik V.M. Formation and properties of composite coatings on aluminum alloys // Russ. J. Inorg. Chem. 2017. Vol. 62. P. 1–11. DOI: 10.1134/S0036023617010065.

4. Егоркин В.С., Вялый И.Е., Синебрюхов С.Л., Гнеденков С.В. Морфология, состав и свойства ПЭО-покрытий, сформированных в тартратных электролитах на алюминиевом сплаве АМг61 // Цветные Металлы. 2024. № 12. С. 57–63. DOI: 10.17580/tsm.2024.12.06.

5. Yang X., Chen L., Jin X., Du J., Xue W. Influence of temperature on tribological properties of microarc oxidation coating on 7075 aluminium alloy at 25 °C –300 °C // Ceram. Int. 2019. Vol. 45. P. 12312–12318. DOI: 10.1016/j.ceramint.2019.03.146.

6. Achyuth K., Patel M., Sangral S., Jayaprakash M. Fretting wear degradation behavior of Al-Si-Ni based cast Aluminum alloy under different environment // Mater. Today Proc. 2019. Vol. 15. P. 103–108. DOI: 10.1016/j.matpr.2019.05.031.

7. Radwan A.B., Mohamed A.M.A., Abdullah A.M., Al-Maadeed M.A. Corrosion protection of electrospun PVDF–ZnO superhydrophobic coating // Surf. Coatings Technol. 2016. Vol. 289. P. 136–143. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2015.12.087.

8. Gnedenkov A.S., Kononenko Y.I., Sinebryukhov S.L., Filonina V.S., Vyaliy I.E., Nomerovskii A.D., Ustinov A.Y., Gnedenkov S.V. The Effect of Smart PEO-Coatings Impregnated with Corrosion Inhibitors on the Protective Properties of AlMg3 Aluminum Alloy. // Materials. 2023. Vol. 16. 2215. DOI: 10.3390/ma16062215.

Поляков А.В., Фомин Д.В., Шолыгин И.О., Рябов И.А. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ХИМИЧЕСКОГО И ЭПИТАКСИАЛЬНОГО РОСТА СИЛИЦИДОВ

*Поляков А.В., Фомин Д.В., Шолыгин И.О., Рябов И.А.
ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет»*

Амурская область, г. Благовещенск, ул. Игнатъевское шоссе, 21, 675027

Аннотация. Силициды металлов являются востребованными материалами для производства фото- и термоэлектрических преобразователей, оптодатчиков и т.д., поэтому у исследователей они вызывают большой интерес. В ходе анализа литературных источников установлено, что формирование плёнок силицидов тугоплавких металлов эффективно с помощью метода лазерно-индуцированного химического осаждения из паровой фазы. Для получения плёнок со структурой наноразмерных нитей востребованным методом является химическое осаждение из газовой фазы в трубчатой печи. Для синтеза твёрдых растворов, включающих в себя силициды металлов, оптимален метод прямого сплавления элементов с последующим горячим прессованием. Для формирования легированных плёнок соединений металлов с кремнием со слабо развитым рельефом с заданной толщиной при стабильной скорости осаждения, эффективным является метод молекулярно-лучевой эпитаксии. Менее затратными методами, по отношению к вышеперечисленным, являются твердофазная и реактивная эпитаксии.

Ключевые слова: силициды, тонкие плёнки, химические и эпитаксиальные методы

К силицидам относятся соединения металлов с кремнием. Особый интерес у исследователей эти соединения вызывают как материалы для производства фото- и термоэлектрических преобразователей, оптических датчиков и т.д. Для формирования силицидов используют химические и эпитаксиальные методы. К наиболее известным химическим методам относятся осаждение из газовой фазы и прямое сплавление элементов с последующим горячим прессованием. Так, одним из перечисленных методов является лазерно-индуцированное химическое осаждение из паровой фазы (рисунок 1).

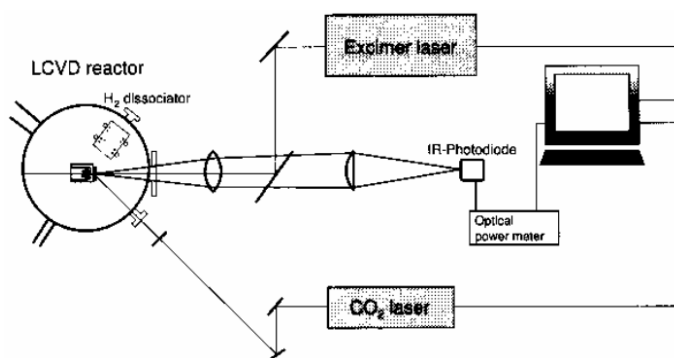
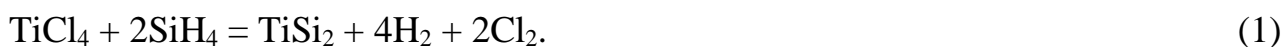


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

лазерно-индуцированного химического осаждения из паровой фазы [1]

Данным способом в работе [2] были получены плёнки дисилицида титана (TiSi₂) в результате химической реакции:



Благодаря высокой температуре газа в реакторе устранено загрязнение осаждённых слоёв хлором и другими примесями [1; 2].

Таким образом, лазерно-индуцированное химическое осаждение из паровой фазы является эффективным методом синтеза силицидов тугоплавких металлов, применяемых в МОП-технологии изготовления транзисторов [2; 3].

Другим методом получения силицидов является химическое осаждение из газовой фазы в трубчатой печи. В статье [4] представлен их синтез на основе протекания химической реакции металлической подложки с раствором кремнийсодержащего неорганического соединения (рисунок 2).

