



МИНОБРНАУКИ
РОССИИ



УФИМСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

приоритет2030⁺
лидерами становятся

МАВЛЮТОВСКИЕ ЧТЕНИЯ

Том 6

Материалы

**XIX Всероссийской молодёжной научной конференции
(г. Уфа, 24 – 28 ноября 2025 г.)**



Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уфимский университет науки и технологий»

МАВЛЮТОВСКИЕ ЧТЕНИЯ

Том 6

*Материалы
XIX Всероссийской молодёжной научной конференции
(г. Уфа, 24 – 28 ноября 2025 г.)*

Научное электронное издание сетевого доступа

Уфа
Уфимский университет
2025

УДК 62
ББК 30
М12

*Публикуется по решению ученого совета
факультета ИХЗЧС УУНУТ.
Протокол № 27 от 28.11.2025 г.*

Редакционная коллегия:

д-р хим. наук, доцент **Э.Р. Латыпова** (*отв. редактор*);
д-р хим. наук, доцент **В.Р. Хайруллина**;
д-р экон. наук, профессор **С.Г. Аксенов**;
канд. геогр. наук, доцент **А.Н. Елизарьев**;
канд. техн. наук, доцент **Э.С. Насырова**;
канд. хим. наук, доцент **Н.В. Кострюкова**;
канд. экон. наук, доцент **И.Н. Губайдуллина**

Мавлютовские чтения: материалы XIX Всероссийской молодёжной науч-
M12 ной конференции (г. Уфа, 24–28 ноября 2025 г.) / отв. ред. Э.Р. Латыпова /
в 8 т. Т. 6 [Электронный ресурс] / Уфимск. ун-т науки и технологий. –
Уфа: Уфимский университет, 2025 – 451 с. – URL: [https://uust.ru/media/
documents/digital-publications/2025/397.pdf](https://uust.ru/media/documents/digital-publications/2025/397.pdf) – Загл. с титула экрана.

ISBN 978-5-7477-6320-3

Том 6: ISBN 978-5-7477-6321-0

В 6-й том сборника материалов конференции вошли статьи секций 6.1–6.3.
Сборник предназначен для студентов, аспирантов, молодых ученых и
преподавателей.

Все материалы представлены в авторской редакции.

Мероприятие проведено в рамках субсидии из федерального бюджета
образовательным организациям высшего образования на реализацию мероприятий,
направленных на поддержку студенческих научных сообществ (соглашение
№ 075-15-2025-429 от 23 мая 2025 г.).

УДК 62
ББК 30

ISBN 978-5-7477-6321-0 (том 6)
ISBN 978-5-7477-6320-3

© Уфимский университет, 2025

Содержание

СЕКЦИЯ 6.1 ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

АКБАШЕВА И.И., КОПЛИК А.Д., ШАЯХМЕТОВ У.Ш.

Исследование структуры и свойств двухкомпонентного нанокристаллического порошка на основе Al_2O_3 и SiO_2 10

АЛМАЕВ Б.Ф.

Влияние условий заморозки на свойства криоструктурированных материалов на основе смесей натриевых солей п-сукцинилхитозана и карбоксиметилцеллюлозы..... 13

АНДРЕЕВ Д.А., МАКСИМОВ Л.С.

Молекулярное моделирование потенциально активных 6-тиоурацилов как противовоспалительных лекарственных средств..... 15

АХМАДИЕВА Р.Р., ИСЛАМОВА К.И.

Синтез и характеристика высокочистого сульфата меди (II) для применения в качестве микроудобрения и фунгицида..... 18

БАШИРОВА З.А., СУЛТАНОВА А.И., ИЛЪЯСОВА Р.Р.

Темпоральный анализ электрохимического поведения электродных систем на основе углерода и сталей методом циклической вольтамперометрии на фоне NaCl..... 22

ВОЛКОВА А.А., СТЕПАНОВА П.А.

Вольтамперометрическая мультисенсорная система для контроля качества препаратов атенолола..... 28

ГАЛИМОВ М.Н.

Изучение факторов, влияющих на комплексообразование L-триптофана с ионами $Cu(II)$ 33

ГЕРАСИМОВА О.А., НАУМОВА А.Е.

Синтез и рентгенофазовый анализ карбоната бария медицинского назначения..... 38

ГЛОБУ Я.Р.

Проведение комплекса лабораторных и стендовых испытаний с целью исследования характеристик электронного устройства, предназначенного для защиты погружного оборудования от коррозии..... 41

ЖИГАЛОВА Е.А., КОВИНА К.Е., ИШУМБАЕВА О.Д.

Изучение закономерностей увеличения размеров наночастиц серы при их формировании из водных растворов полисульфида кальция..... 44

ЗАЙНАГАБДИНОВ Д.Э., ФЕДОТОВ Н.А.

Исследование составов и разработка технологии изготовления огнеупорной керамики..... 48

ЗАРИПОВ И.Р., САЛАХУДДИНОВ Р.Е., ХАММИДУЛИН А.Р.

Влияние состава и структуры кварц-пирофиллитовых керамических композитов на термический коэффициент линейного расширения и высокотемпературную ползучесть..... 51

ЗЕКИЕВА А.Ф., БУЛЫШЕВА Е.О., ЗИЛЬБЕРГ Р.А.

Разработка сенсора для энантиоселективного определения метионина с

использованием композита из хирального борофосфата меди (открытая каркасная структура) и наночастиц золота.....	54
ИШМАКАЕВА Г.И.	
Распознавание и количественный анализ энантиомеров напроксена методом дифференциально- импульсной вольтамперометрии.....	58
КАДЫРОВА Э.Р., БАКИЕВА Н.А., ШАЯХМЕТОВ У.Ш.	
Рентгенофазовый анализ и структурная характеристика порошка фракции 40-80 мкм.....	61
КОВИНА К.Е., ЖИГАЛОВА Е.А., ИШУМБАЕВА О.Д.	
Кинетика совместного осаждения наночастиц сульфатов щелочноземельных металлов и серы из полисульфидных растворов.....	66
КОПЛИК А.Д., АКБАШЕВА И.И., ШАЯХМЕТОВ У.Ш.	
Рентгенофазовый анализ алюмосиликатной керамики на основе корунда и оксида кремния.....	70
КОТУНЭ А.Ю., КАСИМОВА А.Р., ТИМУРШИНА Л.Д.	
Применение нитрата калия в качестве противогололедного реагента.....	73
МАКСИМОВ Л.С., АНДРЕЕВ Д.А.	
Методы QSAR в поиске новых ингибиторов 15-лог среди гомо- и гетероциклических соединений.....	75
МИГРАНОВА Р.Р., ШАЯХМЕТОВ У.Ш.	
Структурно-фазовый анализ и оценка деформационных характеристик образца наноструктурированной керамики на основе оксида алюминия...	78
МИГРАНОВА В.Р., БИЖАНОВА Г.Г., ГАРЕЕВ И.А.	
Комбинированный подход на основе фрактального и перколяционного анализа для высокоточной идентификации эфирных масел.....	80
МУХАМЕТДИНОВ Ч.Р., ЗИЛЬБЕРГ Р.А., ЕМАШЕВА А.А.	
Идентификация минеральных вод по природе и производителю с использованием стеклоуглеродных электродов модифицированных наночастицами.....	84
НАБУТОВА К.В., ЯХИНА Г.С.	
Влияние температурного отжига на физико-химические свойства полимерных композиционных материалов на основе полипропилена.....	89
НАБУТОВА К.В., ЯХИНА Г.С.	
Влияние содержания неорганического наполнителя на перерабатываемость композиций на основе поливинилиденфторида.....	93
НАУМОВА А.Е., АХМАДИЕВА Р.Р., ГЕРАСИМОВА О.А.	
Синтез и рентгенофазовый анализ сульфата бария.....	97
НИГМАТУЛЛИН И.Р., ШАГЕЕВ Н.А., ШАЯХМЕТОВ У.Ш.	
Композиционные керамические материалы на основе пиррофиллитового сырья месторождения Куль-Юрт-Тау и фосфатных связующих.....	100
НУХОВА В.Х.	
Влияние природы ингибитора на удаление покрытий с поверхности никелевых сплавов.....	105

ТИМУРШИНА Л.Д., КОТУНЭ А.Ю., КАСИМОВА А.Р. Синтез сульфата цинка в лабораторных условиях.....	106
ФЕДОТОВ Н.А., ЗАЙНАГАБДИНОВ Д.Э. Исследование влияния фракционного состава и температуры спекания на свойства пиррофиллитовых изделий.....	110
ШАГЕЕВ Н.А., НИГМАТУЛЛИН И.Р., ШАЯХМЕТОВ У.Ш. Исследование состава и структуры пиррофиллитового сырья месторождения Куль-Юрт-Тау.....	113
ЯНТУРИНА И.И., ГАРЕЕВА Э.Э. Рентгенофазовый анализ и структурная характеристика карбоната кальция.....	116

СЕКЦИЯ 6.2 АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

АХИЯРОВ И.И., СИДОРОВА А.Н. Мировые тренды и перспективы России в области технологий улавливания использования и хранения углерода CCUS.....	121
АХТЯМОВА П.Р., КОСТРЮКОВА Н.В. Анализ деятельности локомотивного депо как источника загрязнения окружающей среды.....	126
БАЙГУЖИНА Н.Б., НАФИКОВА В.И., ШАПОШНИКОВ А.С. Анализ последствий железнодорожной катастрофы в г. Аша (1989 г.).....	131
БИКБУЛАТОВА Д.Н. Профилактика профессиональных рисков в работе кислотчика.....	134
БИКТУБАЕВ К.А. Фиторемедиационные технологии очистки почв от нефтепродуктов....	137
БИКТУБАЕВ К.А. Экологическая экспертиза решений по очистке водной среды от микропластика: от мониторинга до оценки жизненного цикла технологий.....	140
БИЛАЛОВ И.А. Обеспечение безопасных условий труда на рабочем месте электрогазосварщика.....	144
БОНДАРЬ К.Е. Обеспечение безопасности при работе роторно-дисковых смесителей....	148
ВАЛЕЕВ И.И. Геоэкологический мониторинг и диагностика нефтезагрязнённых земель.....	151
ВАЛИЕВ А.Р. Охрана труда бурильщика эксплуатационного бурения скважин на нефть и газ.....	154
ГАФУРОВА А.Р. Геотубы как эффективная технология обезвоживания и утилизации донных отложений: обзор российского и зарубежного опыта.....	157

ГАФУРОВА А.Р.	
Современное состояние проблемы утилизации донных грунтов.....	162
ГИЛЕВА З.В.	
Анализ требований к установке постов автоматического контроля в населенных пунктах.....	167
ГИЛЕВА З.В., МУСИНА С.А.	
«Зеленые» рейтинги как механизм продвижения экологической ответственности в высшем образовании».....	172
ГУБАЙДУЛЛАЕВА С.Е.	
Совершенствование системы охраны труда на рабочем месте бурильщика нефтегазового месторождения.....	175
ЗАБИХУЛЛИН Ю.Г.	
Методы утилизации сварочного шлака.....	178
ЗИАНБЕРДИН И.И.	
Обеспечение безопасности труда в литейном производстве.....	182
ИСЛАМОВА Л.З.	
Анализ производственного травматизма на ПАО «ОДК-УМПО».....	185
КИРИЛЛОВА К.А., ФЕДЯНИНА А.М., ГЕРАСИМОВА А.И.	
Сравнительный анализ методов утилизации промышленных отходов.....	188
КОСЕНКО К.П., ШАМАКИНА А.А., МАЛОФЕЕВ Р.Е.	
Минерально-полимерные композиты как инновационное решение в обеспечении техносферной безопасности.....	192
МАКСЮТОВ А.М., ОХОТНИКОВА П.Д., ЗУБАИРОВ Н.И.	
Проблемы и перспективы внедрения инновационных материалов в системы автоматического пожаротушения.....	196
ШАЯХМЕТОВ М.А., БАЙРАМГУЛОВА К.Р., ФЕДОСОВ В.А.	
Анализ проблемы обеспечения пожарной безопасности в гостиничных комплексах.....	200
МАЛИКОВА Р.Р., МУСИНА С.А.	
Экологический аудит применения огнезащитных составов для металлических конструкций: оценка рисков и выбор наилучших доступных технологий (НДТ).....	204
МАЛИКОВА Р.Р.	
Особенности огнезащитной обработки металлических конструкций топливно-энергетического комплекса.....	209
МАЛОФЕЕВ Р.Е., ХАЙРУЛЛИН А.И., ЗУБАИРОВ Н.И.	
Вторичные поражающие факторы эффекта BLEVE и их влияние на развитие чрезвычайной ситуации.....	214
МАНСУРОВ В.Н., КУСОВА И.В.	
Фиторемедиация как объект экологической экспертизы: методы и критерии оценки при очистке сточных вод от ионов тяжелых металлов...	218
МАНСУРОВ В.Н., КУСОВА И.В.	
Обзор технологий фиторемедиации.....	223

МАРДАМШИНА Н.Ш.	
Растительные отходы как компонент для производства новых материалов	227
МАРДАМШИНА Н.Ш.	
Подушки с наполнителем из отходов как альтернативное средство для ликвидации разливов.....	230
МУНЗАРОВА А.Р.	
Антибиотики в речных экосистемах мира.....	233
МУНЗАРОВА А.Р.	
Современные методы очистки сточных вод от антибиотиков.....	237
НАСЫРОВА Э.А.	
Разработка мероприятий по снижению негативного воздействия горно-обогатительного комбината на поверхностные воды.....	242
НАФИКОВА В.И., БАЙГУЖИНА Н.Б., ШАЯХМЕТОВ М.А.	
Анализ причин Ашинской катастрофы 1989 года.....	246
НУРМУХАМИТОВ М.Д.	
Пожаровзрывоопасность водорода в машинном зале электростанции.....	249
ОСТРОВСКАЯ Е.С., ЯКУПОВА Э.Р., КУЗНЕЦОВА В.Д.	
Анализ деятельности металлургического комбината как источника загрязнения окружающей среды.....	252
ОСТРОВСКАЯ Е.С., ЯКУПОВА Э.Р., КУЗНЕЦОВА В.Д.	
Оценка условий труда на рабочем месте гальваника.....	255
ОХОТНИКОВА П.Д., БАЙРАМГУЛОВА К.Р., ШАПОШНИКОВ А.С.	
Экологические аварии разливов нефти на промышленных предприятиях в Российской Федерации.....	259
ПОПОВ С.С.	
Экологические аспекты функционирования фармацевтических предприятий.....	263
ПОПОВ С.С.	
Оценка техногенных рисков и обеспечение безопасности фармацевтических предприятий в условиях карстоопасных территорий	267
РОГАТИНА М.Е.	
Особенности работы электромонтера электростанций.....	270
РОСТОВЩИКОВА А.Э.	
Современные методы оценки фитотоксичности нефтезагрязненных почв.....	273
РОСТОВЩИКОВА А.Э.	
Биологическая рекультивация нефтезагрязненных почв: современные технологии, эффективность и ограничения.....	276
РЫБАКОВА В.С.	
Перспективы больших языковых моделей в научных исследованиях антипиренов.....	280
РЫБАКОВА В.С.	
Экологические риски и токсикологические аспекты огнезащитных антипиренов.....	283

САФОНОВА А.И.	
Геоэкологические механизмы восстановления почв, загрязненных нефтепродуктами.....	289
САФОНОВА А.И., СИДОРОВА А.Н.	
Обзор влияния полимерных материалов и микропластика на окружающую среду и человека.....	293
СУБЫЧЕВА А.А., ГУРЬЯНОВ Е.С., ГАЙНЕТДИНОВА Э.А.	
Обзор методов оценки профессиональных рисков на производственных объектах с обращением ацетона.....	297
СУНЯЙКИН И.С., МАКСЮТОВ А.М., ФЕДОСОВ В.А.	
Анализ загрязнения атмосферного воздуха транспортными средствами...	300
ФАТКУЛЛИН Д.Р.	
Разработка пассивного экзоскелета.....	305
ФЕДЯНИНА А.М.	
Оценка качества воды с применением фрактального анализа.....	310
ФЕДЯНИНА А.М.	
Влияние загрязненной воды на окружающую среду.....	315
ХАБЛЕТДИНОВА А.Х.	
Фиторемедиация почв Туканского железорудного карьера, загрязненных никелем: комплексный подход с утилизацией биомассы.....	320
ХАБЛЕТДИНОВА А.Х.	
Роль экологической экспертизы в обосновании программ мониторинга и мероприятий по снижению негативного воздействия на почвы.....	325
ХАЙБУЛЛИНА Я.И., МУРТАЗИН Д.А.	
Обеспечение техносферной безопасности: мониторинг и анализ вреда бензола в компонентах окружающей среды.....	329
ХАМИТОВ Ф.Р.	
Компоненты состава природных вод, определяющие качество водного объекта.....	332
ХАМИТОВ Ф.Р.	
Оценка качества водных объектов по химическому составу воды.....	335
ХАНАФИН А.А.	
Микробиологические процессы в почвах, загрязненных нефтепродуктами.....	338
ХАНАФИН А.А.	
Интегральные индексы оценки эффективности рекультивации нефтезагрязнённых земель.....	342
ЧАШНИКОВА А.А.	
Методы очистки песка от мазута.....	345
ЧАШНИКОВА А.А.	
Физико-географические факторы формирования качества вод.....	348
ЧУРСИН Д.С.	
Анализ последствий разливов фотополимерных материалов на почву.....	351