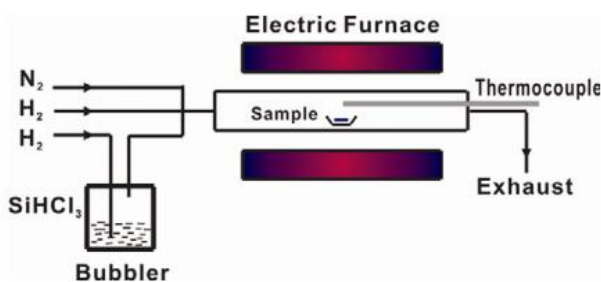


Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки синтеза плёнок на металлической подложке в трубчатой печи [4]

Таким способом в [4] были получены плёнки толщиной от 120 до 180 нм и тонкие – толщиной от 20 до 80 нм силицидов никеля на подложке Ni, что было подтверждено методом рентгеновской дифракции (рисунок 3).

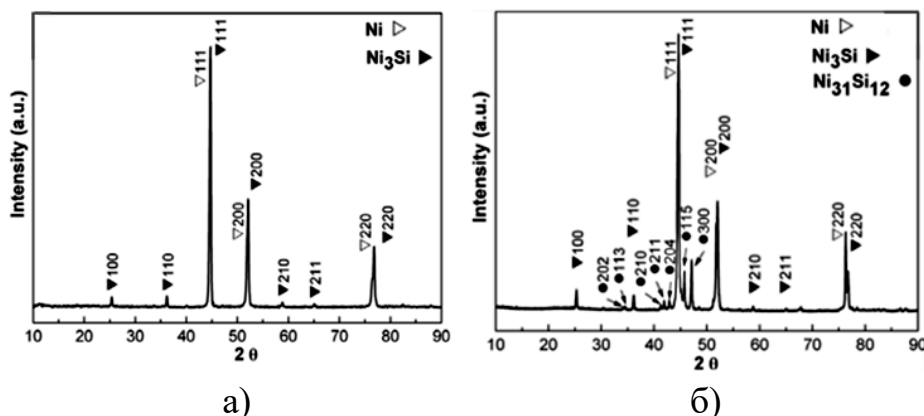


Рисунок 3 – Рентгенограммы толстых (а) и тонких (б) наноплёнок Ni_xSi_y [4]

Важно отметить, что плёнки Ni_3Si и $Ni_{31}Si_{12}$, являются проводниками. Эти плёнки перспективны для применений в контактных структурах [4].

В статье [5] представлен синтез плёнок дисилицида бария ($BaSi_2$) в трубчатой печи на кремниевой подложке в условиях вакуума под давлением потока гелия (He). Схема установки показана на рисунке 4.

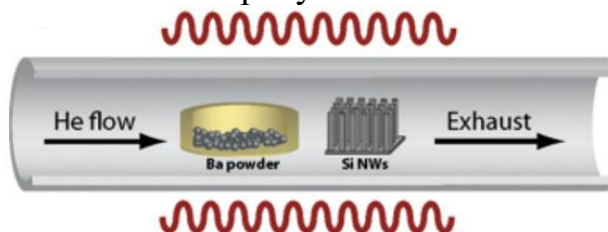


Рисунок 4 – Схема установки для ХОГФ плёнок $BaSi_2$ на подложке Si [5]

Формирование плёнок $BaSi_2$ происходило в результате протекания реакции:



В процессе эксперимента, описанного в работе [5], были сформированы плёнки $BaSi_2$ толщиной порядка 10 мкм со структурой наноразмерных нитей.

Плёнки $BaSi_2$ и гетероструктуры $BaSi_2/Si$ обладают полупроводниковыми свойствами. Плёнки $BaSi_2$ со структурой наноразмерных нитей перспективны для фотоэлектрических преобразователей [5].

Не меньший интерес у исследователей вызывает получение силицидов металлов и их твёрдых растворов методом прямого сплавления элементов с последующим горячим прессованием. Таким способом в статье [6] предлагается синтез твёрдого раствора Mg_2Sn-Mg_2Si . На рисунке 5 показана дифрактограмма, полученная при исследовании его методом рентгеновской дифракции.

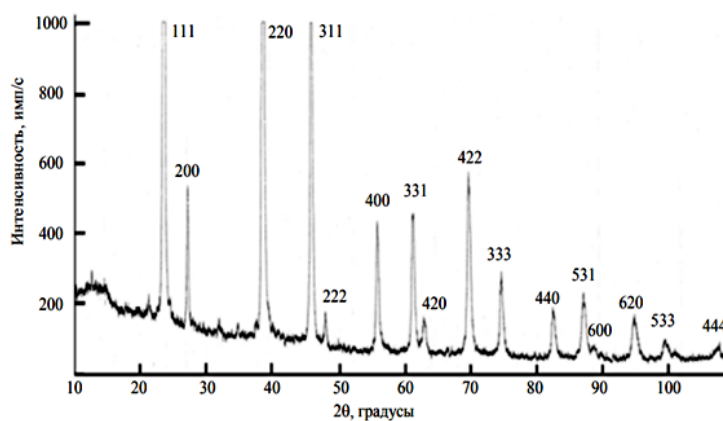


Рисунок 5 – Дифрактограмма образца твердого раствора $Mg_2Si_{0,3}Sn_{0,7}$ [6]

Твёрдый раствор $Mg_2Si_{0,3}Sn_{0,7}$ является перспективным материалом для термоэлектрических преобразователей [6].

Отдельно отстоят от рассмотренных химических методов роста силицидов эпитаксиальные методы. К ним относятся молекулярно-лучевая, твердофазная и реактивная эпитаксии. Формирование плёнок с использованием данных методов осуществляется в сверхвысоком вакууме (при давлении от 10^{-8} до 10^{-7} Па). Контроль скорости осаждения проводится с использованием кварцевого датчика. Особый интерес у исследователей вызывает молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ). Схема установки представлена на рисунке 6.

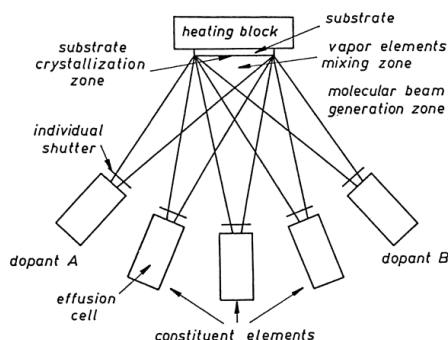


Рисунок 6 – Схема установки молекулярно-лучевой эпитаксии [7]

Данным методом в работах [8; 9] на кремниевых подложках были сформированы плёнки дисилицида бария ($BaSi_2$) толщиной порядка 100 нм и силицида магния (Mg_2Si) – 600 нм. При исследовании их методом рентгеновской дифракции был установлен стехиометрический состав плёнок (рисунок 7).

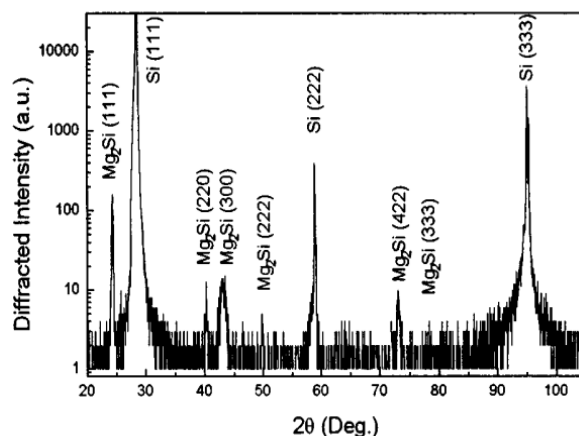


Рисунок 7 – Рентгенограмма плёнки Mg_2Si , полученной методом МЛЭ [9]

Метод молекулярно-лучевой эпитаксии позволяет получать на кремниевых подложках плёнки определённой толщины с высокой точностью. С использованием метода МЛЭ, можно формировать силициды металлов со слабо развитым рельефом поверхности, например, плёнки рассматриваемого Mg_2Si , являющиеся перспективным материалом для оптодатчиков и термоэлементов [9]. Менее затратными методами, по сравнению с МЛЭ, являются твердофазная и реактивная эпитаксии (ТФЭ и РЭ). Так были сформированы плёнки $BaSi_2$ и Mg_2Si на базе лабораторий АмГУ и ИАПУ ДВО РАН [10 - 12]. При этом наиболее оптимальным методом получения плёнок $BaSi_2$ является ТФЭ, а Mg_2Si – РЭ. Спектры, полученные при исследовании этих плёнок методом рентгеновской дифракции представлены на рисунке 8.

По результатам выполненной работы можно заключить следующее.

Методы химического осаждения из паровой фазы, реализуемые с использованием лазерного излучения, эффективны для синтеза соединений тугоплавких металлов с кремнием, применяемых в МОП-технологии.

Метод химического осаждения из паровой фазы в трубчатой печи, позволяет получать плёнки со структурой низкоразмерных нитей, являющихся перспективным материалом для создания фотоэлектрических преобразователей.

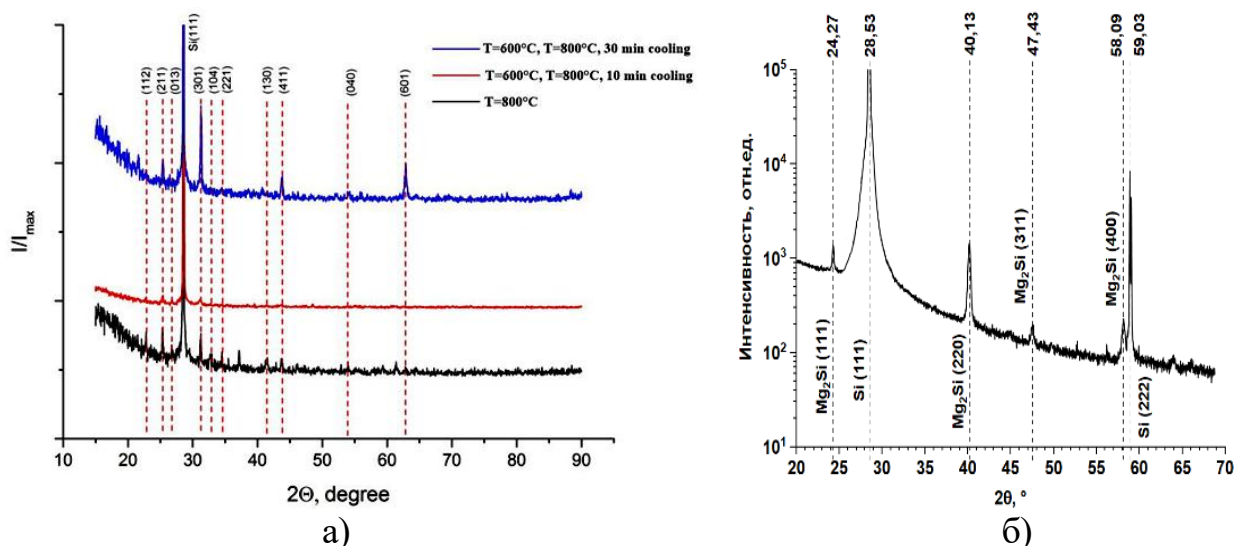


Рисунок 8 – Рентгеновские спектры плёнок $BaSi_2$ (а) и Mg_2Si (б),

сформированных твердофазной и реактивной эпитаксией соответственно

Метод прямого сплавления элементов с последующим горячим прессованием эффективен для синтеза твёрдых растворов, содержащих в своём составе соединения металлов с кремнием.