ШАЙХУЛЛИНА Р.Р.	
Обеспечение безопасных условий труда дозиметриста.....	355
ШАЙХУЛЛИНА Р.Р.	
Остекловывание как технология безопасного обращения с высокоактивными отходами.....	358
ШАМАКИНА А.А., КОСЕНКО К.П., ГУРЬЯНОВ Е.С.	
Обеспечение техносферной безопасности: мониторинг и анализ ацетальдегида в компонентах окружающей среды.....	362
СЕКЦИЯ 6.3 ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	
АХМЕДЖАНОВА Э.Р., АКСЕНОВ С.Г.	
Влияние психологических барьеров на поведение людей при эвакуации из горящего здания.....	366
БАЕВА А.Ф.	
Критерии и условия формирования производственных источников загорания: анализ методов обеспечения пожарной безопасности.....	369
ГАЙНЕТДИНОВА Э.А., СИНАГАТУЛЛИН Ф.К.	
Профилактика и тушение лесных пожаров в условиях изменчивого климата.....	372
ГАРЕЕВА Я.Э.	
Методы обучения населения основам пожарной безопасности: системный анализ и перспективы развития.....	375
ИСБЕРГЕНОВА С.И.	
Система газового и порошкового пожаротушения.....	378
КАЗАЗАЕВА Е.М.	
Обзор системы пожаротушения литий-ионных аккумуляторов.....	381
КАРИМОВ А.И., ГАЛЕЕВ Р.Р.	
Умные пожарные извещатели 2.0.....	384
МАКСИНА К.А.	
Пожарные автолестницы.....	389
НАСИБУЛЛИН М.О.	
Роль пожаротушения на объектах воздушного транспорта.....	392
ПОПОВИЧ Е.В., ГУБАЙДУЛЛИНА И.Н.	
Огнезащитная обработка деревянных конструкций.....	397
ПРОХОРОВА А.А., КАЛЬМЕТЬЕВ Э.И., МИНАСОВ Ш.М.	
Модели и алгоритмы автоматизированного определения категорий пожаробезопасности помещений на основе цифровой модели здания.....	401
РАХМАТУЛЛИНА Д.М.	
Система пенного тушения на нефтеналивных эстакадах.....	406
РИЯНОВ И.Р., СИНАГАТУЛЛИН Ф.К.	
Использование искусственного интеллекта для прогнозирования и предотвращения пожаров на промышленных объектах.....	411
САЙФУЛЛИН В.А.	
Современные методы предотвращения пожаров в жилых дом.....	416

САЛЯЕВА А.С., АКСЕНОВ С.Г.	
Проведение учений по пожарной безопасности: важность и методология.....	421
УРМАНШИНА Д.А.	
Базальтовый огнезащитный утеплительный материал, его производство, свойства и сфера использования.....	424
ШАЙМОРДАНОВА Г.А., ИСИНБАЕВА М.В.	
Сравнительный анализ пожарной безопасности в странах с разным уровнем развития.....	428
ШИРЫКАЛОВ И.С., ГУБАЙДУЛЛИНА И.Н.	
Коптеры как эффективное средство тушения пожаров высотных зданий.....	433
ЯГАФАРОВА А.Р.	
Молниезащита автозаправочных станций.....	437
ЯГАФАРОВА А.Р.	
Пожарные гидранты.....	440
ЯРИЕВА З.Р.	
Пожарная каланча – старинный символ современного города.....	443
ЗИННАТУЛЛИНА Д.Х., СМIRНОВ И.А.	
Передовые методы тушения пожаров после атаки БПЛА.....	446

СЕКЦИЯ 6.1 ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 546

И.И. АКБАШЕВА, А.Д. КОПЛИК, У.Ш. ШАЯХМЕТОВ

akbasheva.ilina@mail.ru

Науч. руковод. – канд. хим. наук, доцент **Б.С. АХМЕТШИН**

Уфимский университет науки и технологий

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ДВУХКОМПОНЕНТНОГО НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ПОРОШКА НА ОСНОВЕ Al_2O_3 И SiO_2

Аннотация: в работе представлены результаты комплексного исследования структуры и физико-химических свойств двухкомпонентного порошка, состоящего из оксидов алюминия и кремния. Методом рентгенофазового анализа изучены фазовый состав, кристаллическая структура и размерные характеристики материала.

Ключевые слова: нанокристаллические материалы; оксид алюминия; оксид кремния; рентгенофазовый анализ; двухкомпонентные системы

Двухкомпонентные системы на основе оксидов алюминия и кремния представляют значительный интерес для современного материаловедения благодаря их уникальным физико-химическим свойствам и широкому спектру практического применения [1,2]. Особый интерес представляет исследование их структуры на нанометровом уровне, что открывает новые возможности для создания функциональных материалов.

Процесс синтеза материала осуществлялся солевым методом с использованием следующих реагентов: алюминийнитрата нонагидрата $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$, тетраэтоксисилана (ТЕОС) $Si(OC_2H_5)_4$, водного аммиака (25 %), этанола и дистиллированной воды. Методика синтеза включала последовательное растворение 5,0 г $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ и 2,0 г ТЕОС в смеси этанола и воды, осаждение NH_4OH до достижения $pH \approx 9$, формирование белого геля, его выдержку при 25 °С в течение 2 часов, фильтрацию, промывку и сушку при 80 °С в течение 12 часов. Финальная стадия представляла собой термическую обработку при 800 °С в течение 2 часов со скоростью нагрева 5 °С/мин.

Методология исследования включала рентгенофазовый анализ на дифрактометре с $Cu-K\alpha$ излучением [3], определение параметров кристаллической решётки, расчёт размеров кристаллитов методом Шеррера и анализ микронапряжений по методу Уильямсона-Холла.

Для подтверждения фазового состава полученных образцов были проведены рентгенофазовые исследования (РФА). На рис. 1 представлены дифрактограммы синтезированных образцов оксида алюминия и оксида

кремния.

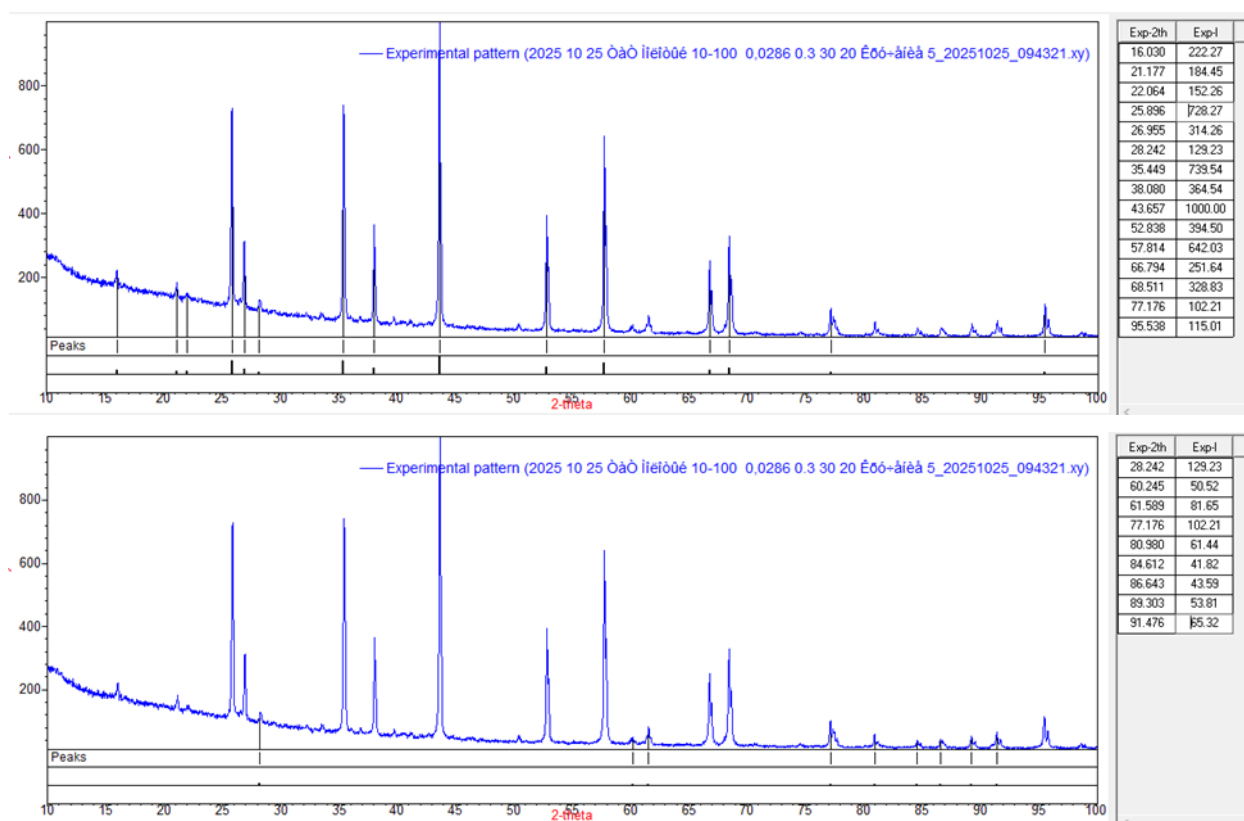


Рис. 1. Дифрактограммы синтезированных образцов оксида алюминия и оксида кремния

Дифрактограмма Al_2O_3 демонстрирует характерные пики, соответствующие тригональной модификации корунда. Наблюдаемые углы дифракции (2θ) и интенсивность пиков согласуются с эталонными данными для $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Анализ ширины пиков позволил определить средний размер кристаллитов методом Шеррера, который составил [значение] нм.

Дифрактограмма SiO_2 показывает наличие характерных рефлексов, подтверждающих формирование требуемой фазы. Положения пиков и их интенсивность соответствуют литературным данным для $\alpha\text{-SiO}_2$. Наблюдаемая текстура образца отражается в анизотропии интенсивности некоторых пиков.

Установлено наличие двух фаз с характерными параметрами кристаллической решётки. Для $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ определены параметры $a = 4,758 \pm 0,008 \text{ \AA}$ и $c = 12,989 \pm 0,02 \text{ \AA}$, для $\alpha\text{-SiO}_2$ – $a = 4,912 \text{ \AA}$ и $c = 5,404 \text{ \AA}$ [4]. Сингония обеих фаз – тригональная.

Размерные характеристики кристаллитов составляют $16,4 \pm 1,8 \text{ нм}$ для Al_2O_3 и $15,8 \pm 2,3 \text{ нм}$ для SiO_2 [5], что подтверждает нанокристаллический характер материала. Физико-химические свойства компонентов характеризуются высокой плотностью [6] ($3,98\text{-}4,01 \text{ г/см}^3$ для Al_2O_3 и $2,65 \text{ г/см}^3$ для SiO_2), твёрдостью (9 и 7 по шкале Мооса соответственно) и высокими температурами плавления.

Исследование микронапряжений методом Уильямсона-Холла показало наличие неоднородных напряжений в структуре материала [7]. Для Al_2O_3 определены относительные микронапряжения $\epsilon \approx 0,3\text{--}0,7\%$, характеризующиеся слабым ростом FWHM с увеличением 2θ . Для SiO_2 обнаружено значительное уширение пиков и повышенное рассеяние, что указывает на возможную частичную аморфизацию поверхностных слоёв.

Механизм возникновения напряжений связан с термическим сжатием при охлаждении и несоответствием коэффициентов термического расширения фаз: $\alpha_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 8,1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ и $\alpha_{\text{SiO}_2} = 12,3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Качественный анализ выявил неоднородность кристаллов по размеру и наличие локальных дефектов структуры.

Таким образом, проведённое исследование позволило получить значимые результаты в области разработки двухкомпонентного нанокристаллического порошка. Разработан эффективный метод синтеза материала с контролируемыми характеристиками, установлены основные физико-химические свойства и структурные особенности.

Полученный материал представляет собой перспективную основу для создания новых функциональных материалов благодаря контролируемому размеру кристаллитов, высокой чистоте состава и уникальному сочетанию свойств компонентов. Возможность модификации структуры открывает широкие перспективы для создания материалов с заданными свойствами.

Дальнейшие исследования позволят расширить возможности практического применения материала и оптимизировать технологические процессы его получения, что создаст основу для разработки новых функциональных материалов с улучшенными характеристиками.

Библиографический список

1. Иванов И.И. Методы синтеза нанокристаллических материалов // Нанотехнологии. 2024. № 1. С. 12-25.
2. Петров А.А. Рентгенофазовый анализ в материаловедении. М.: Наука, 2024. 245 с.
3. Сидоров В.В. Физические свойства оксидных систем. СПб.: Политехника, 2024. 312 с.
4. Шаяхметов У.Ш. Особенности формирования структуры оксидных наноматериалов // Физика и химия материалов. 2023. № 4. С. 45-58.
5. Смирнов А.В. Наноструктурные материалы: синтез и свойства. М.: Физматлит, 2023. 289 с.
6. Кузнецов Н.Н. Физико-химические свойства оксидов. СПб.: Политехника, 2024. 312 с.
7. Васильев С.В. Методы исследования микронапряжений в кристаллах. М.: Наука, 2024. 198 с.

© Акбашева И.И., Коплик А.Д., Шаяхметов У.Ш., 2025

Б.Ф. АЛМАЕВ

almaevbulat@yandex.ru

Науч. руковод. – канд. хим. наук, доц. **М.В. БАЗУНОВА**

Уфимский университет науки и технологий

**ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЗАМОРОЗКИ НА СВОЙСТВА
КРИОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ
НАТРИЕВЫХ СОЛЕЙ N-СУКЦИНИЛХИТОЗАНА И
КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ**

Аннотация: в работе исследуется влияние технологических параметров получения ранозаживляющих материалов на основе биорезорбируемых полисахаридов (натриевых солей N-сукцинилхитозана и карбоксиметилцеллюлозы) на их физико-механические свойства. Авторы изучили влияние толщины слоя исходного полимерного раствора на свойства криоструктурированных материалов, получаемых методом лиофильной сушки.
Ключевые слова: сукцинилхитозан; карбоксиметилцеллюлоза; лиофильная сушка; криоструктурирование

В настоящий момент традиционные тканевые ранозаживляющие материалы постепенно заменяются на материалы на основе биорезорбируемых полимеров, в частности, полисахаридов, среди которых перспективные характеристики демонстрируют материалы на основе натриевых солей N-сукцинилхитозана и карбоксиметилцеллюлозы. Однако активному применению в клинической практике подобных материалов препятствует их неоптимальный с точки зрения взаимодействия с организмом человека и с точки зрения эксплуатации изделия комплекс физико-механических и структурных свойств, в том числе прочность, эластичность и пористость. При этом криоструктурированные материалы, полученные посредством лиофильной сушки, традиционно демонстрируют более высокие показатели пористости по сравнению с материалами, полученными посредством сушки под атмосферным давлением. Существенное влияние на свойства подобных материалов оказывают условия различных этапов обработки исходных растворов, например, толщина слоя исходного раствора в форме в процессе заморозки.

Образцы ранозаживляющих покрытий получали разливом формовочного раствора полимеров в чашки Петри диаметром 84 мм, после чего замораживали при температурах -80°C в течение 3,5 часов. Затем формы с полимерными растворами помещали в лиофильную сушилку FLOM FD-1600B и сушили при давлении 0,1 Па в течение 48 часов.

Толщину ранозаживляющих покрытий вычисляли ручным микрометром с точностью измерения 0,01 мм. Значение плотности брали как среднее

арифметическое из трех параллельных измерений.

Изучение физико-механических свойств пленочных материалов проводили на универсальной разрывной машине AGS–10 kNG «Trapezium–X» марки «Shimadzu», с ПО «PlasticTensileTest» в соответствии с ГОСТ 14236-81. Размеры образцов: 50 мм x 10 мм, скорость растяжения – 1 мм/мин. Разрывное напряжение σ (Н/мм²) определяли с учетом площади поперечного сечения пленочного образца. Относительное удлинение при разрыве $\Delta l/l_p$ (%) рассчитывали с учетом длины образца, взятого на испытание. Значения $\Delta l/l_p$ и σ брали как среднее арифметическое из пяти параллельных измерений. Во всех измерениях относительная погрешность измерения не превышала 5 %.

Таблица 1

Показатели разрывного напряжения (σ) и относительного разрывного удлинения ($\Delta l/l_p$) материалов, полученных на основе исходных растворов с различной толщиной слоя

Состав исходных растворов, % масс.	Толщина слоя исходного раствора h_1 , мм	Толщина матрикса h_2 , мм	Плотность матрикса, г/см ³	σ , Н/мм ²	$\sigma * h_2$, Н/мм	$\Delta l/l_p$, %
3% СХТЗ, 1% КМЦ, 1% глицерин	7,57	2,97	0,90	1,27	3,77	23,90
	5,05	0,92	0,88	1,83	1,68	21,79
	3,37	0,67	0,68	2,72	1,82	20,18
3% СХТЗ, 1,5% КМЦ, 1% глицерин	7,57	2,47	1,43	1,03	2,54	38,29
	5,05	1,25	1,34	1,36	1,7	25,42

Изменение толщины слоя исходного раствора (табл. 1), подвергающегося криоструктурированию и последующей лиофильной сушке, оказывает существенное влияние на физико-механические свойства материала, получаемого на его основе. Уменьшение толщины слоя исходного раствора, подвергнутого криоструктурированию, закономерно уменьшает и толщину получаемого матрикса. При этом плотность матрикса снижается, вероятно, за счет более равномерного охлаждения раствора (более высокой скорости теплопереноса), более высоких скоростей охлаждения раствора и, как следствие, увеличенных скоростях образования и роста зародышей кристаллической фазы растворителя, что приводит к формированию более крупных кристаллов и, вероятно, более крупных пор после процесса сушки. Хотя прочность материала возрастает при снижении толщины слоя формовочного раствора, что проявляется в увеличении показателя напряжения при разрыве, его эластичность (относительное удлинение при разрыве), как и прочность самого изделия (пропорциональная $\sigma * h_2$), чаще всего снижаются, т.к. степень уменьшения толщины матрикса многократно превышает степень роста напряжения при разрыве.

Таким образом, уменьшение толщины слоя исходного раствора увеличивает прочность материала, но снижает прочность и, в меньшей степени, эластичность конечного изделия. Использование меньшей толщины слоя исходного раствора может быть перспективно при разработке ранозаживляющих матриц с более высокими показателями механической прочности, например, при разработке многослойных или композитных материалов для тканевой инженерии.