Метод молекулярно-лучевой эпитаксии позволяет получать плёнки силицидов металлов заданной толщины с высокой точностью, имеющих слабо развитый рельеф поверхности. Методы твердофазной и реактивной эпитаксии, по сравнению с МЛЭ, являются менее затратными.

Список литературы

1. Deposition of refractory coatings by LCVD / I. Zergioti [et al.] // *Optical and Quantum Electronics*. – 1995. – Vol. 27. – № 12. – P. 1377-1383. – DOI: 10.1007/BF00326489.
2. Уэст, Г.А. Лазерно-индуцированное химическое осаждение плёнок силицида титана из паровой фазы / Г.А. Уэст, К.В. Бисон, А. Гупта // *Журнал вакуумной науки и техники (часть А)*. – 1985. – № 3. – С. 2278-2282.
3. Технология формирования силицидов тугоплавких металлов для изделий микро- и наноэлектроники / Г. А. Мустафаев [и др.] // *Вестник Академии наук Чеченской Республики*. – 2020. – № 4 (51). – С. 28-32. – DOI 10.25744/vestnik.2020.51.4.005.
4. The facile synthesis of nickel silicide nanobelts and nanosheets and their application in electrochemical energy storage / Zhang H. [et al.] // *Nanotechnology*. – 2008. – Vol .19. – № 16. – P.165606. DOI: 10.1088/0957-4484/19/16/165606.
5. Synthesis and characterization of barium silicide (BaSi_2) nanowire arrays for potential solar applications / A. Pokhrel [et al.] // *Nanoscale*. – 2015. – Т. 7. – №. 41. – С. 17450-17456. DOI:10.1039/c5nr03668b.
6. Термоэлектрические свойства твердого раствора $\text{Mg}_2\text{Si}_{0,3}\text{Sn}_{0,7}$ р-типа, полученного методом горячего прессования / Г.Н. Исаченко [и др.] // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. – 2014. – № 3 (91). – С. 57-63.
7. Herman, M.A. Molecular beam epitaxy: fundamentals and current status / M.A. Herman, H. Sitter // *Springer Science & Business Media*. – 2012. – Т. 7. – 394 p.
8. Epitaxial growth of semiconducting BaSi_2 films on Si (111) substrates by molecular beam epitaxy / Y. Inomata [et al] // *Japanese Journal of Applied Physics*. – 2004. – Т. 43. – № 4A. – С. L478.
9. Thin film growth of semiconducting Mg_2Si by codeposition / A. Vantomme [et al] // *Applied Physics Letters*. – 1997. – Vol. 70. – № 9. – P. 1086-1088. – DOI:10.1063/1.118492.
10. Дубов В.Л. Формирование, структура, оптические и фотоэлектрические свойства текстурированных плёнок BaSi_2 на Si (111) и гетероструктур на их основе: дис. на соискание ученой степени канд. физ.-мат. наук 01.04.10. – Владивосток, 2019. – 124 с.

11. Оптические свойства пленки полупроводникового силицида Mg_2Si на Si (111) в области температурной стабильности / С.А. Доценко [и др.] // Химическая физика и мезоскопия. – 2010. – Т. 12. – № 3. – С. 376-381.
12. Плёнка Mg_2Si на Si (111), полученная методом сверхбыстрого реактивного осаждения Mg: структура и термоэлектрические свойства / И.М. Чернев [и др.] // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. – 2023. – Т. 16. – № 3.1. – С. 106-111.

Петров И.А., Афонский Н.И. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОННОГО РЫНКА СИГАРЕТ В РОССИИ

Петров Илья Алексеевич, Афонский Никита Игоревич

Передовая инженерная школа (Базовая кафедра "Биоэкономики и продовольственной безопасности") и Юридическая школа (Кафедра гражданского права и процесса)

Дальневосточный федеральный университет, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, п. Аякс, 10;

Индекс: 690922

Аннотация. В статье рассматривается ситуация на табачном рынке Российской Федерации, в частности, на рынке электронных сигарет. Уделено внимание законодательству в этой области, росту спроса электронные устройства, перемещению данного товара, а также его влиянию на здоровье человека. Цель исследования: обобщить ситуацию по популярности электронных сигарет. Из задач следует отметить: анализ рынка, химическая составляющая продукта, политика государств в отношении товара.

Ключевые слова: электронные сигареты, никотин, безвредность.

TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF THE ELECTRONIC CIGARETTE MARKET IN RUSSIA

Petrov Ilya Alekseevich, Afonskii Nikita Igorevich

Advanced Engineering School (Basic Department of Bioeconomics and Food Security) and Law School (Department of Civil Law and Procedure)

Far Eastern Federal University, Primorsky Krai, Vladivostok, Russky Island, Ajax settlement, 10;

Index: 690922

Abstract: the article examines the situation in the tobacco market of the Russian Federation, in particular, in the market of electronic cigarettes. Attention is paid to legislation in this area, the growing demand for electronic devices, the movement of this product, as well as its impact on human health. The purpose of the study is to summarize the situation regarding the popularity of electronic cigarettes. Among the

tasks, it should be noted: market analysis, the chemical component of the product, the policy of states regarding the product.

Keywords: electronic cigarettes, nicotine, harmlessness.

На сегодняшний день стал уже давно привычным тот факт, что население нашей страны употребляет не только классические сигареты, но также кальяны, электронные сигареты и снюс. Особенно любопытна становится ситуация с электронными сигаретами, которые примерно за 10 лет стремительно набрали популярность и стали пользоваться спросом как у молодого поколения, так и у поколений постарше.

Доказано, что курение сигарет является вредной привычкой, которая способна привести к необратимым последствиям, в том числе к мертворождению, раку легких, гангрене и т.п. Однако, на протяжении истории неоднократно возникали ситуации, когда правители разных стран (в частности, России) вводили запреты на курение сигар и сигарет, нарушение которых каралось вплоть до смертной казни, а затем, их преемники эти законы смягчали, либо же отменяли вовсе [4]. К примеру, так произошло в Ватикане, когда в 1624 году был введен строжайший запрет на курение, а в 1779 там же открылась собственное табачное производство [4]. Мировое сообщество начало бить тревогу об употреблении табака лишь со второй половины 20-го века [10]. В нашей же стране регулировать табачную отрасль начали всерьез с 2008 года [10].

Страны ищут разный подход к регуляции табачного рынка. В Казахстане это прежде всего запрет на продажу несовершеннолетним, а также предупреждение о вреде курения и обозначение предельно допустимых вредных веществ в табаке [4]. Если рассмотреть с этой точки зрения Китай, то там в принципе запретили онлайн-продажу сигарет и запретили к продаже электронные сигареты с фруктовыми вкусами [2].

Законодательство РФ в отношении регулирования электронных сигарет стало появляться лишь с 2018 года [5]. Все дело в том, что до этого не было классификации никотиносодержащей продукции, чем, безусловно пользовались участники рынка. 18 ноября 2019 года правительство Российской Федерации утвердило концепцию государственной политики по борьбе с потреблением табака и других никотиносодержащих продуктов на до 2035 года и в долгосрочной перспективе [5]. В 2020 году пришелся пик регуляции никотиносодержащей продукции. Чуть позже стало запрещено выпускать в оборот никотиносодержащую жидкость, в которой более 20 мг/мл данного вещества [5]. С 28 апреля 2023 года появился запрет на совершение скидок на никотиносодержащие устройства. Немного позже были повышены штрафы за продажу данной продукции несовершеннолетним. А с декабря того же года становится необходима обязательная маркировка жидкостей и одноразовых электронных сигарет, контролируемых системой "честный знак" [1]. Тем не менее, законодательство все ещё не совершенно в области электронных сигарет, так как не полностью решен вопрос касательно розничных цен.

Говоря о перемещении табака и его заменителей внутри ЕАЭС, необходимо сказать, что вводятся ограничительные меры, направленные на минимизацию

появления контрафакта. Тем не менее, его доля остается достаточно высокой. Так, в 2019 году он достиг своего наибольшего значения - 15,6% сигарет [8]. Это особенно негативно выражается на российской экономике тем, что государственная казна не получает многомиллионные налоги, а легальные табачные предприятия, находящиеся на нашей территории сворачивают производство, тем самым лишая населения трудоустройства. По статистике Росстата на данный момент в нашей стране курит около 34,2 млн чел [8]. В 2010 году зафиксирован самый большой выпуск сигарет - 405 млрд шт. [8].

Никотин - вещество, содержащее 72 канцерогенных элемента и присутствующее как в обычных сигаретах, так и в их аналогах [6]. Когда электронные устройства начинали осваивать рынок, у населения было устойчивое мнение, что альтернативные источники получения никотина безопасны или, во всяком случае безвредны. Сейчас, благодаря множеству проведенных исследований (к примеру, ухудшение здоровья, иммунитета и усугубления легочных заболеваний у студентов, анализ курящих беременных), мы можем констатировать, что все далеко не так однозначно, и данный формат употребления проявит свое негативное воздействие спустя годы или десятилетия, потому что он пришел в использовании относительно недавно. В том числе утверждается, что пропиленгликоль и глицерин, при их распадении, способны высвобождать вредные соединения, а также оказывать останавливающее воздействие на структуру белка [2,3,6,7,11].

Несмотря на запрет рекламы табачной и никотиносодержащей продукции по телевидению, на примере бренда электронных сигарет HQD мы видим, что они успешно продвигают продукт посредством рекламы в соцсетях, тесного общения с покупателем, посредством инфлюенсера и т.д. [9].

Рынок электронных сигарет продолжает стремительно развиваться в нашей стране. Новые вкусы, устройства, соответствие законодательству со стороны законопослушных игроков рынка свидетельствуют о закреплении данной ниши. И всё-таки, теневые обороты продукции, несовершенство закона, полулегальная продажа и не до конца изученный вред устройств мотивирует пристальнее относиться к торговым регуляциям и проводить качественные исследования как устройств, так и предлагающихся жидкостей в течение следующих лет.

Список литературы

1. Воинская, И. А. Акцизы на электронные сигареты в Российской Федерации / И. А. Воинская, О. А. Карташова // Наука через призму времени. – 2024. – № 5(86). – С. 29-31.
2. Исследование состава некоторых электронных систем дозирования никотина и их влияние на здоровье человека / Е. Н. Кравченко, А. Г. Булычев, С. А. Якута [и др.] // Балтийский морской форум: Материалы XI Международного Балтийского морского форума. В 8-ми томах, Калининград, 25–30 сентября 2023 года. – Калининград: Калининградский государственный технический университет, 2023. – С. 46-49.
3. Кузнецова, А. А. Влияние электронных сигарет на здоровье человека / А. А. Кузнецова, А. С. Проживарова // К вершинам науки: сборник научных

статей по результатам Всероссийского конкурса. – Елец: Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, 2023. – С. 3-6.