Библиографический список

1. Okay O. (ed.). Polymeric Cryogels: Macroporous gels with remarkable properties. Springer, 2014. Т. 263.
2. Olov N. Shape memory injectable cryogel based on carboxymethyl chitosan/gelatin for minimally invasive tissue engineering: In vitro and in vivo assays // Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials. 2022. Т. 110. №. 11. С. 2438-2451.

© Алмаев Б.Ф., 2025

УДК 547.854'426:615.276

Д.А. АНДРЕЕВ, Л.С. МАКСИМОВ

leomaxcer@ya.ru

Науч. руковод. – д-р хим. наук, проф. **В.Р. ХАЙРУЛЛИНА**

Уфимский университет науки и технологий

МОЛЕКУЛЯРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНО АКТИВНЫХ 6-ТИОУРАЦИЛОВ КАК ПРОТИВОСПАЛИТЕЛЬНЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ

Аннотация: работа посвящена изучению стерической комплементарности производных 3,4-дигидропиримидин-2-тиона с активными центрами изоформ циклооксигеназы (ЦОГ-1 и ЦОГ-2). Для оценки взаимодействия соединений с ферментами использовались методы молекулярного докинга с использованием программного обеспечения Maestro Schrodinger 2025.2 и AutoDock Vina 1.2.6.

Ключевые слова: изоферменты ЦОГ-1 и ЦОГ-2; производные 3,4-дигидропиримидин-2-тиона; молекулярный докинг

Открытие изоформ ЦОГ-1 и ЦОГ-2 стало прорывом, позволив создать новые НПВП. Селективные ингибиторы ЦОГ-2 (коксибы) разрабатывались для минимизации желудочных осложнений, однако их применение выявило серьезные сердечно-сосудистые риски. Это привело к отзыву некоторых препаратов и переоценке безопасности всей группы.

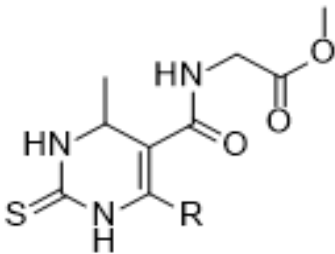
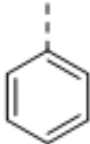
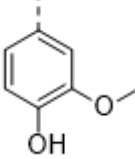
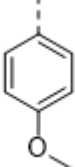
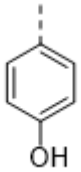
Спустя два десятилетия интерес к ним не ослабевает. Изучается их кардиоваскулярный и гастроинтестинальный профиль, при этом акцент смещается на персонализированный подход к выбору препарата и дозы. Кроме того, исследуются их новые, неканонические области применения — от онкологии до неврологии, что поддерживает актуальность их комплексного изучения.

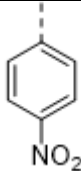
Цель данной работы заключалась в изучении стерической комплиментарности R-стереоизомеров этил(4-метил-2-тиоксо-1,2,3,4-тетрагидропиримидин-5-карбонил)глицинаты с различными заместителями в 6 положении (таблица 1) с активными центрами изоформ COX.

Исследование проводилось с помощью молекулярного докинга. Аффинность лигандов с активным центром белка оценивалась на основе скоринг-функции Glide, которая входит в программное обеспечение Maestro Schrodinger 2025.2 и на основе скоринг-функции AutoDock Vina 1.2.6.

Таблица 1

Структурные формулы исследуемых соединений

		
№	Код соединения	R
1	s1a	
2	s2a	
3	s3a	
4	s4a	

5	s5a	

В качестве белков были отобраны ЦОГ-1 (PDB ID: 1PXX, цепь A) и ЦОГ-2 (PDB ID: 3N8X, цепь B). Белки для стыковки были подготовлены с помощью пакета программ Шрёдингера. Отсутствующие боковые цепи, обратные цепи и остатки были обновлены. Молекулы воды, присутствующие в кристаллической структуре во время кристаллизации, были удалены в процессе подготовки белка. Далее была сгенерирована сетка потенциалов размером 20 Å, центр которых определяли по нативным лигандами – нимесулиду для ЦОГ-1 и диклофенаку для ЦОГ-2.

В итоге гибкой(Glide) и жёсткой(Vina) стыковки соединений (s1a-s5a) были получены следующие результаты (таблица 2).

Таблица 2

Результаты моделирования Glide и Autodock Vina

№	COX-1 E _{bind.} ккал/моль		COX-2 E _{bind.} ккал/моль	
	Glide	Vina	Glide	Vina
s1aR	-7,351	-5,7	-6,039	-7,3
s1aS	-6,792	-6,4	-5,381	-8,0
s2aR	-5,773	-5,6	-6,961	-7,0
s2aS	-5,539	-6,8	-5,237	-6,8
s3aR	-6,595	-5,7	-6,803	-7,6
s3aS	-5,280	-6,0	-6,125	-6,9
s4aR	-7,067	-6,5	-6,350	-7,0
s4aS	-6,023	-6,4	-6,004	-7,5
s5aR	-6,450	-6,5	-6,294	-7,5
s5aS	-6,376	-7,2	-8,729	-7,6

Результаты расчетов демонстрируют хорошую согласованность результатов докинга, полученных с применением скоринг-функции Glide и AutoDock Vina для нативных лигандов. Об этом свидетельствуют близкие значения энергии связывания (E_{bind}) для данных молекул и малые расхождения в пространственном положении их биоактивных конформаций в белках (RMSD = 0,218-0,950 Å для 3N8X и 0.228-1.112 Å для 1PXX).

Результаты молекулярного докинга демонстрируют, что энергия связи (E_{bind}) большинства исследуемых соединений превышает таковую для арахидоновой кислоты (-5,80 и -6,30 ккал/моль). При этом диклофенак проявляет значительно более высокое сродство к ЦОГ-2 (E_{bind} = -10,133 ккал/моль). Значения E_{bind} при связывании с COX-1 находятся в диапазоне 5,4-8,7 ккал/моль, что может говорить о некоторых проблемах с селективностью. Соединения s1aR и s1aS показывают хорошие значения связывания с COX-2, при этом обладают некоторой селективностью по отношению к COX-1.

Результаты сравнительного моделирования для общей связывающей полости позволяют предположить, что исследуемые соединения, вероятно, могут проявить выраженную ингибирующую активность в отношении обеих изоформ ЦОГ. Однако надёжный результат может быть получен только в ходе испытаний.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда №19-73-20073, <https://rscf.ru/project/19-73-20073/>.

Библиографический список

1. Stiller C.O., Hjemdahl P. Lessons from 20 years with COX-2 inhibitors: Importance of dose-response considerations and fair play in comparative trials // J. Intern. Med. 2022. Vol. 292(4). P. 557-574. doi: 10.1111/joim.13505.
2. Ju Z., Li M., Xu J., Howell D.C., Li Z., Chen F.E. Recent development on COX-2 inhibitors as promising anti-inflammatory agents: The past 10 years // Acta Pharm Sin B. 2022. Vol. 12(6). P. 2790-2807. doi: 10.1016/j.apsb.2022.01.002.
3. Khalil N.A., Ahmed E.M., Tharwat T., Mahmoud Z. NSAIDs between past and present; a long journey towards an ideal COX-2 inhibitor lead. // RSC Adv. 2024. Vol. 25;14(42). P. 30647-30661.

© Андреев Д.А., Максимов Л.С., 2025

УДК 546

Р.Р. АХМАДИЕВА, К.И. ИСЛАМОВА

ralinaa01@gmail.com

Науч. руковод. – канд. хим. наук, доцент **Б.С. АХМЕТШИН**

Уфимский университет науки и технологий

СИНТЕЗ И ХАРАКТЕРИСТИКА ВЫСОКОЧИСТОГО СУЛЬФАТА МЕДИ (II) ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ МИКРОУДОБРЕНИЯ И ФУНГИЦИДА

Аннотация: проведена сравнительная оценка эффективности предложенного метода с существующими подходами. Установлено, что разработанная методика позволяет получить продукт с высокой степенью чистоты и выходом, превосходящим традиционные способы. Полученные результаты подтверждают перспективность использования данного метода в лабораторной практике и мелкосерийном производстве.

Ключевые слова: сульфат меди (II); синтез; очистка; перекристаллизация; микроудобрение; фунгицид; рентгенофазовый анализ

Сульфат меди (II) ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) является важным источником микроэлемента меди в агрохимии. Медь входит в состав ключевых ферментов,

участвующих в фотосинтезе и дыхании растений, а также повышает их устойчивость к грибковым и бактериальным заболеваниям [1]. Однако эффективность и безопасность применения медьсодержащих препаратов напрямую зависят от чистоты соединения. Наличие примесей тяжелых металлов может привести к их накоплению в почве и растительной продукции, оказывая токсическое действие [2]. Таким образом, разработка доступных методов получения высокочистого сульфата меди, свободного от балластных примесей, является актуальной задачей для современного сельского хозяйства. Цель работы – разработка метода синтеза высокочистого CuSO_4 с последующей верификацией состава методом рентгенофазового анализа (РФА).

Методы исследования:

В работе применялись метод химического синтеза из чистых исходных реагентов с последующей очисткой перекристаллизацией. Для подтверждения фазового состава и идентификации полученного продукта использовался метод рентгенофазового

Для достижения поставленной цели использованы следующие методы: химический синтез с применением перекристаллизации для получения высокочистого продукта и рентгенофазовый анализ (РФА) для идентификации кристаллической структуры и подтверждения чистоты образца;

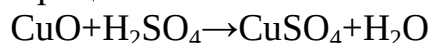
Исходные реактивы:

оксид меди (II) (CuO) высокой чистоты (без примесей тяжёлых металлов); разбавленная серная кислота (H_2SO_4) очищенная; дистиллированная вода.

Оборудование:

стеклянная посуда (колбы, воронки, стаканы), фильтровальная бумага, аналитические весы, стеклянная палочка для перемешивания, лабораторная плитка, воронка, дифрактометр для РФА.

Процесс синтеза:



Методика синтеза: в стеклянном стакане на 250 мл при постоянном перемешивании стеклянной палочкой и нагревании на плитке до $60-70^\circ\text{C}$ растворяли 8,0 г оксида меди (II) в 100 мл разбавленной серной кислоты. После полного растворения осадка горячий раствор быстро фильтровали через складчатый бумажный фильтр для отделения возможных нерастворимых примесей. Фильтрат упаривали на 1/3 объема и оставляли для медленного охлаждения при комнатной температуре. Выпавшие интенсивно-голубые кристаллы $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ отделяли фильтрованием через бумажный фильтр, промывали небольшим количеством охлажденной дистиллированной воды и высушивали между листами фильтровальной бумаги до исчезновения блеска на поверхности кристаллов. Выход продукта составил 90%.

Рентгенофазовый анализ (РФА): Анализ полученного порошкообразного образца был проведен на дифрактометре в диапазоне углов $2\theta = 5-100^\circ$ с шагом $0,0286^\circ$.

Целью данной работы была апробация доступного метода синтеза сульфата меди (II), пригодного для получения препарата сельскохозяйственного назначения. Метод взаимодействия оксида меди с разбавленной серной кислотой с последующей перекристаллизацией был выбран как наиболее соответствующий поставленной задаче.

1. Безопасность и чистота: ключевым преимуществом метода является использование чистого оксида меди (II). Это критически важно, так как примеси тяжелых металлов недопустимы в агрохимикатах [3].

2. Технологическая простота: метод не требует сложного оборудования, что делает его доступным для воспроизведения в стандартных лабораторных условиях.

3. Эффективность очистки: стадия перекристаллизации является наиболее эффективным способом очистки соли от растворимых примесей.

Для подтверждения фазовой чистоты и идентификации синтезированного соединения был проведен рентгенофазовый анализ.

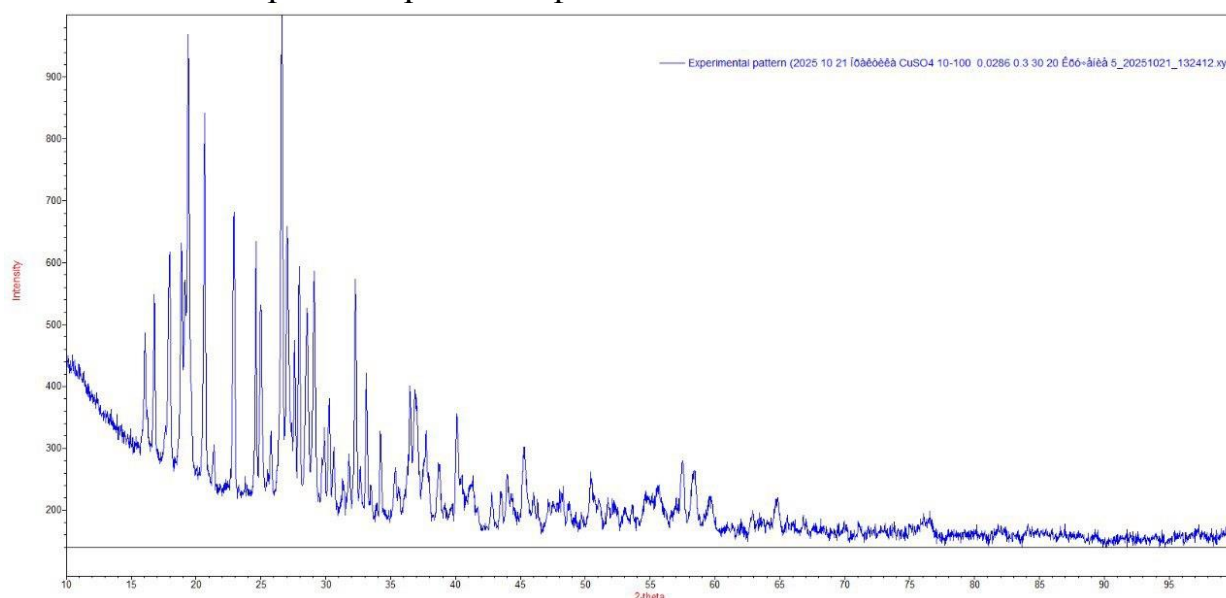


Рис. 1. Дифрактограмма синтезированного образца $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Экспериментальная дифрактограмма (рис. 1), снятая в диапазоне $10-100^\circ$ 2θ , демонстрирует все характерные рефлексy, соответствующие пентагидрату сульфата меди (II). Проведено сравнение полученных межплоскостных расстояний (d , Å) и относительных интенсивностей (I/I_0) с данными эталонной карты PDF № 00–011–0646 для $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

Полное совпадение всех основных пиков (например, наиболее интенсивные рефлексy при $\sim 15,8^\circ$, $17,8^\circ$, $23,6^\circ$, $29,5^\circ$ 2θ) подтверждает, что синтезированный продукт представляет собой именно пентагидрат сульфата меди (II) [4].

Важно отметить, что на дифрактограмме отсутствуют посторонние пики, которые могли бы свидетельствовать о наличии кристаллических примесей

(например, основных сульфатов меди или других соединений). Это доказывает эффективность предложенной методики синтеза и очистки, позволяющей получать фазово-чистое соединение, что является ключевым требованием для его последующего применения в сельском хозяйстве. Фоновые помехи, для образовательных целей: простота синтеза и наглядность перекристаллизации делают методику востребованной в учебных лабораториях.

Промышленный метод (кристаллизация из отработанных электролитов): преимущества: экономичность за счёт использования отходов; недостатки: высокий уровень примесей (никель, железо), необходимость многоступенчатой очистки, неоднородность кристаллов. Метод прямого осаждения ($\text{CuO} + \text{H}_2\text{SO}_4$ без перекристаллизации): преимущества: простота, низкая себестоимость; недостатки: низкая чистота продукта, наличие аморфных фракций, риск неполного растворения CuO . Электролитический метод: преимущества: высокая чистота, возможность контроля состава; недостатки: высокая энергоёмкость, необходимость специализированного оборудования, сложность масштабирования для малых объёмов.

Перекристаллизация оптимальна по следующим причинам:

высокая чистота продукта (подтверждена РФА – отсутствие посторонних пиков), простота аппаратного оформления (доступен для лабораторий любого уровня), низкая себестоимость (используются только базовые реактивы), контроль качества на каждом этапе (фильтрация, промывка, сушка), получение кристаллов с оптимальной морфологией (улучшает растворимость и стабильность растворов).

В ходе работы был успешно осуществлен синтез сульфата меди (II) с выходом 90 % методом взаимодействия оксида меди(II) с разбавленной серной кислотой с применением простейшего лабораторного оборудования. Рентгенофазовый анализ подтвердил, что полученное соединение является фазово-чистым пентагидратом сульфата меди (II) ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$). Отсутствие примесных пиков на дифрактограмме доказывает эффективность методики перекристаллизации. Предложенный способ является воспроизводимым, безопасным и оптимальным для получения сульфата меди (II), пригодного для использования в сельском хозяйстве в качестве микроудобрения и фунгицида.

Полученные образцы актуальны для практического применения, так как: для микроудобрений: высокая чистота исключает токсическое воздействие на растения, а правильная кристаллическая структура обеспечивает равномерное распределение меди в почве, для фунгицидов: отсутствие примесей гарантирует стабильность растворов и эффективность действия против патогенов, для лабораторных исследований: чистота $> 99,9\%$ позволяет использовать продукт в аналитических методиках без коррекции на

Библиографический список

1. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
2. Уракаев Ф.Х., Массалимов И.А., Ахметшин Б.С., Массалимов Б.И., Хусаинов А.Н., Самсонов М.Р., Мустафокулов Ш.С. Механизм и кинетика роста наночастиц серы и сульфатов щелочноземельных металлов при их соосаждении из истинных полисульфидных растворов // Журнал физической химии. 2025. Т. 99. № 4. С. 620-635.
3. Массалимов И.А., Самсонов М.Р., Ахметшин Б.С., Мустафин А.Г., Буркитбаев М.М., Шалабаев Ж.С., Уракаев Ф.Х. Совместное осаждение из растворов полисульфидов нанокмполитов на основе коллоидных частиц серы и карбонатов щелочноземельных металлов // Коллоидный журнал. 2018. Т. 80. № 4. С. 424-434.
4. Массалимов И.А., Ахметшин Б.С., Мустафакулов Ш.С., Массалимов Б.И., Мустафин А.Г. Синтез наночастиц сульфата кальция с использованием полисульфида кальция // Бутлеровские сообщения. 2025. Т. 82. № 4. С. 24-35.
5. PDF-2 Database, International Centre for Diffraction Data, Release 2023. Card № 00-011-0646.