4. Нурлигенова, З. Н. Электронные сигареты в Казахстане: современное состояние, тенденции и влияние на здоровье населения / З. Н. Нурлигенова, М. Д. Полинков, Д. В. Калачев // Новая наука: теоретический и практический взгляд: материалы Международной (заочной) научно-практической конференции, София, 31 октября 2024 года. – Нефтекамск: Научно-издательский центр "Мир науки" (ИП Вострецов Александр Ильич), 2024. – С. 37-43.

5. Перехожих, И. В. Гражданско-правовое регулирование предпринимательской деятельности в области производства и гражданского оборота табачной и никотиносодержащей продукции / И. В. Перехожих // Актуальные проблемы права, государства и экономики: Сборник научных статей / Редколлегия: С.К. Жилиева [и др.]. – Орёл: Орловский юридический институт Министерства внутренних дел Российской Федерации имени В.В. Лукьянова, 2023. – С. 125-127.

6. Потребление никотинсодержащей продукции женщинами в период беременности / Л. Г. Киселева, С. Н. Васильева, Е. Д. Кожевников [и др.] // Профилактическая медицина. – 2023. – Т. 26, № 1. – С. 80-84.

7. Прудников, А. А. Сравнительное исследование функционального состояния легких у студентов, курящих и некурящих электронные сигареты, с помощью спирометрии / А. А. Прудников, Д. А. Дашковский, А. Д. Кузнецова // Молодой ученый. – 2023. – № 21(468). – С. 207-209.

8. Романова, Н. К. Современные тенденции развития экономики рынка табака в России / Н. К. Романова, В. А. Саломатин, А. А. Саввин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2023. – № 9(135).

9. Суздальцева, А. И. Персональные ценности как основа системы продвижения бренда электронных сигарет / А. И. Суздальцева, Т. А. Салтыкова, О. Е. Матушкина // Весенние дни науки ИнЭУ: Сборник докладов международной конференции студентов и молодых ученых, Екатеринбург, 17–20 апреля 2024 года. – Екатеринбург: ООО Издательский Дом «Ажур», 2024. – С. 448-451.

10. Тропман, Е. Ю. Никотинсодержащие изделия. Приверженность среди студентов УГМУ / Е. Ю. Тропман, Я. Р. Артамонова, М. С. Благодарева // Актуальные вопросы современной медицинской науки и здравоохранения: Сборник статей VIII Международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов, Екатеринбург, 19–20 апреля 2023 года. – Екатеринбург: «Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2023. – С. 1862-1868.

11. Ямщикова, Т. В. Влияние курения электронных сигарет на нарушение сна / Т. В. Ямщикова, И. А. Саэтгараев // Дневник науки. – 2024. – № 5(89).

References

1. Voinskaya, I. A. Excise taxes on electronic cigarettes in the Russian Federation / I. A. Voinskaya, O. A. Kartashova // Science through the prism of time. – 2024. – № 5(86). – pp. 29-31.
2. Investigation of the composition of some electronic nicotine dosing systems and their effect on human health / E. N. Kravchenko, A. G. Bulychev, S. A. Yakuta [et al.] // Baltic Sea Forum: Proceedings of the XI International Baltic Sea Forum. In 8 volumes, Kaliningrad, September 25-30, 2023. Kaliningrad: Kaliningrad State Technical University, 2023. pp. 46-49.
3. Kuznetsova, A. A. The influence of electronic cigarettes on human health / A. A. Kuznetsova, A. S. Komarova // To the heights of science: a collection of scientific articles based on the results of the All-Russian competition. Yelets: I.A. Bunin Yelets State University, 2023, pp. 3-6.
4. Nurligenova, Z. N. Electronic cigarettes in Kazakhstan: current state, trends and impact on public health / Z. N. Nurligenova, M. D. Polynkov, D. V. Kalachev // New science: theoretical and practical view: proceedings of the International (correspondence) scientific and practical Conference, Sofia, October 31, 2024. – Neftekamsk: Scientific Publishing Center "Mir Nauki" (IP Vostretsov Alexander Ilyich), 2024. – pp. 37-43.
5. Perekhozhikh, I. V. Civil law regulation of entrepreneurial activity in the field of production and civil turnover of tobacco and nicotine-containing products / I. V. Perekhozhikh // Actual problems of law, state and economics: Collection of scientific articles / Editorial board: S.K. Zhilyaeva [et al.]. – Orel: Orel Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation Federation named after V.V. Lukyanov, 2023. – pp. 125-127.
6. Consumption of nicotine-containing products by women during pregnancy / L. G. Kiseleva, S. N. Vasilyeva, E. D. Kozhevnikov [et al.] // Preventive medicine. – 2023. – Vol. 26, No. 1. – pp. 80-84.
7. Prudnikov, A. A. Comparative study of the functional state of the lungs of students who smoke and non-smokers of electronic cigarettes using spirometry / A. A. Prudnikov, D. A. Dashkovsky, A.D. Kuznetsova // Young Scientist. – 2023. – № 21(468). – pp. 207-209.
8. Romanova, N. K. Modern trends in the development of the tobacco market economy in Russia / N. K. Romanova, V. A. Salomatin, A. A. Savvin // International Scientific Research Journal. – 2023. – № 9(135).
9. Suzdaltseva, A. I. Personal values as the basis of the electronic cigarette brand promotion system / A. I. Suzdaltseva, T. A. Saltykova, O. E. Matushkina // InEU Spring Days of Science: Collection of reports of the International Conference of Students and Young Scientists, Yekaterinburg, April 17-20, 2024. Yekaterinburg: Azhur Publishing House, LLC, 2024, pp. 448-451.
10. Tropman, E. Y. Nicotine-containing products. Commitment among UGMU students / E. Y. Tropman, Ya. R. Artamonova, M. S. Blagodareva // Topical issues of modern medical science and healthcare: Collection of articles of the VIII International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students, Yekaterinburg, April 19-20, 2023. Yekaterinburg: Ural State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, 2023, pp. 1862-1868.