© Ахмадиева Р.Р., 2025

УДК 541.13:620.193

З.А. БАШИРОВА, А.И. СУЛТАНОВА, Р.Р. ИЛЬЯСОВА

bashirova2903@gmail.com

Науч. руковод. – д-р хим. наук, проф. **А.В. СИДЕЛЬНИКОВ**

Уфимский университет науки и технологий

ТЕМПОРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ЭЛЕКТРОДНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДА И СТАЛЕЙ МЕТОДОМ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИИ НА ФОНЕ NaCl

Аннотация: в работе исследовали электрохимическое поведение графита и стали различных марок в условиях темпоральной вольтамперометрии. Определены темпоральные характеристики электрохимических процессов: в частности, графит демонстрирует стабильность процессов перколяции токов, сталь показывает прогрессирующее растворение с возрастанием интенсивности токов более, чем на 40 %. Предложен и апробирован мультисенсорный подход к экспресс-анализу коррозии.

Ключевые слова: циклическая вольтамперометрия; электрохимическое растворение; углеродные сенсоры; нержавеющие стали; мониторинг коррозии; темпоральность.

Введение. Исследование электрохимического поведения материалов в различных средах представляет значительный интерес для прогнозирования их эксплуатационных характеристик и долговечности. Циклическая вольтамперометрия является одним из наиболее информативных методов изучения кинетики электрохимических процессов, позволяющим оценивать как начальную активность материалов, так и их стабильность в продолжительных процессах [1].

Углеродные материалы и стали различных марок находят широкое применение в электрохимических системах, химическом машиностроении и других областях техники. Их электрохимическое поведение существенно различается: графит характеризуется стабильными процессами окисления, в то время как стали подвержены сложным процессам растворения с возможной пассивацией поверхности [2].

Целью настоящей работы является экспериментальное исследование и сравнительный анализ электрохимического поведения графита и сталей различных марок методом циклической вольтамперометрии в условиях темпорализации классических методик мониторинга коррозионных процессов. Задачи исследования включают: получение многомерных вольтамперных характеристик материалов, расчет кинетических параметров процессов растворения, оценку стабильности электрохимического поведения и выявление закономерностей изменения токов во времени.

Экспериментальная часть. Исследование проводилось на четырех материалах: углерод (высокоочищенный графит), нержавеющая сталь 1Х18Н9Т, хромистая сталь 20Х13 и легированная сталь 38ХМЮА.

Электрохимические измерения выполняли методом циклической вольтамперометрии на потенциостате-гальваностате Р-20Х (г. Черноголовка, «Элинс»). Для каждого материала проведено по 5 серий измерений, в каждой серии зарегистрировано по 500 циклических вольтамперограмм. Скорость развертки потенциала составляла 6500 мВ/с, исследуемый диапазон напряжений от -1300 до +1300 мВ. Использовали двухэлектродную электрохимическую ячейку. Электролитом служил водный раствор 0,9 масс. % NaCl. Все измерения проводили при комнатной температуре без перемешивания.

Обработка экспериментальных данных включала три этапа:

1. Первичный анализ: построение циклических вольтамперограмм, определение максимальных токов растворения для каждого цикла, расчет средних значений и стандартных отклонений.

2. Статистический анализ: оценка воспроизводимости между сериями измерений, расчет коэффициентов вариации, определение кинетических параметров процессов.

3. Кинетический анализ: идентификация стадий растворения по динамике изменения токов, сравнительная оценка интегральных характеристик процессов.

Результаты и обсуждение. На рис. 1 представлены циклические

вольтамперограммы исследованных материалов. Графит демонстрирует характерные симметричные кривые, соответствующие обратимым процессам окисления-восстановления. В отличие от этого, вольтамперограммы сталей имеют более сложную форму с перегибами кривых и флуктуациями токов анодного растворения, что согласуется с литературными данными.

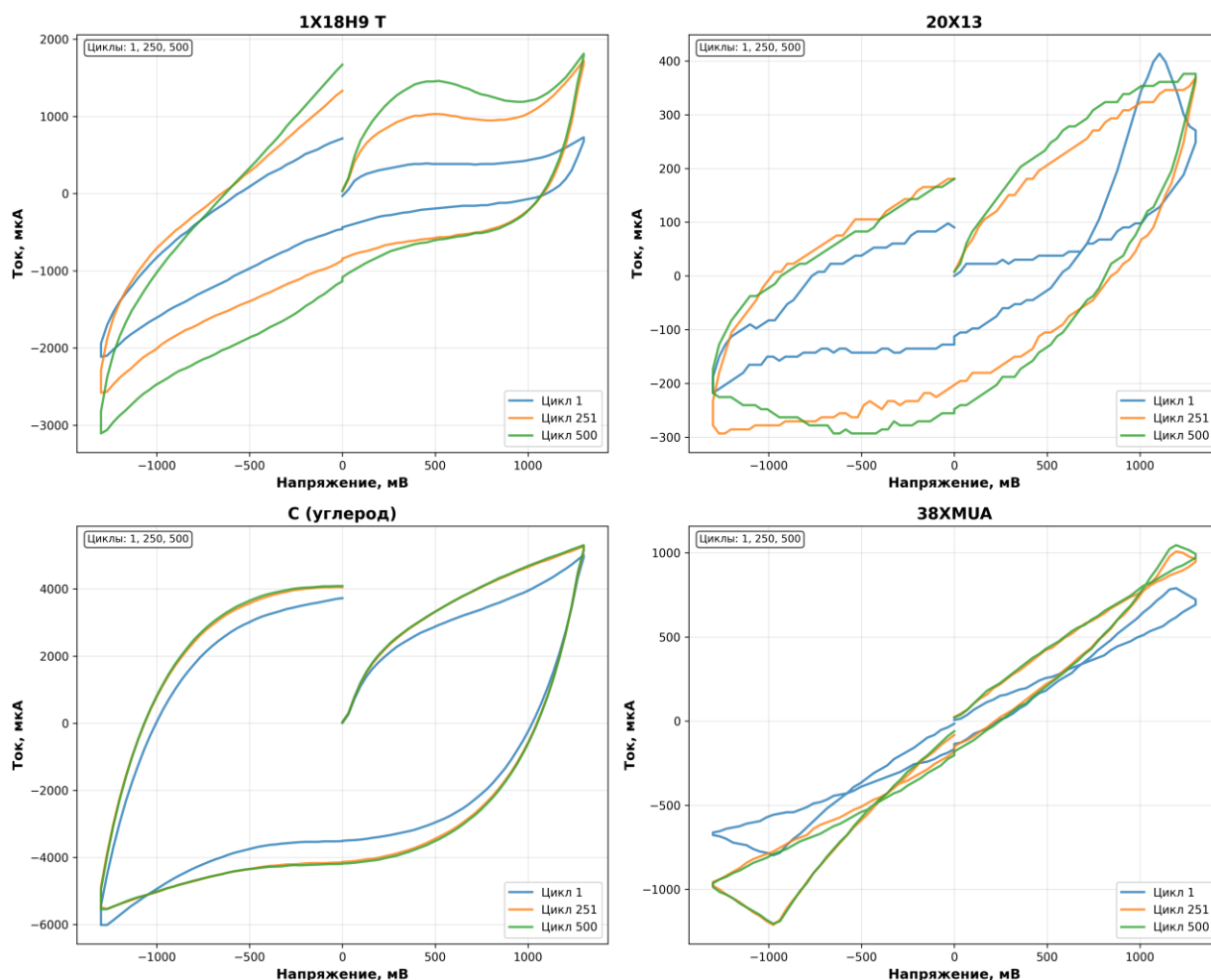


Рис. 1. Циклические вольтамперограммы исследованных материалов

Таблица 1

Экспериментальные характеристики электрохимического поведения материалов

Материал	Начальный ток, мкА	Конечный ток, мкА	Изменение, %	CV, %	Общее растворение, мкА·цикл	Количество стадий
Графит	5665,9	5546,3	-2,1	0,6	2 765 919	18
1X18H9T	2073,9	3094,7	+49,2	11,8	1 301 898	17
20X13	405,5	382,1	-5,8	5,7	187 800	19
38ХМУА	977,9	1204,3	+23,2	3,4	595 727	18

Как следует из данных таблицы 1, исследованные материалы демонстрируют существенно различное электрохимическое поведение. Графит

характеризуется исключительной стабильностью процессов - коэффициент вариации составляет всего 0,6 %, а изменение тока за 500 циклов не превышает 2,1 %. Такое поведение характерно для углеродных материалов с их электронной проводимостью и стабильностью поверхности, обеспечивающее стабильность реакций окисления/восстановления в том числе и компонентов фонового электролита.

Сталь 1Х18Н9Т показывает прогрессирующее увеличение тока растворения на 49,2 % за процесс, что свидетельствует об активации поверхности в условиях циклической поляризации. Подобное поведение может быть связано с разрушением пассивной пленки и увеличением реальной поверхности электрода в условиях темпорального функционирования (долговременного процесса измерений).

Стали 20Х13 и 38ХМЮА демонстрируют промежуточное поведение. Сталь 20Х13 показывает незначительное снижение тока на 5,8 %, что может свидетельствовать о процессах пассивации поверхности. Сталь 38ХМЮА характеризуется умеренным увеличением тока на 23,2 % при хорошей стабильности процесса (коэффициент вариации $CV = 3,4 \%$).

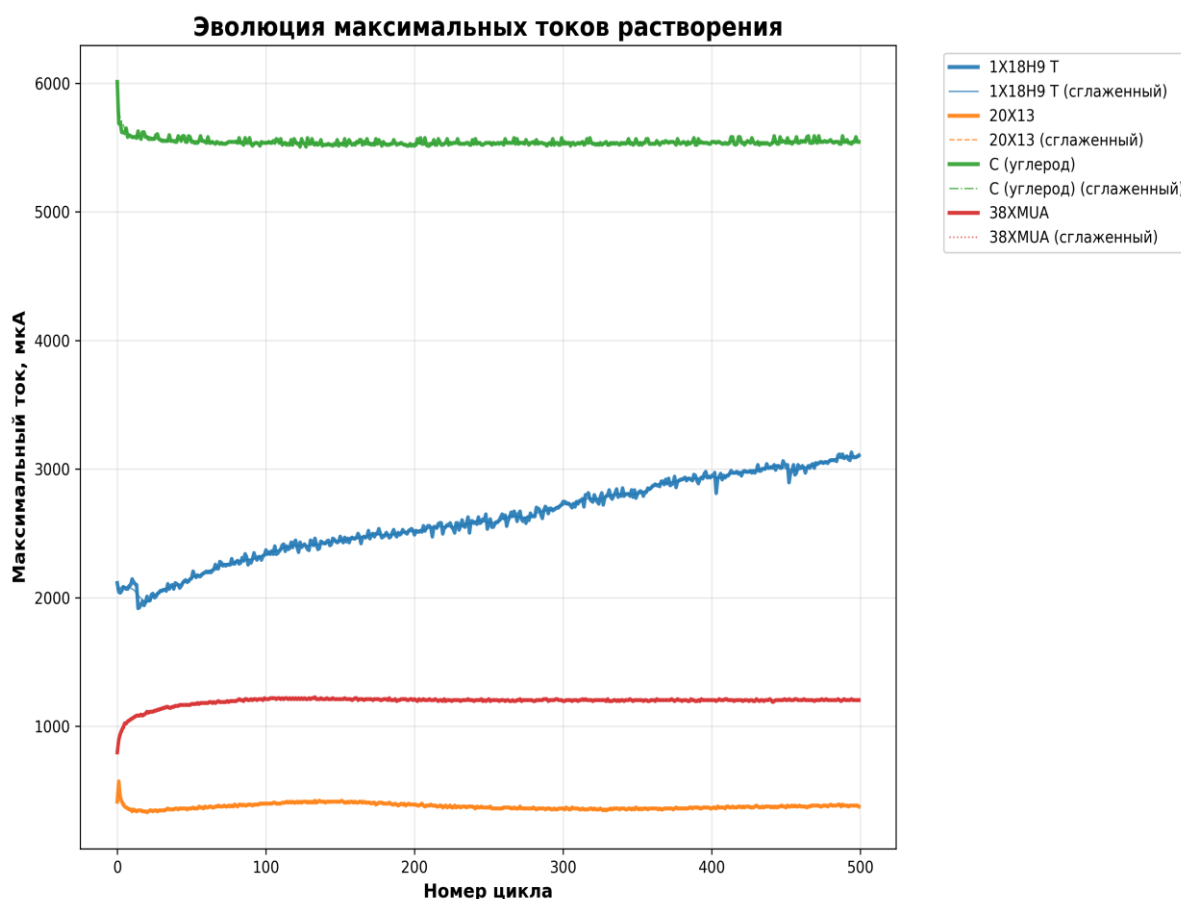


Рис. 2. Динамика изменения максимальных токов электрохимического процесса

Анализ динамики максимальных токов электрохимических процессов (рис. 2) подтверждает выявленные закономерности. Графит сохраняет

практически постоянный уровень тока в течение всего процесса измерения. Сталь 1X18Н9Т демонстрирует монотонный рост тока, в то время как стали 20Х13 и 38ХМЮА показывают более сложное поведение с периодами стабилизации и незначительными колебаниями.

Интегральные электрохимические характеристики, представленные в таблице 1, показывают, что графит обладает наибольшей общей скоростью электрохимического процесса (2 765 919 мкА·цикл), что связано с его высокой начальной электрохимической активностью и протеканием параллельных процессов окисления/восстановления компонентов электролита. Однако с практической точки зрения более важным параметром является стабильность процесса, где графит демонстрирует безусловное преимущество, и таким образом может служить в качестве фонового/эталонного образца при количественной оценке коррозионной активности веществ.

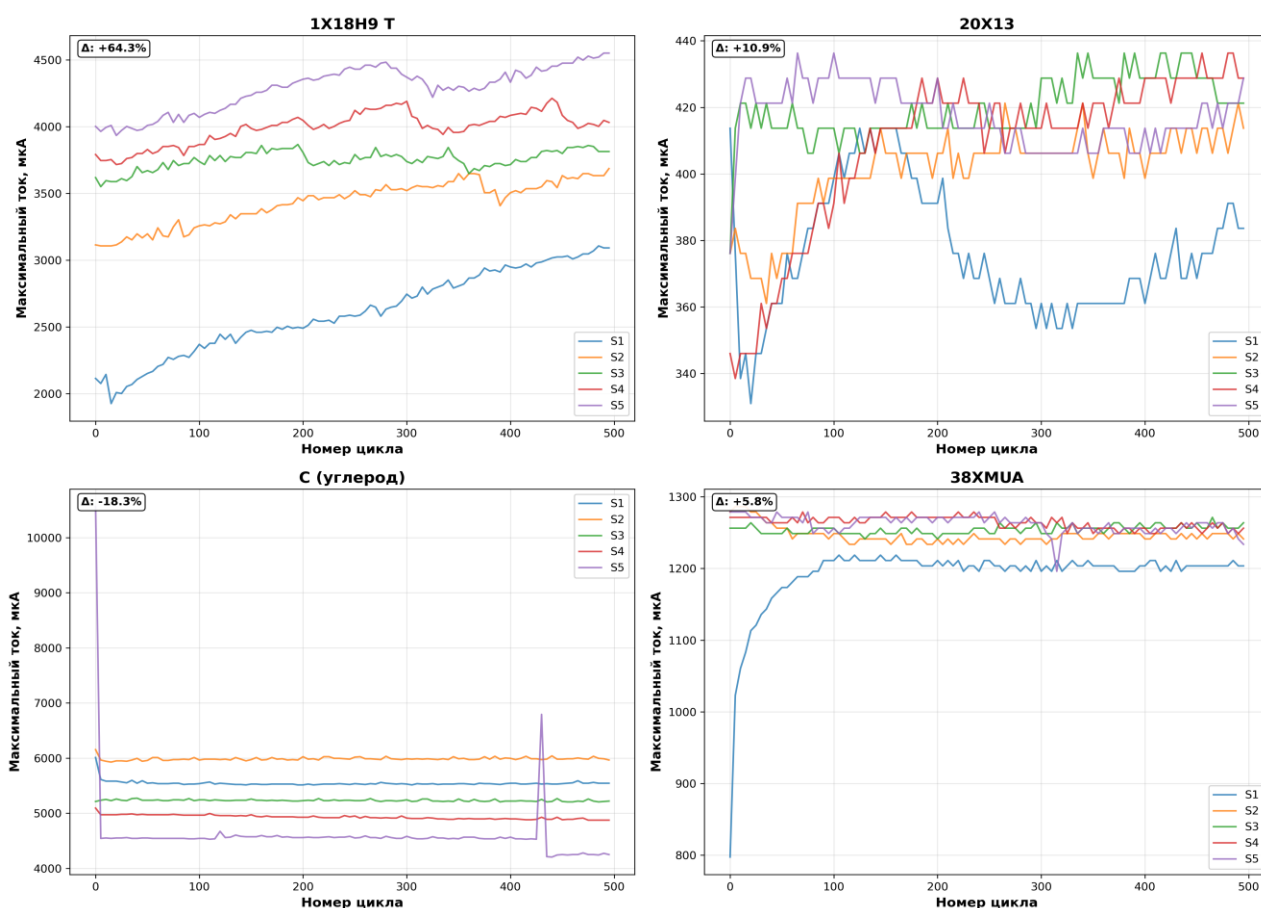


Рис. 3. Воспроизводимость результатов по сериям измерений

Оценка воспроизводимости результатов (рис. 3) показала хорошую сходимость данных между сериями измерений для всех исследованных материалов с точки зрения динамики изменения токов. Наилучшая воспроизводимость наблюдается для графита и стали 38ХМЮА, что подтверждает надежность полученных экспериментальных данных.