11. Yamshchikova, T. V. The effect of smoking electronic cigarettes on sleep disorders / T. V. Yamshchikova, I. A. Saetgaraev // Diary of science. – 2024. – № 5(89).

**Усольцев А.В., Шуй Д.А., Козлов П.Г. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ
СРЕДСТВ ПРЕОДОЛЕНИЯ РАЗРУШЕНИЙ И ПРЕПЯТСТВИЙ
ВООРУЖЁННЫХ СИЛ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И
ИНОСТРАННЫХ ГОСУДАРСТВ**

¹*Усольцев Анатолий Владимирович, ¹Шуй Дмитрий Анатольевич,
²Козлов Павел Геннадьевич*

¹*Тюменское высшее военно-инженерное командное ордена Кутузова училище
имени маршала инженерных войск А.И. Прошлякова, 625001, Российская
Федерация, г. Тюмень ул. Льва Толстого, д.1*

²*Дальневосточный федеральный университет, Военный учебный центр,
690922, Российская Федерация, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский,
п. Аякс, 10*

Аннотация: В статье приведен сравнительный анализ средств преодоления разрушений и препятствий, находящихся на вооружении инженерных подразделений Вооружённых Сил Российской Федерации и иностранных государств, целью которого явилось определить основные направления развития данных средств инженерного вооружения, показать лидерство или паритет.

Ключевые слова: средства инженерного вооружения (СИВ); Challenger-2; универсальная бронированная инженерная машина «Trojan»; задачи инженерного обеспечения; «Leopard-2»; бронированная инженерная машина «Kodiak»; боевая инженерная машина К600.

Инженерные войска Российской Федерации являются одними из наиболее разноплановых и технически насыщенных войск.

Система средств инженерного вооружения включает в себя свыше 600 наименований различных образцов и комплектов, при этом их классификация включает 75 типов средств.

Выделяемое финансирование позволило перейти к массовым поставкам современных средств инженерного вооружения. Так, с 2012 года принято на снабжение (вооружение) Вооружённых Сил Российской Федерации 152 новых средства инженерного вооружения, в том числе 9 средств в 2023 г. В частности, в 2020 – 2022 годах в войска поступило более 1 500 единиц инженерной техники, более 90 тысяч комплектов различного инженерного имущества и более 30 тысяч штук инженерных боеприпасов.

В 2023 году было спланировано и поставлено 880 единиц инженерной техники, порядка 400 тысяч комплектов инженерного имущества и более 40 тысяч штук различных инженерных боеприпасов. В настоящее время развитие отечественных средств инженерного вооружения проводится с учетом опыта

специальной военной операции и обеспечения превосходства над зарубежными аналогами.

Работа по разработке и созданию новых СИВ, отвечающих современным требованиям, ведется непрерывно по всем направлениям. Средства инженерного вооружения иностранных государств также не стоит на месте, имеет свое поступательное развитие и применяется в вооруженных конфликтах при выполнении войсками инженерных задач в различных видах боевых действий. Проведем сравнительный анализ средств преодоления разрушений и препятствий как Российской Федерации, так и иностранных государств, опираясь на задачи инженерного обеспечения, выявив при этом положительные и отрицательные стороны имеющихся средств.

Для повышения темпов перемещения войск в условиях ведения боевых действий в странах Западной Европы и США активно ведутся работы по созданию инженерных машин сопровождения войск. На машины возлагаются задачи по эффективному преодолению минно-взрывных и невзрывных заграждений, зон заражения, по подготовке и содержанию военных дорог и колонных путей в сжатые сроки. При этом машины должны действовать в условиях сильных разрушений, пожаров, огневого воздействия противника и возможного применения оружия массового поражения.

Одним из основных направлений развития инженерных машин сопровождения войск является их разработка на базе современных и перспективных танковых шасси и оснащение многофункциональным высокопроизводительным оборудованием.

В Великобритании развернута программа по созданию семейства инженерных машин сопровождения на базе танка Challenger-2. К ним относится универсальная бронированная инженерная машина «Trojan» (рис. 1).

Машина предназначена для оборудования окопов на огневых позициях войск, проделывания проходов в минных заграждениях, расчистки завалов и разрушений на маршрутах движения войск, подготовки подходов на участках форсирования водных преград.

Основное рабочее оборудование экскаваторное и бульдозерное. Бульдозерное оборудование оснащено аппаратурой автоматического регулирования глубины резания грунта, а за счет оснащения режущей кромки отвала съемными ножами может использоваться и как минный трал. Экскаваторное оборудование представляет собой шарнирно-рычажную стрелу, на рукояти которой крепятся ковш, грузовой крюк или захват.



Рисунок 1 - Универсальная бронированная инженерная машина «Trojan» (Великобритания)

Немецкая фирма «Rheinmetall AG» совместно со швейцарскими специалистами на базе танка «Leopard-2» создала новую бронированную инженерную машину «Kodiak» (рис. 2).



Рисунок 2 - Бронированная инженерная машина «Kodiak» (Германия)

Машина оснащена бульдозерным оборудованием, двумя лебедками и поворотной шарнирно-сочлененной стрелой, на которой могут крепиться экскаваторный ковш, механический захват и гидромолот. В движении для наблюдения за местностью используются три перископа, один из которых (центральный) может быть заменен прибором ночного видения. В дальнейшем машину предполагается дооборудовать видеокамерами, расположенными по периметру корпуса.