Заключение. На основании проведенного экспериментального исследования методом циклической вольтамперометрии установлены следующие основные результаты:

1. Графит демонстрирует исключительную стабильность электрохимического поведения с коэффициентом вариации 0,6 % и незначительным изменением тока (-2,1 %) за 500 циклов измерения.

2. Сталь 1X18Н9Т характеризуется прогрессирующим растворением с увеличением тока на 49,2 %, что свидетельствует об активации поверхности в процессе циклической поляризации.

3. Сталь 20Х13 показывает тенденцию к пассивации с уменьшением тока на 5,8 % при умеренной стабильности процесса ($CV = 5,7 \%$).

4. Сталь 38ХМЮА демонстрирует сбалансированные характеристики с увеличением тока на 23,2 % и хорошей стабильностью ($CV = 3,4 \%$).

5. Все исследованные материалы проявляют сложную кинетику электрохимических процессов со множественными стадиями (17-19 стадий), что подтверждает необходимость детального анализа их поведения в условиях циклического воздействия.

Проведенное исследование демонстрирует существенную динамику электрохимических параметров в процессе циклического воздействия, что подтверждается значительным ростом тока анодного растворения на 49,2 % для стали 1X18Н9Т после 500 циклов. Установлено, что статические ("точечные") измерения не позволяют адекватно оценить коррозионное поведение, являющееся по своей природе динамическим процессом.

На основании полученных данных сделан вывод о необходимости применения темпорального подхода – непрерывного мониторинга электрохимического отклика на протяжении сотен и тысяч циклов. Такой подход позволяет регистрировать критические события и точки нестабильности, не фиксируемые при разовых измерениях.

Перспективным направлением дальнейших исследований является разработка экспресс-методов оценки коррозионной стойкости, основанных на комбинации ускоренных электрохимических тестов (например, циклической вольтамперометрии с высокой скоростью развертки) и алгоритмов машинного обучения для анализа массивов темпоральных данных. Интеграция этих методов позволит создавать системы прогнозирования, ориентированные на оценку ресурса материалов и оптимизацию сроков проведения профилактических мероприятий в реальных условиях эксплуатации.

Библиографический список

1. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А. Основы теоретической электрохимии. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 2023. 496 с.
2. Томашов Н.Д., Чернова Г.П. Теория коррозии и защиты металлов. М.: Наука, 2018. 456 с.

© Баширова З.А., Султанова А.И., Ильясова Р.Р., 2025

А.А. ВОЛКОВА, П.А. СТЕПАНОВА

av002852@gmail.com

Науч. руковод. – канд. хим. наук, доцент. **Р.А. ЗИЛЬБЕРГ**

Уфимский университет науки и технологий

ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКАЯ МУЛЬТИСЕНСОРНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРЕПАРАТОВ АТЕНОЛОЛА

Аннотация: проведена идентификация и определение энантиомеров атенолола (Atn) с помощью сенсора на основе пастового электрода из графитированной термической сажи Carboblack C, модифицированной хиральными комплексами никеля (II). Установлен линейный диапазон определяемых концентраций от 100 до 1000 мкМ.

Ключевые слова: вольтамперометрия; энантиомеры атенолола; хиральный сенсор; хиральный комплекс никеля (II)

Вольтамперометрические сенсоры и сенсорные системы с модифицированными электродами находят широкое применение в практике. Их используют для решения разнообразных задач — от идентификации энантиомеров [1-8] в фармацевтических препаратах до определения компонентного состава и контроля качества различных продуктов [9]. В современных условиях, помимо определения содержания активных компонентов, особую актуальность приобретает задача достоверной верификации подлинности лекарственных препаратов [10-12]. Такие системы обеспечивают экспрессный анализ при высокой чувствительности и избирательности.

Данная работа посвящена разработке новых хиральных сенсоров и мультисенсорной системы для распознавания энантиомеров атенолола и производителей фармацевтических препаратов. За основу системы был выбран пастовый электрод из графитированной термической сажи Carboblack C, модифицированной хиральными комплексами никеля (II), для селективного распознавания и определения энантиомеров атенолола (Atn).

Для разработки наиболее чувствительного сенсора с хорошей воспроизводимостью были оптимизированы условия регистрации вольтамперограмм и состав сенсора. Для оптимизации состава предложенного сенсора исследовали зависимость энантиоселективности к энантиомерам атенолола и относительного стандартного отклонения аналитического сигнала от соотношения компонентов сенсора. Наилучшие результаты наблюдались при соотношении Carboblack C: комплекс никеля – 100 : 1 (масс.). При хранении сенсор сохранял свои характеристики в течение 20 дней.

Вольтамперометрические измерения проводили в квадратно-волновом режиме (КВВ). При регистрации вольтамперометрических кривых энантиомеров (рис. 1) нами сравнивались изменения потенциалов окисления (ΔE_p) энантиомеров на предложенных сенсорах и коэффициенты энантиоселективности (i_i/i_j) (таблица 1).

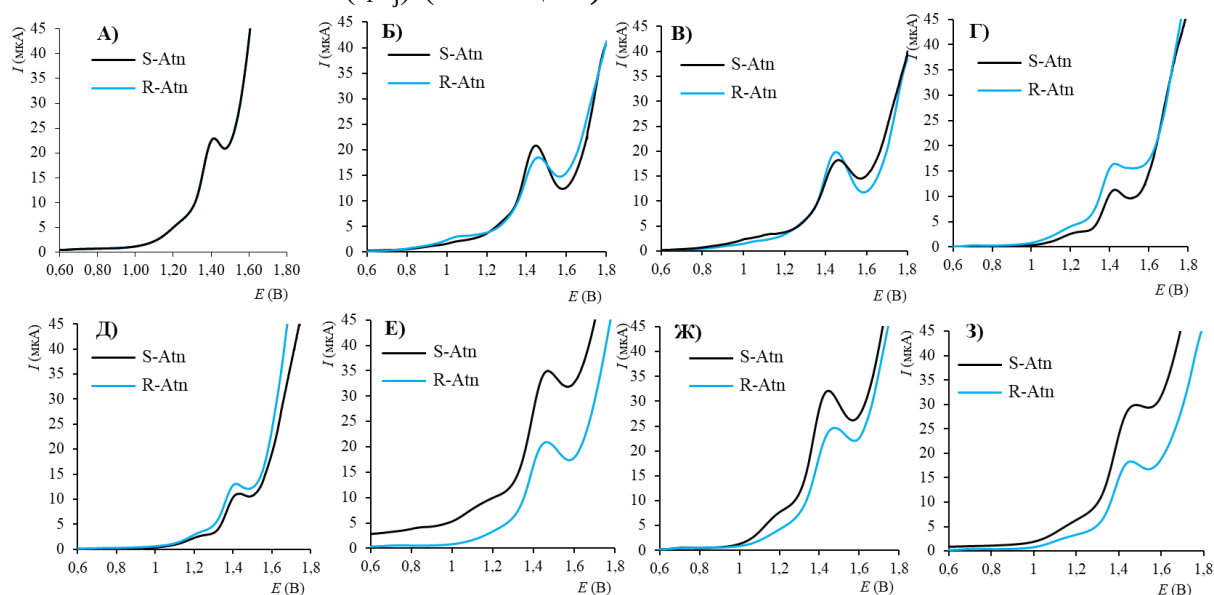


Рис. 1. КВВ растворов энантиомеров Аtn на фоне фосфатного буферного раствора с рН 6.86 на (а) СВРЕ, (б) СВРЕ@(S)-Ni1, (в) СВРЕ@(R)-Ni1, (г) СВРЕ@(S)-Ni2, (д) СВРЕ@(S)-Ni3, (е) СВРЕ@(S)-Ni4, (ж) СВРЕ@(S,S)-Ni, (з) СВРЕ@(S,S)-Ni6, при скорости сканирования потенциала 20 мВ/с

Таблица 1

КВВ-характеристики 1 мМ растворов энантиомеров Аtn на фоне фосфатного буферного раствора с рН = 6,86 на немодифицированном и модифицированном СВРЕ при скорости сканирования 20 мВ/с

Сенсор	E , мВ		i_p , мкА		ΔE , мВ	i_{p1}/i_{p2}
	(R)-Atn	(S)-Atn	(R)-Atn	(S)-Atn		
СВРЕ	1398 ± 2	1398 ± 3	$6,86 \pm 0,09$	$6,85 \pm 0,07$	0	1,00
СВРЕ@(S)-Ni1	1460 ± 2	1440 ± 4	$7,32 \pm 0,04$	$11,72 \pm 0,06$	20	1,60
СВРЕ@(R)-Ni1	1445 ± 4	1463 ± 3	$11,17 \pm 0,05$	$7,03 \pm 0,07$	18	1,59
СВРЕ@(S)-Ni2	1410 ± 3	1407 ± 1	$6,02 \pm 0,06$	$4,57 \pm 0,05$	3	1,32
СВРЕ@(S)-Ni3	1400 ± 7	1410 ± 7	$4,24 \pm 0,06$	$3,59 \pm 0,09$	10	1,18
СВРЕ@(S)-Ni4	1443 ± 3	1446 ± 2	$8,79 \pm 0,06$	$11,61 \pm 0,09$	3	1,32
СВРЕ@(S,S)-Ni5	1448 ± 7	1428 ± 6	$8,94 \pm 0,09$	$13,58 \pm 0,07$	20	1,52
СВРЕ@(S,S)-Ni6	1437 ± 2	1438 ± 4	$6,60 \pm 0,08$	$8,53 \pm 0,08$	1	1,29

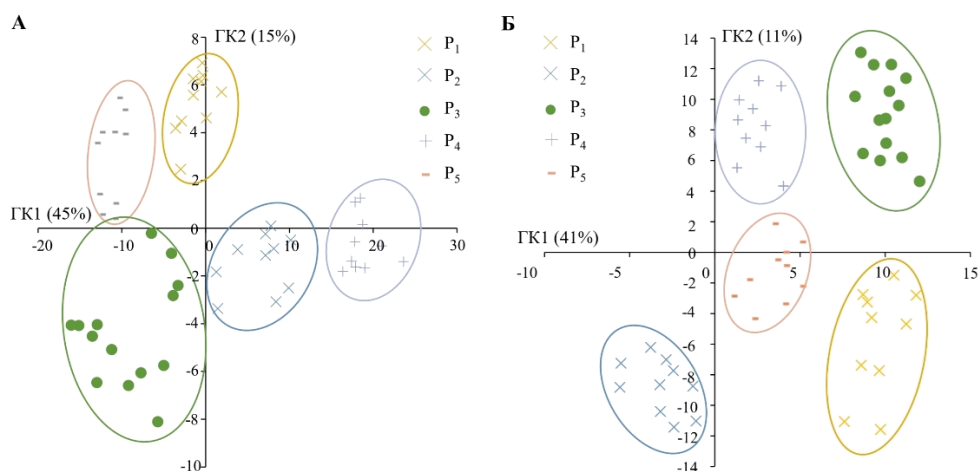
Был установлен линейный диапазон определяемых концентраций, который составил 100–1000 мкМ. Наиболее чувствителен сенсор оказался к S-Atn. Пределы обнаружения и нижние границы определяемых концентраций составили 2,76 и 9,23 мкМ для (S)- и 4,51 и 15 мкМ для (R)-Atn соответственно. Полученный массив вольтамперометрических обрабатывался хемометрическими методами МГК и SIMCA-классификация.

Таблица 2

Результаты SIMCA-классификации R- и S-, RS-Atn (%)

Сенсор	ТО** \ ЭО*	ЭО*		
		R	S	RS
CBPE@(S)-Ni1	R	100	0	10
	S	0	100	20
	RS	10	0	100
CBPE@(S,S)-Ni5	R	100	0	30
	S	10	100	20
	RS	10	10	100
CBPE@(S)-Ni1 и CBPE@(S,S)-Ni5	R	100	0	0
	S	0	100	0
	RS	0	0	100

По результатам SIMCA-классификации R- и S-Atn и их рацемическая смесь распознаны без ошибок I рода, однако наблюдаются ошибки II рода, которые колеблются от 0 до 30 %. При использовании мультисенсорного подхода, т е совместной хемометрической обработки данных, последовательно зарегистрированных на сенсорах с перекрёстной чувствительностью, удалось однозначно идентифицировать R- и S-Atn и их рацемическую смесь. Анализ результатов классификации по методу SIMCA демонстрирует высокую результативность разработанной вольтамперометрической сенсорной системы в процессе распознавания энантиомеров атенолола. Использование двухсенсорной системы позволяет полностью исключить вероятность возникновения ошибок первого и второго рода.



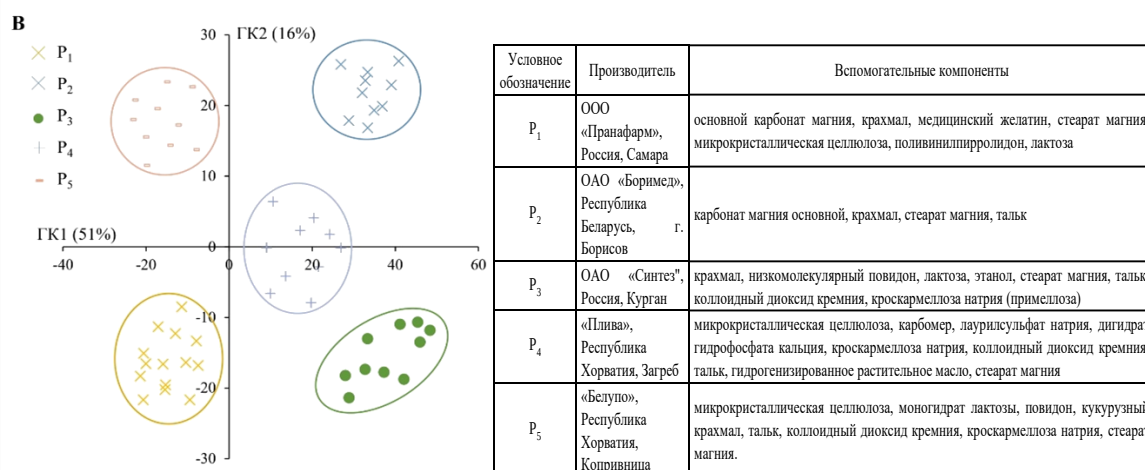


Рис. 2. Графики счетов МГК-моделирования для КВВ 0.5 мМ растворов фармацевтических препаратов (P1, P2, P3, P4, P5) на (А) СВРЕ@(S)-Ni1, (Б) СВРЕ@(S,S)-Ni5, (В) СВРЕ@(S)-Ni1 и СВРЕ@(S,S)-Ni5

Для более четкого разделения кластеров различных фармацевтических препаратов в многомерном пространстве кластеров ГК проведена хемометрическая обработка вольтамперометрических данных без учета (R)-Атп и (S)-Атп. Это открывает новые возможности предложенной мультисенсорной системы – идентификация фарм препаратов по производителю, за счет различного состава вспомогательных веществ и возможных примесей.

Библиографический список

1. R.A. Zilberg, Y.B. Teres, E.O. Bulysheva [et al.]. A chiral Ni(II) complex immobilized on Carboblack C as a readily available and effective enantioselective voltammetric sensor for recognition of atenolol enantiomers in real samples – // *Electrochimica Acta*. 2025. V. 529, P. 146309.
2. R.R. Gizatov, Yu.B. Teres, M.N. Galimov [et al.]. Synthesis and Application of Chelate Complexes $[Zn(L-arg)_2(H_2O)]$ and $[[Zn(L-arg)_2(H_2O)](SO_4)]^{2-}$ as Chiral Selectors // *Russian Journal of Coordination Chemistry*. 2025. V. 51, No. 2, P. 119.
3. O.V. Khromova, A.F. Smol'yakov, R.A. Zil'berg [et al.]. Chiral Cobalt(III) Complexes Based on (1R,2R)-Cyclohexanediamine and 4-Bromo-5-methylsalicylaldehyde: Synthesis, Modification, and Application in Catalysis and Enantioselective Sensors // *Russian Journal of Coordination Chemistry*. 2025. V. 51, No. 3, P. 200.
4. Р.Р. Гизатов, Ю.Б. Терес, М.Н. Галимов [и др.]. Синтез и применение хелатных комплексов $[Zn(\xi-ARG)_2(H_2O)]$ И $[[Zn(Z-ARG)_2(H_2O)](SO_4)]^{2-}$ в качестве хиральных селекторов // *Координационная химия*. 2025. Т. 51, № 5. 315 с.
5. R.A. Zilberg, Y.B. Teres, I.V. Vakulin [et al.]. Voltammetric sensor for naproxen enantiomers based on a paste electrode modified with a Chiral nickel(II) complex // *Chirality*. 2025. V. 37, No. 2, P. e70025.
6. R.A. Zilberg, Ju.B. Teres E.O. Bulysheva [et al.]. Chiral octahedral

cobalt(III) complex immobilized on Carboblack C as a novel robust and readily available enantioselective voltammetric sensor for the recognition of tryptophan enantiomers in real samples // *Electrochimica Acta*. 2024. V. 492, P. 144334.

7. А.В. Сидельников, В.Н. Майстренко, Р.А. Зильберг [и др.]. Энантиоселективный вольтамперометрический сенсор для распознавания стереоизомеров пропранолола // *Журнал аналитической химии*, 2017. Т. 72, № 5, 486 с.

8. Р.А. Зильберг, В.Н. Майстренко, Ю.Б. Терес [и др.]. Вольтамперометрический сенсор на основе алюмофосфатного цеолита и композита бетулиновой кислоты с полиэлектролитным комплексом хитозана для распознавания и определения энантиомеров напроксена // *Журнал аналитической химии*. 2023. Т. 78, № 7, 648 с.