Боевая инженерная машина K600 разработана южнокорейской компанией Hyundai на базе танка K1A1 (рис. 3).



Рисунок 3 - Боевая инженерная машина К600 (Корея)

Машина К600 предназначена для поддержки мобильных операций механизированных частей, а также для оборудования окопов на огневых позициях войск, проделывания проходов в минных заграждениях, расчистки завалов и разрушений на маршрутах движения войск, подготовки подходов на участках форсирования водных преград.

Эта машина обеспечивает проделывание проходов в различных заграждениях и прокладку путей для основных боевых средств.

В качестве основного оборудования машина оснащена сплошным ножевым минным тралом с электромагнитной приставкой и экскаваторным оборудованием. Взамен минного трала может устанавливаться бульдозерное оборудование. Экскаваторное оборудование представляет собой шарнирно-рычажную стрелу с экскаваторным ковшом. Может применяться для подъёма и перемещения грузов массой до 2,5 тонн. Кроме того, машина оснащена комплектом обозначения проходов.

В настоящее время в Вооружённых Силах Российской Федерации для оборудования и содержания путей движения и маневра войск, в том числе и на радиоактивно зараженной местности, а также для преодоления невзрывных заграждений в условиях огневого воздействия противника, применяется инженерная машина разграждения ИМР-3 (рис. 4). Машина разработана на шасси танка Т-90 и включает универсальное бульдозерное оборудование и стрелу-манипулятор с универсальным ковшом. Особенностью конструкции машины является повышенная защита экипажа от проникающей радиации.



Рисунок 4 - Инженерная машина разграждения ИМР-3 (Россия)

В рамках ОКР «Робот-3» создана универсальная бронированная инженерная машина УБИМ на узлах и агрегатах танков Т-72Б3, Т-90М (рис. 5). Данная машина отличается усовершенствованным универсальным бульдозерным оборудованием, наличием шарнирно-рычажной стрелы с экскаваторным ковшом увеличенного объема и сменного оборудования в виде гидромолота для разрушения прочных железобетонных конструкций и разработки мерзлых грунтов. Дополнительно машина оснащена боевым модулем, тяговой лебедкой и электромагнитным тралом.



Рисунок 5 - Универсальная бронированная инженерная машина УБИМ (Россия)

Таблица 1 - Сравнительный анализ характеристик инженерных машин разграждения

Характеристики	Наименование образца ВВСТ (имеющийся)	Наименование перспективного образца ВВСТ (шифр НИР, ОКР)	Наименование перспективного образца ВВСТ, приведённого в сборнике		
	Инженерная машина разграждения ИМР-3	Универсальная бронированная инженерная машина УБИМ (ОКР «Робот-3»)	Универсальная бронированная инженерная машина «Trojan»	Бронированная инженерная машина «Kodiak»	Боевая инженерная машина К600
Страна	Российская Федерация	Российская Федерация	Великобритания	Германия	Корея
Год принятия на вооружение	1999	2021	Нет данных	Нет данных	Нет данных
База	Танк Т-90	Танк Т-72Б3, Т-90М	Танк Challenger-2	Танк «Leopard-2»	Танк К1А1
Техническая производительность: при прокладывании колонных путей, км/ч	12	15	10	12	12
при выполнении земляных работ, м ³ /ч: бульдозерным оборудованием	250-350	300-400	300	300	-
экскаваторным оборудованием	15-20	100-120	90	200	90
при проделывании проходов, м/ч: в каменных завалах	300-350	350-400	200-250	200-250	200-250
в лесных завалах	350-400	400-450	250-300	250-300	250-300
Грузоподъёмность стрелы, т	2	7,5	Нет данных	4,5	2,5
Скорость траления мин, км/ч	5...12	До 12	До 10	До 10	До 10
Максимальная скорость движения, км/ч	50	60	70	68	60
Вооружение: пулемет калибр, мм	12,7	12,7	Нет данных	7,62	12,7
Масса машины, т	50,8	54	60	59	55
Расчёт, человек	2	2+3	2	2	2

Вывод.

Состоящая на снабжении Вооружённых Сил Российской Федерации инженерная машина разграждения ИМР-3 по своим характеристикам не уступает существующим зарубежным аналогам. С принятием на вооружение УБИМ технический уровень инженерных машин разграждения будет выше, чем у аналогичных зарубежных образцов.

В настоящее время выполняется опытно-конструкторская работа по созданию универсальной бронированной инженерной машины (УБИМ) на узлах и агрегатах танков Т-72Б3, Т-90М, которая заменит в войсках инженерные машины разграждения и путепрокладчики, объединив в себе их достоинства, и превзойдёт по своим качественным показателям на 20-30%.

Список литературы

1. ОСТ 7.1.200-2003 Система общих технических требований к видам вооружения и военной техники. Средства инженерного вооружения. Общие тактико-технические требования.
2. Урбинов О.С., Сацик А.В., Козлов П.Г. Предложения в части совершенствования боевых возможностей и защищенности существующих и создания новых СИВ, учитывающие опыт специальной операции на Украине // в сборнике: «Наука и изобретения для жизни: Материалы II Всероссийского фестиваля». Владивосток: ДВФУ, ВОИР. 2024. С. 386-393
3. Шуй Д.А., Рылко А.Г., Козлов П.Г. Требования к уровню тактико-технических характеристик перспективных СИВ // в сборнике: «Наука и изобретения для жизни: Материалы II Всероссийского фестиваля». Владивосток: ДВФУ, ВОИР. 2024. С. 454-456