9. А.В. Сидельников, Р.А. Зильберг, Ф.Х. Кудашева [и др.]. Вольтамперометрическая идентификация многокомпонентных растворов с использованием метода главных компонент. *Журнал аналитической химии* // 2008. Т. 63, № 10, 1072 с.

10. R.A. Zil'berg, Y.A. Yarkaeva, A.V. Sidel'nikov [et al.]. Voltammetric determination of bisoprolol on a glassy carbon electrode modified by poly(arylene phthalide) // *Journal of Analytical Chemistry*. 2016. V. 71, No. 9, P. 926.

11. R.A. Zilberg, E.O. Bulysheva, Y.B. Teres [et al.]. Voltammetric electronic tongue for identification of naproxen pharmaceuticals by manufacturer // *Chimica Techno Acta*. 2025. V. 12, No. 2, P. 12204.

12. Л.Р. Кабирова, Д.И. Дубровский, Н.А. Никонова [и др.]. Вольтамперометрическое обнаружение метионина в лекарственных средствах с использованием методов хеометрики // *Известия Уфимского научного центра РАН*, 2019. № 2, 15 с.

© Волкова А.А., Степанова П.А., 2025

М.Н. ГАЛИМОВ

miras200181@gmail.com

Науч. руковод. – д-р хим. наук, проф. **А.Г. МУСТАФИН**

Уфимский университет науки и технологий

ИЗУЧЕНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ *L*-ТРИПТОФАНА С ИОНАМИ Cu(II)

Аннотация: синтезирован хелатный комплекс Cu(II) с *L*-триптофаном (1). Было установлено, что наибольшее влияние на комплексообразование оказывает наличие и количество гидроксида натрия в растворе. Согласно рентгенофазовому анализу и ИК-спектроскопии установлено, что в ходе синтеза, вероятно, реализуется *цис*-изомер комплекса Cu(II) с *L*-триптофаном.

Ключевые слова: хелат; хелатный комплекс; Cu(II) ; *L*-триптофан; квантово-химическое моделирование; ИК-спектроскопия; рентгенофазовый анализ

Двухвалентные катионы переходных металлов играют важную роль в функционировании ферментов, белков и других биологических макромолекул [1]. Ионы меди (II) (Cu(II)) являются жизненно важными для организма человека, так как входят в состав многих ферментов [2-3], которые выполняют множество важных функций в человеческом организме. *L*-триптофан является незаменимой аминокислотой для человека. Она выполняет важную роль в работе человеческого организма, например, в развитии детей, поддержании азотистого баланса у взрослых [1], а также в биосинтезе таких важных соединений для человека, как серотонин и ниацин [4].

Нами был синтезирован и изучен хелатный комплекс Cu(II) с *L*-триптофаном.

Оказалось, что из трёх факторов ((1) состав реакционной смеси, (2) природа соли меди (II), (3) наличие и количество гидроксида натрия (NaOH)), которые оказывают влияние на скорость образования и количественный выход хелатного комплекса меди (II) с *L*-триптофаном (Cu(L-Trp)_2 (1)), наиболее значительным фактором является третий, то есть, наличие и количество гидроксида натрия.

Так, в ходе проведения опытов было установлено, что:

1) если добавить в реакционный объём, для депротонирования *L*-триптофана, гидроксид натрия в количестве менее одного эквивалента по отношению к аминокислоте, то комплекс 1 (Cu(L-Trp)_2) выпадает длительное время (от нескольких часов до суток) в виде гранул осадка темно-синего цвета диаметром, примерно, 2 мм с небольшим выходом (примерно, от 40 до 60%) и (рис. 1).

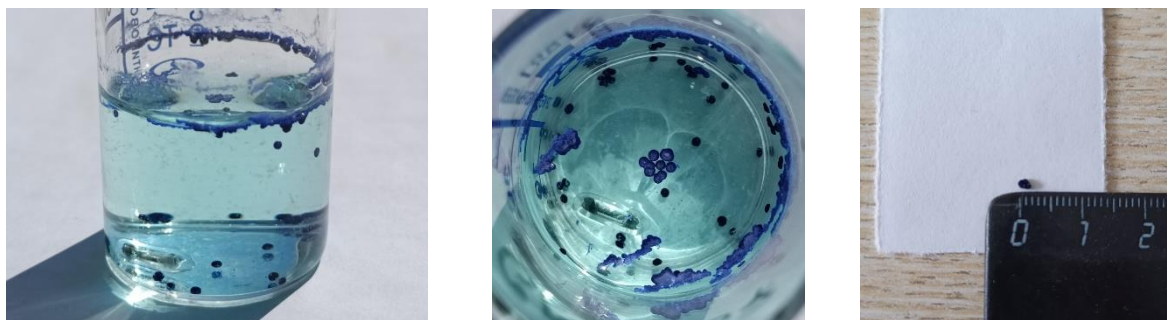


Рис. 1. Комплекс 1 ($\text{Cu}(\text{L-Trp})_2$) при добавлении менее одного эквивалента гидроксида натрия по отношению к L-триптофану

2) в другом случае, когда в реакционный объём добавляется гидроксид натрия, также для депротонирования L-триптофана, но в количестве от одного до двух эквивалентов по отношению к аминокислоте, то комплекс 1 ($\text{Cu}(\text{L-Trp})_2$) выпадает быстро (от нескольких секунд до двух или трёх минут для случая добавления одного эквивалента гидроксида натрия; и сразу же при добавлении раствора соли меди к раствору аминокислоты для случая, когда добавляется два эквивалента гидроксида натрия) в виде порошка голубого цвета, с количественным выходом (более 90%) (рис. 2).

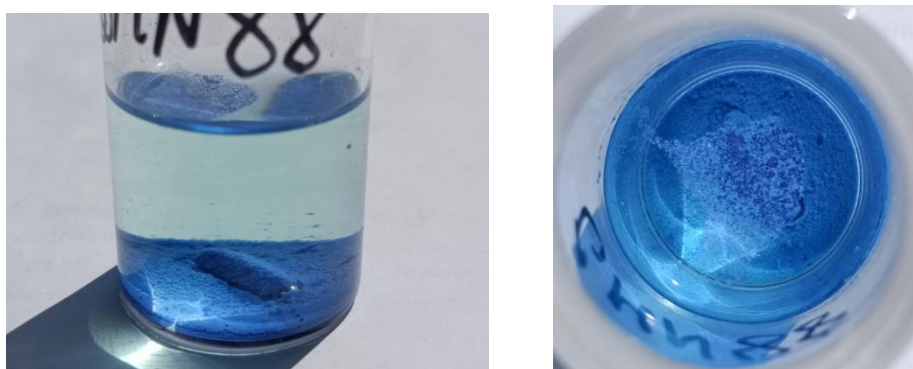


Рис. 2. Комплекс 1 ($\text{Cu}(\text{L-Trp})_2$) при добавлении от одного до двух эквивалентов гидроксида натрия по отношению к L-триптофану

Для того, чтобы установить изомерный состав полученного комплекса $\text{Cu}(\text{II})$ с L-триптофаном, было проведено квантово-химическое моделирование структуры шести конфигураций хелатного комплекса $\text{Cu}(\text{L-Trp})_2$ (трёх конформеров цис-изомера, и трёх конформеров транс-изомера). Согласно проведенным квантово-химическим расчетам (метод M06, базисный набор 6-311+G(d)) из шести возможных конфигураций комплекса $[\text{Cu}(\text{L-Trp})_2]$ ((1) цис- $[\text{Cu}(\text{SA-Trp})_2]$, (2) цис- $[\text{Cu}(\text{SA-Trp})(\text{SE-Trp})]$, (3) цис- $[\text{Cu}(\text{SE-Trp})_2]$; (4) транс- $[\text{Cu}(\text{SA-Trp})_2]$, (5) транс- $[\text{Cu}(\text{SA-Trp})(\text{SE-Trp})]$, (6) транс- $[\text{Cu}(\text{SE-Trp})_2]$) самую маленькую энергию имеет цис-изомер комплекса с формулой $[\text{Cu}(\text{SA-Trp})(\text{SE-Trp})]$ (рис. 3). По данным рентгенофазового анализа (рис. 4), ИК-спектроскопии (рис. 5) установлено, что в ходе синтеза, вероятно, реализуется *цис*-изомер комплекса $\text{Cu}(\text{II})$ с L-триптофаном.

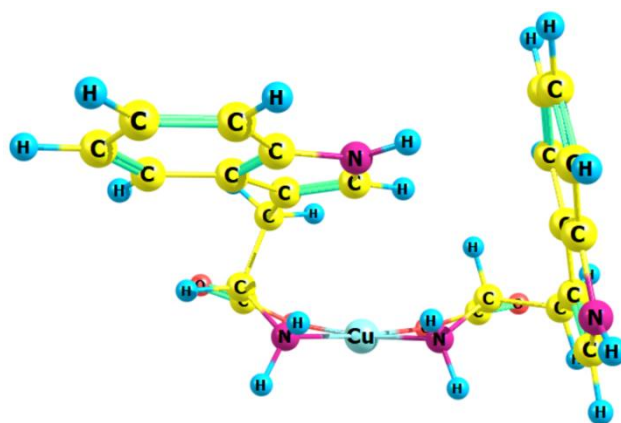


Рис. 3. Структура комплекса *цис*-[Cu(SA-Trp)(SE-Trp)]

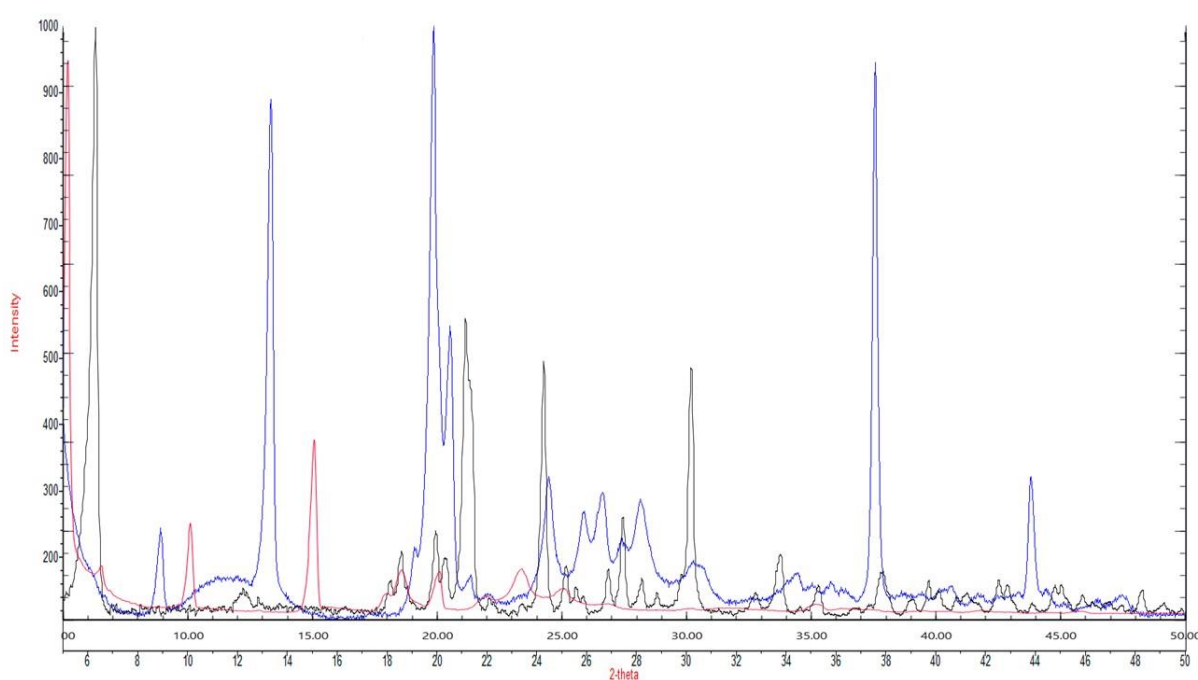


Рис. 4. Сравнение дифрактограмм РФА для: комплекса 1 (синяя дифрактограмма), исходного L-триптофана (красная дифрактограмма), *транс*-изомера (черная дифрактограмма) [5]

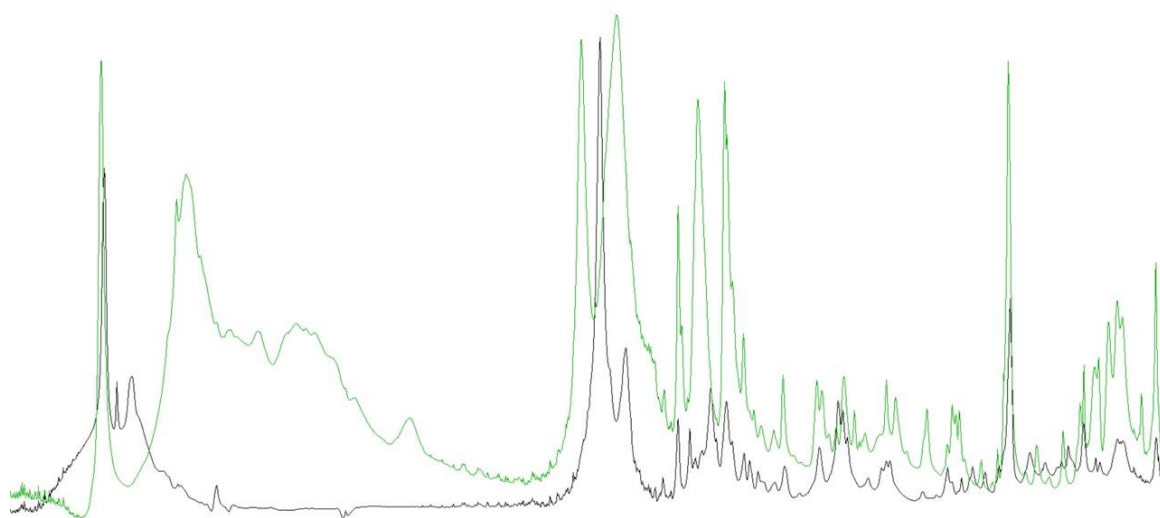


Рис. 5. Сравнение инфракрасных спектров полученного комплекса и исходного L-триптофана. Зелёный спектр – это исходный L-триптофан, черный спектр – это полученный комплекс 1

Возможность реализации в ходе синтеза цис-изомера для бис-триптофанатов Cu(II) может являться некоторым исключением, так как для подобных комплексов бис-фенилаланинатов Cu(II) более энергетически выгодными являются транс-изомеры [6-8].

По-видимому, тенденция образования цис-изомера в случае бис-триптофановых комплексов Cu(II) может заключаться в природе выбранного лиганда, а точнее в структуре боковой цепи L-триптофана, проявляющееся в том, что пиррольные фрагменты индольного кольца находятся в непосредственной близости относительно друг друга и являются меньшими по размеру по сравнению с фенильными фрагментами фенилаланина для бис-фенилаланинатовых комплексов Cu(II) (Cu(L-Phe)₂) (рис. 6).

Целью дальнейших исследований станет выяснение причин большей стабильности цис-изомера хелатного комплекса меди (II) с L-триптофаном по сравнению с транс-изомером.

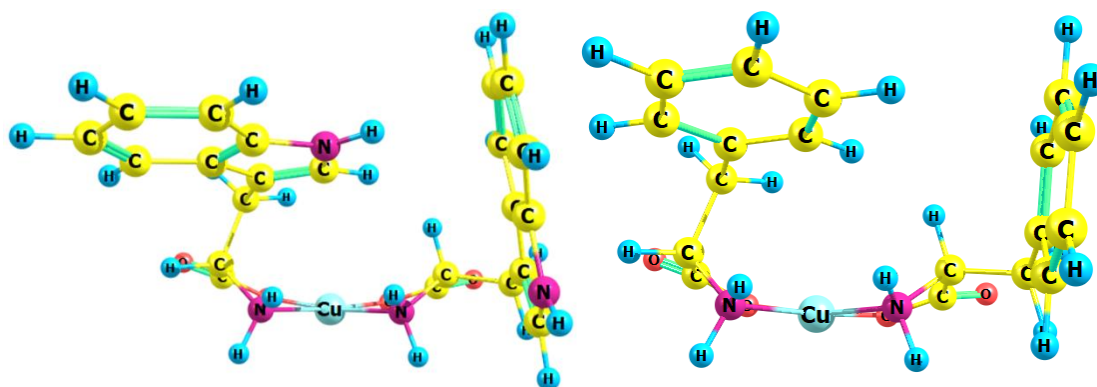


Рис. 6. Структура комплексов *цис*-[Cu(SA-Trp)(SE-Trp)] и *цис*-[Cu(SA-Phe)(SE-Phe)]

Библиографический список

1. Remko M. et al. Effect of metal Ions (Ni ²⁺, Cu ²⁺ and Zn ²⁺) and water coordination on the structure of L-phenylalanine, L-tyrosine, L-tryptophan and their zwitterionic forms // *Journal of Molecular Modeling*. 2011. Т. 17. С. 3117-3128.
2. Deschamps P. et al. The saga of copper (II)–l-histidine // *Coordination chemistry reviews*. 2005. Т. 249. №. 9-10. С. 895-909.
3. Тищенко К.И. Новые производные 2-тиоксо-тетрагидро-4Н-имидазол-4-онов и их медьсодержащие комплексы: дис. – Диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук, Москва, 2017.
4. Altun Ö., Bilcen S. Spectroscopic characterization of Cu (II) complex of l-phenylalanine and d, l-tryptophan // *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2010. Т. 75. №. 2. С. 789-793.
5. Berestova T.V., Khursan S.L., Mustafin A.G. Experimental and theoretical substantiation of differences of geometric isomers of copper(II) α-amino acid chelates in ATR-FTIR spectra // *J. Spectrochim. Acta, Part A*. 2020. 229. 117950.
6. Maclaren J.K., Janiak C. Amino-acid based coordination polymers // *Inorganica Chimica Acta*. 2012. Т. 389. С. 183-190.
7. Berestova T.V., Gizatov R.R., Galimov M.N., Mustafin A.G. Influence of the absolute configuration of the ligand's chiral center on the structure of planar-square phenyl-containing bis-(N,O)copper(II) chelates // *J. Mol. Struct.* 2021. 1236. 130303.
8. Zilberg R.A., Berestova T.V., Gizatov R.R., Teres Y.B., Galimov M.N., Bulysheva E.O. Chiral Selectors in Voltammetric Sensors Based on Mixed Phenylalanine/Alanine Cu(II) and Zn(II) Complexes // *Inorganics*. 2022. 10(8). 117

© Галимов М.Н., 2025

О.А. ГЕРАСИМОВА, А.Е. НАУМОВА

Olesenkaaa2006@gmail.com

Науч. руковод. – канд. хим. наук, доцент **Б.С. АХМЕТШИН**

Уфимский университет науки и технологий

СИНТЕЗ И РЕНТГЕНОФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ КАРБОНАТА БАРИЯ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Аннотация: в работе представлены результаты синтеза карбоната бария методом осаждения из водных растворов. Продукт реакции охарактеризован методом рентгенофазового анализа. Установлено, что синтезированное соединение представляет собой кристаллический витерит (BaCO_3) с орторомбической структурой. Дифракционная картина образца полностью соответствует эталонным данным (PDF 00-005-0378).

Ключевые слова: карбонат бария; рентгенофазовый анализ; витерит; синтез осаждением; фармацевтические прекурсоры; кристаллическая структура

Карбонат бария (BaCO_3) является важным неорганическим соединением, широко используемым в различных отраслях промышленности. Особую значимость он приобретает в фармацевтической отрасли в качестве ключевого прекурсора для синтеза сульфата бария - основного компонента рентгеноконтрастных препаратов, применяемых в медицинской диагностике [1].

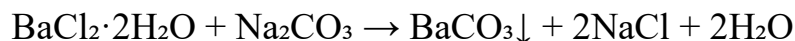
Постоянно растущие требования к чистоте и физико-химическим характеристикам фармацевтических субстанций определяют актуальность разработки эффективных методов синтеза карбоната бария с контролируемыми параметрами. Среди различных методов получения BaCO_3 метод осаждения из водных растворов демонстрирует оптимальное сочетание экономической эффективности, простоты контроля параметров процесса и возможности управления морфологией частиц [2].

В отличие от гидротермального синтеза, требующего сложного оборудования, и твердофазных методов, характеризующихся неоднородностью продуктов реакции, метод осаждения позволяет получать высокодисперсные продукты с воспроизводимыми характеристиками [3]. Особое значение при этом имеет контроль фазового состава, поскольку различные полиморфные модификации карбоната бария обладают различающимися свойствами, определяющими их пригодность для фармацевтического применения.

Целью настоящей работы являлся синтез карбоната бария методом осаждения из водных растворов с последующей характеристикой полученного продукта методом рентгенофазового анализа. В задачи исследования входили: оптимизация условий синтеза, идентификация фазового состава продукта и

оценка степени чистоты полученного образца.

Синтез BaCO_3 проводили по реакции осаждения при комнатной температуре:



Для синтеза использовали эквимольные количества водных растворов $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ («ч.д.а.») и Na_2CO_3 («ч.д.а.»). Раствор карбоната натрия медленно добавляли к раствору хлорида бария при постоянном перемешивании (300 об/мин). Образовавшийся белый осадок отфильтровывали, промывали дистиллированной водой до отрицательной реакции на ионы хлора и сушили при 80°C до постоянной массы.

Рентгенофазовый анализ проводили на дифрактометре DRON-3 ($\text{CuK}\alpha$ -излучение, $\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$) в диапазоне углов $2\theta = 20\text{--}100^\circ$ с шагом $0,02^\circ$. Идентификацию фаз осуществляли с использованием базы данных PDF-2 (ICDD).

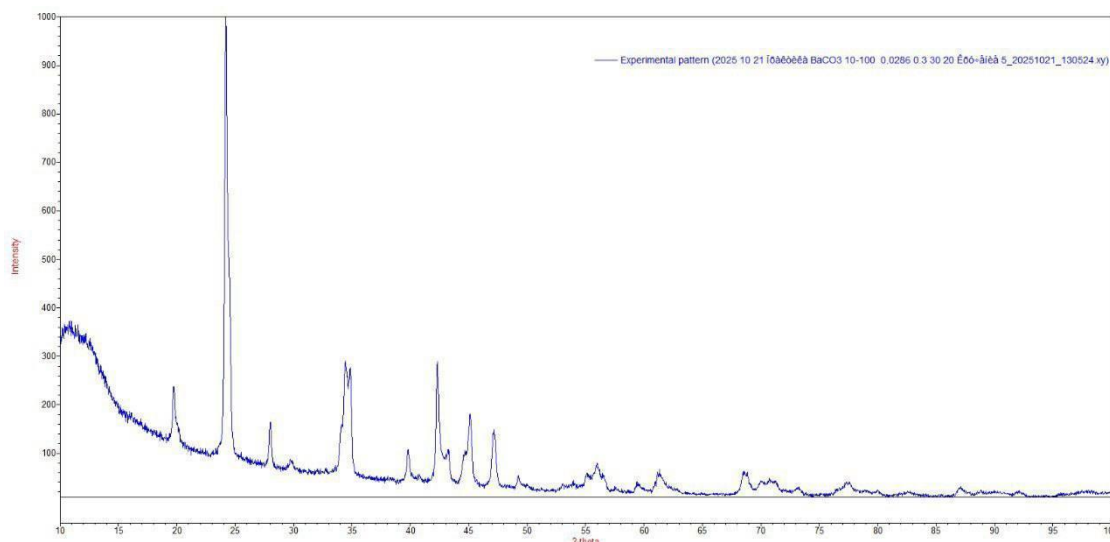


Рис. 1. Дифракционной картине

Проведенный рентгенофазовый анализ синтезированного образца показал образование высококристаллической фазы карбоната бария. На дифракционной картине наблюдаются все характерные рефлексы, соответствующие орторомбической модификации BaCO_3 – витериту (пространственная группа Pmcn) [3]. Положения и относительные интенсивности пиков демонстрируют полное соответствие с эталонными данными (PDF 00-005-0378).

Наиболее интенсивные рефлексы зафиксированы при значениях $2\theta \approx 20,0^\circ$, $34,2^\circ$, $42,1^\circ$ и $44,9^\circ$, что соответствует отражениям от кристаллографических плоскостей (111), (002), (221) и (132) соответственно. Относительная интенсивность этих пиков составляет 100 %, 65 %, 45 % и 40 % от максимального значения, что полностью согласуется с эталонной дифракционной картиной витерита.

Особый интерес представляет анализ ширины дифракционных пиков. Расчет размера кристаллитов по формуле Шеррера для наиболее интенсивного пика (111) дает значение 45 ± 2 нм. Такая величина кристаллитов свидетельствует о высокой дисперсности синтезированного материала, что является важным параметром для его последующего использования в фармацевтических целях.

Сравнение с литературными данными [4] показывает, что использованная методика осаждения позволяет получать продукт, по чистоте и кристалличности не уступающий образцам, синтезированным более сложными и энергоемкими методами. Отсутствие на рентгенограмме посторонних пиков, соответствующих другим полиморфным модификациям карбоната бария (арагониту, баритокальциту), свидетельствует о селективности примененного метода синтеза.

Полученные результаты демонстрируют перспективность использования метода осаждения для получения высококачественного карбоната бария медицинского назначения. Высокая воспроизводимость метода (подтвержденная трехкратным повторением синтеза) и его экономическая эффективность делают его особенно перспективным для практического применения в фармацевтической промышленности.

В результате работы методом осаждения из водных растворов был успешно синтезирован карбонат бария. Рентгенофазовый анализ подтвердил образование кристаллической фазы витерита с содержанием основной фазы $> 98 \%$.

Полученный образец соответствует требованиям, предъявляемым к фармацевтическим прекурсорам для медицинского применения. Использованная методика синтеза продемонстрировала преимущества перед альтернативными методами благодаря простоте выполнения, воспроизводимости результатов и минимальным энергозатратам, что позволяет рекомендовать ее для лабораторного получения стандартизированных образцов BaCO_3 .

Библиографический список

1. European Pharmacopoeia 10.0. Barium sulfate for X-ray contrast. Strasbourg: EDQM; 2020.
2. Lee J.H., Nersisyan H.H., Lee H.H., Won C.W. // Journal of Materials Science. 2004. Vol. 39. P. 1397-1401.
3. Уракаев Ф.Х., Массалимов И.А., Ахметшин Б.С., Массалимов Б.И., Хусаинов А.Н., Самсонов М.Р., Мустафокулов Ш.С. Механизм и кинетика роста наночастиц серы и сульфатов щелочноземельных металлов при их соосаждении из истинных полисульфидных растворов. // Журнал физической химии. 2025. Т. 99. № 4. С. 620-635.
4. Acosta M., Novak N., Rojas V., et al. // Applied Physics Reviews. 2017. Vol. 4. P. 041305.

5. Массалимов И.А., Самсонов М.Р., Ахметшин Б.С., Мустафин А.Г., Буркитбаев М.М., Шалабаев Ж.С., Уракаев Ф.Х. Совместное осаждение из растворов полисульфидов нанокompозитов на основе коллоидных частиц серы и карбонатов щелочноземельных металлов // Коллоидный журнал. 2018. Т. 80. № 4. С. 424-434.

6. Массалимов И.А., Ахметшин Б.С., Мустафакулов Ш.С., Массалимов Б.И., Мустафин А.Г. Синтез наночастиц сульфата кальция с использованием полисульфида кальция // Бутлеровские сообщения. 2025. Т. 82. № 4. С. 24-35.

© Герасимова О.А., 2025

УДК 620.193

Я.Р. ГЛОБУ

globuyana@gmail.com

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **А.С. КВЯТКОВСКАЯ**

Уфимский университет науки и технологий

ПРОВЕДЕНИЕ КОМПЛЕКСА ЛАБОРАТОРНЫХ И СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ С ЦЕЛЬЮ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПОГРУЖНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ОТ КОРРОЗИИ

Аннотация: разработанное электронное устройство защищает нефтегазовое оборудование от коррозии методом катодной защиты. Лабораторные и стендовые испытания показали снижение скорости коррозии образцов на 76% по сравнению с контрольными условиями. Устройство формирует защитные оксидные плёнки даже в агрессивных средовых условиях и препятствует воздействию блуждающих токов. Результаты рекомендованы к использованию на практике.

Ключевые слова: нефтегазодобывающий комплекс; коррозия; электрохимическая защита; электронное устройство; лабораторные и стендовые испытания; погружное оборудование; коррозия; оксидная пленка

Нефтегазодобывающий комплекс сталкивается с серьезными проблемами, обусловленными коррозией трубопроводных систем и погружного оборудования. Агрессивные среды эксплуатации, резкие перепады температур, повышенное давление, а также наличие химически активных веществ (например, сероводорода, углекислого газа и растворенных минеральных солей) значительно ускоряют протекание коррозионных процессов. В результате снижается надежность инфраструктуры, возрастают эксплуатационные затраты на ремонт и замену оборудования, а также существенно повышаются риски аварийных разливов, экологического ущерба и вынужденных простоев производственных мощностей.

На сегодняшний день разработан и широко применяется целый ряд

методов защиты трубопроводов и оборудования, используемых при добыче нефти и газа, от коррозии [1]. К числу широко применяемых подходов относятся использование ингибиторов коррозии, нанесение защитных покрытий, замена стальных трубопроводов на полимерные аналоги, а также методы электрохимической защиты. Электрохимическая защита представляет собой одно из перспективных направлений и включает такие разновидности, как протекторная, катодная и анодная защита [2]. Однако у каждого из этих методов имеются определенные недостатки. Так, при протекторной защите обычно применяются магниевые сплавы, которые постепенно растворяются в процессе эксплуатации, что приводит к безвозвратной потере материала и, как следствие, экономической невыгодности данного метода. Помимо этого, продукты коррозии, образующиеся при растворении протекторных анодов, способны загрязнять окружающую среду.

Было разработано электронное устройство для защиты погружного оборудования от коррозии, принцип действия которого основан на методе катодной защиты. Для оценки эффективности работы данного устройства проведен комплекс лабораторных и стендовых испытаний. Целью этих испытаний являлось подтверждение паспортных эксплуатационных характеристик разработанного устройства по защите погружной насосной установки от коррозии в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным условиям реальных месторождений.

В рамках лабораторных исследований проводилось моделирование процессов коррозии трубной стали под воздействием блуждающих токов. С этой целью была разработана модельная установка, имитирующая коррозионные процессы в пластовом флюиде. Были измерены стационарные потенциалы и сняты поляризационные кривые. Кроме того, проведен рентгенофазовый анализ, позволивший определить состав поверхностных пленок, образовавшихся на образцах.

Стендовые испытания проводились в трех режимах: статическом, динамическом и электрохимическом. Образцы как с подключенным защитным устройством, так и без него, помещали в модельный раствор, имитирующий по составу пластовую воду. По результатам испытаний установлено, что скорость коррозии образца без электронного защитного устройства в четыре раза выше, чем у образца с подключенным устройством. Это подтверждает эффективность нового устройства в формировании оксидной пленки, обладающей защитными свойствами, и предотвращающей коррозионное разрушение оборудования.

По результатам анализа экспериментальных данных установлено, что совместное воздействие динамического потока модельного раствора и блуждающих токов приводит к существенному ускорению коррозионных процессов. В условиях, имитирующих работу погружного электродвигателя, скорость коррозии возросла более чем вдвое по сравнению с динамическим режимом, не сопровождавшимся воздействием тока. Полученные результаты подчеркнули необходимость применения защитных устройств в реальных условиях эксплуатации.

Результаты стендовых испытаний полностью подтвердили, что применение разработанного электронного устройства позволяет значительно снизить скорость коррозии. Было показано, что во всех тестовых средах данное устройство обеспечивает стабильно высокую эффективность, снижая скорость коррозионного процесса в среднем на 76%. Это свидетельствует о способности электронного устройства обеспечивать надежную защиту оборудования в условиях реальных месторождений.

Таким образом, проведенные исследования подтвердили соответствие разработанного электронного устройства заявленным паспортным характеристикам и гарантийным обязательствам. По итогам проведенных исследований, данное устройство рекомендуется к практическому применению для защиты глубинно-насосного оборудования от коррозии.

Библиографический список

1. Фирстов А.П. Коррозия и антикоррозионная защита: учебно-методическое пособие. Вологда: Инфра-инженерия, 2023. 72 с.
2. Замалетдинов И.И. Электрохимическая коррозия и защита металлов: учебное пособие. – Пермь: Пермский государственный технический университет, 2010. 152 с.

© Глобу Я.Р., 2025

Е.А. ЖИГАЛОВА, К.Е. КОВИНА, О.Д. ИШУМБАЕВА

zhigalova-02@inbox.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **Б.С. АХМЕТШИН**

Уфимский университет науки и технологий

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ УВЕЛИЧЕНИЯ РАЗМЕРОВ НАНОЧАСТИЦ СЕРЫ ПРИ ИХ ФОРМИРОВАНИИ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ПОЛИСУЛЬФИДА КАЛЬЦИЯ

Аннотация: актуальность исследования обусловлена перепроизводством нефтегазовой серы и необходимостью ее утилизации в продукты с повышенной добавленной стоимостью. Впервые определены кинетические закономерности роста наночастиц серы. Результаты работы открывают перспективы применения наносеры и серосодержащих нанокompозитов в строительной индустрии, сельском хозяйстве и медицине.

Ключевые слова: сера; полисульфид кальция; карбонат кальция; наночастицы; кинетика роста; нанокompозиты; биологические и гидрофобные свойства

В мировой экономике наблюдается избыток элементарной серы, образующейся при очистке нефти и газа от сернистых соединений. Традиционные методы переработки нефтегазовой серы не отвечают современным промышленным и экологическим требованиям, что делает актуальной разработку методов получения продуктов с повышенной добавленной стоимостью. Наносера обладает улучшенными противомикробными, противогрибковыми и гидрофобными свойствами по сравнению с обычной серой, что открывает перспективы её применения в медицине, сельском хозяйстве и строительстве. Для практического внедрения наносеры требуется детальное изучение процессов формирования и роста наночастиц, что определяет актуальность данной работы.

В качестве исходных материалов использовались элементарная сера (ГОСТ 127.4-93), окись кальция (ГОСТ 8677-76) и анионное поверхностно-активное вещество сульфанола. Для механической активации серы применялись шаровая мельница LE-101 и центробежная мельница Alpine Z-160. Синтез полисульфида кальция проводился в системе S-CaO-H₂O при температуре 90°C в течение 1 часа 20 минут.

Для анализа полученных материалов применён комплекс современных методов: определение размера частиц и их распределения проводили с помощью лазерного анализатора Shimadzu SALD-710 (диапазон 10 нм — 300 мкм); фазовый состав оценивали методом рентгенофазового анализа на дифрактометре MiniFlex-600 (Rigaku, Япония); термические свойства изучали с помощью дифференциальной сканирующей калориметрии (DSC 1, METTLER

TOLEDO); морфологию исследовали с помощью сканирующей электронной микроскопии (FEI Helios 660); а также использовали ультрафиолетовую спектроскопию на спектрометре Shimadzu UV-2600.

Исследования показали, что механическая обработка серы в центробежной мельнице не только снижает размер частиц, но и вызывает значительные изменения в её структуре и термических свойствах. При двукратной обработке в Alpine Z-160 наблюдалось формирование бимодального распределения частиц: мелкой фракции (20 мас.%) в диапазоне 60-110 нм и крупной фракции 1-50 мкм. Рентгенографический анализ выявил уширение дифракционных линий серы, что свидетельствует о накоплении микроискажений в кристаллической решетке. Размеры кристаллитов, рассчитанные по формуле Дебая-Шеррера, составляли для разных отражений: (135) – 134 нм; (026) – 40 нм; (313) – 143 нм. Микродеформации решетки достигали величины 0,13%.

Данные ДСК показали, что для механически активированной серы тепловые эффекты плавления и полимеризации уменьшаются на 15% по сравнению с исходным образцом. Это указывает на накопление энергии в частицах порошка, облегчающее протекание последующих химических реакций.

Выявлено, что использование механически активированной серы существенно улучшает условия синтеза полисульфида кальция: продолжительность процесса сокращается с 8 до 2 часов; температура реакции понижается с 100 °С до 90 °С; плотность получаемого раствора возрастает с 1,10 до 1,24 г/см³; объём отходов уменьшается с 35 % до 2 %; увеличение микроискажений кристаллической решётки с 0 % до 0,13 % свидетельствует о повышении реакционной способности серы после активации.

Растворы полисульфида кальция, полученные из активированной серы, имеют вишневый цвет и оптически прозрачны, с pH $\approx$ 10,5 и плотностью $\approx$ 1,26 г/см³.

При разбавлении рабочего раствора полисульфида кальция водой в более чем 100 раз образуется гидрозоль серы. Формирование наночастиц серы фиксируется по появлению в УФ-спектрах характерных полос поглощения при 225 нм и 385 нм.

Эксперименты выявили, что в водной среде из полисульфида кальция образуется наносера орторомбической кристаллической фазы со сферической формой частиц и средним размером 20 нм. В ходе времени происходит увеличение размера частиц до микронного уровня. Механизм этого процесса включает два этапа: сначала возникают наночастицы диаметром 10-50 нм (среднее значение около 20 нм), которые впоследствии объединяются в агрегаты. Конечный размер агрегатов составляет приблизительно 20 мкм с разбросом в интервале 5-60 мкм.

Таблица 1

Скорость укрупнения наночастиц серы при разных температурах

Температура, °С	Начальный размер D_0 , нм	Скорость укрупнения V , нм/мин	Коэффициент достоверности R
25	20	0,2	0,99
50	40	0,27	0,92
75	100	0,5	0,89

Экспериментальные данные подтверждают, что увеличение размера серных частиц происходит за счёт обратимого объединения первичных наночастиц. При воздействии ультразвука крупные агрегаты размером около 20 микрометров разрушаются, восстанавливая исходные наночастицы диаметром примерно 20 нанометров.

Зависимость размера частиц от времени описывается экспоненциальной функцией. Для изучения кинетики процесса были построены логарифмические графики зависимости $\ln(D)$ от времени, которые хорошо описываются линейной аппроксимацией. Эти данные согласуются с теорией диффузионного созревания Оствальда, согласно которой рост частиц подчиняется уравнению:

$$D(t) = D_0 + k \cdot t^{(1/n)}.$$

Линейный характер зависимостей свидетельствует о том, что скорость роста частиц определяется диффузионными процессами в растворе.

Взаимодействие углекислого газа с раствором полисульфида кальция вызывает совместное осаждение нанокompозитного материала, состоящего из серы и карбоната кальция. Согласно данным рентгенофазового анализа, полученный осадок содержит: серу (около 65 %), два кристаллических полиморфа карбоната кальция — витерит (примерно 21 %) и кальцит (около 12%), а также примесь кварца (приблизительно 1,6 %)

Результаты измерений краевого угла смачивания подтвердили выраженные гидрофобные свойства исследуемых материалов: у прессованного порошка наносеры данный угол составил приблизительно 140° , а у нанокompозита серы с карбонатом кальция – около 120° . Обработка пористой поверхности газобетона раствором полисульфида кальция приводит к формированию устойчивого гидрофобного покрытия, препятствующего проникновению воды вглубь материала. На необработанном газобетоне капля воды мгновенно впитывается, тогда как на обработанном образце вода остается на поверхности до полного испарения.

Исследовано поведение раствора полисульфида кальция при нанесении на стеклянные подложки. Было установлено, что в первые 4 часа после нанесения на поверхность стекла наблюдаются равномерно распределенные сферические капли размером около 2 микрометров. Через сутки (24 часа) начинают формироваться кристаллические структуры. К 72 часам процесс испарения воды завершается, и образуются кристаллы полисульфида кальция, при этом состав полисульфид-ионов практически не изменяется.

Таким образом можно сделать следующее заключение:

1. Применение механически активированной серы оптимизирует синтез полисульфида кальция (CaS_n) в системе $\text{S}-\text{CaO}-\text{H}_2\text{O}$: повышает выход целевого продукта, сокращает время реакции, уменьшает количество побочных продуктов и снижает температуру синтеза.

2. Метод получения наносеры с размером частиц 20 нм путем осаждения из раствора полисульфида кальция посредством разбавления водой признан оптимальным, поскольку позволяет легко увеличивать масштаб производства.

3. Экспериментально определены кинетические особенности роста серных наночастиц: процесс укрупнения осуществляется за счет обратимого объединения первичных наночастиц. Установлена прямая зависимость скорости укрупнения от температуры: при 25°C скорость составляет 0,2 нм/мин при начальном размере частиц $D_0 \approx 20$ нм; при 50°C – 0,27 нм/мин ($D_0 \approx 40$ нм); при 75°C – 0,5 нм/мин ($D_0 \approx 100$ нм).

4. Пропусканием CO_2 через раствор полисульфида кальция получен нанокompозит серы с карбонатом кальция, обладающий супергидрофобными свойствами, подтвержденными гидрофобизацией пористого газобетона.

5. При нанесении раствора полисульфида кальция на стеклянные поверхности: в первые 4 часа – равномерное распределение капель (~ 2 мкм), через 24 часа – появление признаков кристаллизации, к 72 часам — завершение формирования кристаллических структур.

Полученные результаты открывают перспективы практического применения наносеры и серосодержащих нанокompозитов в строительной индустрии, сельском хозяйстве и медицине.

Библиографический список

1. Уракаев Ф.Х., Массалимов И.А., Ахметшин Б.С., Массалимов Б.И., Хусаинов А.Н., Самсонов М.Р., Мустафокулов Ш.С. Механизм и кинетика роста наночастиц серы и сульфатов щелочноземельных металлов при их соосаждении из истинных полисульфидных растворов // Журнал физической химии. 2025. Т. 99. № 4. С. 620-635.

2. Массалимов И.А., Самсонов М.Р., Ахметшин Б.С., Мустафин А.Г., Буркитбаев М.М., Шалабаев Ж.С., Уракаев Ф.Х. Совместное осаждение из растворов полисульфидов нанокompозитов на основе коллоидных частиц серы и карбонатов щелочноземельных металлов // Коллоидный журнал. 2018. Т. 80. № 4. С. 424-434.

3. Массалимов И.А., Ахметшин Б.С., Мустафакулов Ш.С., Массалимов Б.И., Мустафин А.Г. Синтез наночастиц сульфата кальция с использованием полисульфида кальция // Бутлеровские сообщения. 2025. Т. 82. № 4. С. 24-35.

4. Дорофеев В.И., Петров Ю.П. Кинетика кристаллизации наночастиц в растворах. Санкт-Петербург: Наука, 2020. 224 с.

5. Иванов В.К., Баранчиков А.Е. Наноструктурированные материалы для строительства. Москва: Изд-во РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2021. 286 с.

© Жигалова Е.А., Ковина К.Е., Ишумбаева О.Д., 2025

Д.Э. ЗАЙНАГАБДИНОВ, Н.А. ФЕДОТОВ

zzzainagabdinov@mail.ru

Науч. руковод. – канд. хим. наук, доцент **Б.С. АХМЕТШИН**

Уфимский университет науки и технологий

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВОВ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОГНЕУПОРНОЙ КЕРАМИКИ

Аннотация: в работе представлены результаты исследования составов и разработки технологии изготовления высокоглинозёмистой огнеупорной керамики на основе корунда с нанодобавками оксида циркония (ZrO_2) и карбида кремния (SiC). Оптимальный состав 85% Al_2O_3 , 8% ZrO_2 , 7% SiC обеспечил плотность 3,62 г/см³, пористость 5,8 %, прочность на сжатие 215 МПа и термоустойчивость до 70 циклов (20–700 °С).

Ключевые слова: огнеупорная керамика; корунд; нанодобавки; оксид циркония; карбид кремния; термостойкость; полусухое прессование; обжиг

Огнеупорные материалы играют ключевую роль в промышленных печах, доменных агрегатах и установках высокотемпературной переработки [1]. Современные требования к энергоэффективности и долговечности оборудования стимулируют переход от традиционных шамотных огнеупоров к композитным материалам на основе корунда с модифицирующими добавками [2]. Особый интерес представляют исследования, направленные на использование местного сырья, что снижает зависимость от импортных компонентов и транспортные издержки [3].

Работы Шаяхметова У.Ш. посвящены анализу алюмосиликатных глин и каолинов Республики Башкортостан, их термической активации и применению в производстве огнеупоров [5]. Автор показал, что при обжиге при 1200–1350 °С в данных глинах формируется муллитовая фаза, способствующая повышению термостойкости. Эти данные легли в основу выбора локального сырья для модификации в рамках исследования.

Целью работы является разработка состава и технологии изготовления огнеупорной керамики на основе корунда с нанодобавками ZrO_2 и SiC , с учётом возможностей использования регионального сырья, исследованного Шаяхметовым У.Ш [6].

В качестве основы использован технический корунд ($Al_2O_3 \geq 98,5\%$, < 45 мкм). В качестве модификаторов – нанопорошок ZrO_2 (50–80 нм, стабилизированный 3% Y_2O_3) и SiC (0,5–1,2 мкм). Для связывания применяли 2% раствор КМЦ.

Составы подбирались в диапазоне:

- Al_2O_3 : 80–90 %;

- ZrO_2 : 5-10 %;
- SiC : 3-8 %.

Для равномерного распределения наночастиц проводили ультразвуковую дисперсию (40 кГц, 30 мин). После сушки при 120 °С смесь прессовали при 150 МПа (полусухое формование). Обжиг осуществляли при 1550-1750 °С со скоростью нагрева 100 °С/ч, выдержкой 2 ч и контролируемым охлаждением.

Свойства определяли по ГОСТ: плотность и пористость – методом Архимеда; прочность на сжатие – на машине INSTRON 5569; микроструктура – SEM (JEOL JSM-7610F); фазовый состав — XRD (Bruker D8). Наилучшие свойства получены при составе $85\text{Al}_2\text{O}_3$ – 8ZrO_2 – 7SiC , обожжённом при 1700 °С:

- Плотность – 3,62 г/см³;
- Пористость – 5,8%;
- Прочность на сжатие – 215 МПа;
- Термоустойчивость – 70 циклов (20-700 °С).

SEM-анализ подтвердил измельчение зёрен за счёт ингибирующего действия ZrO_2 . Добавление SiC повысило теплопроводность и снизило вероятность трещинообразования при термоударах. Полученные значения соответствуют требованиям для огнеупоров класса «высокоглинозёмистые» (ГОСТ 21344-2023).

Сравнение с контрольным образцом ($95\text{Al}_2\text{O}_3$) показало увеличение прочности на 43 % и термоустойчивости – в 2 раза.

Важно отметить, что часть Al_2O_3 может быть заменена на предварительно обработанный каолин Учалинского месторождения, характеристики которого детально описаны Шаяхметовым У.Ш. [4]. При обжиге при 1300 °С такой каолин образует до 40% муллита, что позволяет частично использовать его в составе без снижения эксплуатационных характеристик. Это открывает возможности для создания более экономичных композиций на базе местного сырья.

Разработанная технологическая схема включает:

1. Ультразвуковое диспергирование нанодобавок;
2. Сушку и просеивание;
3. Полусухое прессование;
4. Программированный обжиг;
5. Контроль качества.

Разработан состав и технология изготовления огнеупорной керамики на основе корунда с нанодобавками ZrO_2 и SiC , обеспечивающие высокие физико-механические и термические свойства. Результаты согласуются с данными исследований Шаяхметова У.Ш., которые подтверждают перспективность использования региональных алюмосиликатных материалов после термической обработки. Предложенная керамика может быть рекомендована для применения в металлургии, энергетике и химическом машиностроении. Дальнейшие исследования будут направлены на создание градиентных огнеупоров с комбинированным использованием корунда и модифицированного башкирского каолина.

Библиографический список

1. ГОСТ 15167–2015. Огнеупоры. Методы определения плотности и пористости.
2. ГОСТ 16577–2015. Огнеупоры. Метод определения прочности при сжатии.
3. ГОСТ 21344–2023. Огнеупоры высокоглинозёмистые. Технические условия.
4. Шаяхметов У.Ш. Исследование алюмосиликатного сырья Башкортостана для производства огнеупоров // Известия вузов. Строительство. 2020. № 4. С.78-85.
5. Шаяхметов У.Ш., Хуснутдинов А.Р. Термическая активация каолинов Учалинского месторождения // Вестник БГУ. Серия «Естественные науки». 2019. Т. 24, № 2. С. 112-120.
6. Смирнова Е.В., Иванов А.П. Композитные огнеупоры на основе наноксида циркония // Вестник Уфимского университета науки и технологий. 2024. Т. 19, № 3. С. 45-53.

© Зайнагабдинов Д.Э., Федотов Н.А., 2025

И.Р. ЗАРИПОВ, Р.Е. САЛАХУДДИНОВ, А.Р. ХАММИДУЛИН

lllZaripovlll@gmail.com

Науч. руковод. – канд. хим. наук, доцент **Б.С. АХМЕТШИН**

Уфимский университет науки и технологий

**ВЛИЯНИЕ СОСТАВА И СТРУКТУРЫ КВАРЦ-ПИРОФИЛЛИТОВЫХ
КЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ НА ТЕРМИЧЕСКИЙ КОЭФФИЦИЕНТ
ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ И ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНУЮ
ПОЛЗУЧЕСТЬ**

Аннотация: в работе исследовано влияние состава и структуры кварц-пирогиллитовых керамических композитов на термический коэффициент линейного расширения и высокотемпературную ползучесть. Установлено, что материалы на основе пирогиллитового обладают низким ТКЛР ($0,6-1,1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$), высокой термо- и морозостойкостью, прочностью до 50 МПа и деформацией при ползучести не более 1 % при 1250 °С и нагрузке 0,8 МПа.

Ключевые слова: термический коэффициент линейного расширения; высокотемпературная ползучесть; кварц-пирогиллитовое сырьё; фосфатное связующее; керамические композиты; фазовые превращения; термостойкость; деформационная стойкость; дилатометрия; огнеупорные материалы

Термический коэффициент линейного расширения (ТКЛР) является одним из ключевых теплофизических параметров, определяющих поведение материалов при изменении температуры. Для силикатных и керамических материалов значение ТКЛР напрямую влияет на термостойкость, совместимость с другими компонентами конструкции и долговечность изделий в условиях циклического или длительного нагрева. Особое значение этот параметр приобретает при разработке композитов на основе кварца, пирогиллита и других огнеупорных минералов, где даже незначительное несоответствие ТКЛР между связующим и наполнителем может привести к образованию микротрещин, снижению прочности и преждевременному разрушению материала. В связи с этим актуальной задачей остаётся исследование ТКЛР керамических композитов в широком температурном диапазоне, установление его зависимости от фазового состава, пористости и типа связующего, а также оценка термомеханической совместимости с конструктивными аналогами, в частности с кварцевым стеклом. Исследованы композиционные керамические материалы на основе корунда и пирогиллита с фосфатным связующим. [1] Показано, что такие композиты обладают высокой термо- и морозостойкостью, низким термическим расширением и прочностью до 50 МПа после термообработки. Рекомендованы для применения до 1350 °С.

Исследованы теплофизические свойства керамики на основе аморфного SiO_2 , полученной методом шликерного литья [1]. Определены теплопроводность ($\sim 1 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$) в диапазоне $0\text{--}1000^\circ\text{C}$) и термический коэффициент линейного расширения ($0,6\text{--}1,1\cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$), подтверждена термомеханическая совместимость с кварцевым стеклом.

В работе исследована высокотемпературная ползучесть композитов на основе пиррофиллитового сырья Куль-Юрт-Тау с фосфатными связующими (H_3PO_4 и АХФС) [2]. Установлено, что деформация зависит от температуры, нагрузки и типа связующего, а основными механизмами ползучести являются проскальзывание зёрен, диффузионно-вязкое течение и спекание.

В статье исследованы структурообразование и свойства огнеупорных композитов на основе кварц-пиррофиллитового сырья месторождения Куль-Юрт-Тау с фосфатным связующим [3]. Установлены особенности твердения, фазовые превращения при нагреве и высокотемпературная прочность полученных материалов.

В работе использовано кварц-пиррофиллитовое сырьё месторождения Куль-Юрт-Тау (Республика Башкортостан), химический состав которого соответствует алюмосиликатному минералу пиррофиллиту ($\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 4\text{SiO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$) с примесями каолинита, диаспора и серицита. В качестве связующего применяли техническую ортофосфорную кислоту (H_3PO_4 , плотность $1,45 \text{ г/см}^3$) и алюмохромфосфатное связующее (АХФС). В состав композитов вводили тонкомолотые порошки (размер частиц $< 1 \text{ мкм}$) и зернистый наполнитель фракцией до 3 мм : обожжённое при 1200°C пиррофиллитовое сырьё, кварц-пиррофиллитовую смесь и огнеупорную глину. Образцы формовали прессованием (диаметр 36 мм , высота 50 мм) и подвергали термообработке в диапазоне $210\text{--}1400^\circ\text{C}$ [2].

Термический коэффициент линейного расширения (ТКЛР) определяли на вертикальном кварцевом dilatометре ДКВ в интервале температур $20\text{--}1000^\circ\text{C}$ со скоростью нагрева $3\text{--}4^\circ\text{C/мин}$. Измерения проводили в соответствии с методикой, описанной в [Dil.pdf], с учётом поправки на расширение кварцевых элементов прибора. Фазовый состав исследовали методом рентгенофазового анализа на дифрактометре ДРОН-4-07 ($\text{CuK}\alpha$ -излучение), микроструктуру — с помощью оптической микроскопии изломов. Теплопроводность определяли импульсным лазерным методом в диапазоне $0\text{--}1000^\circ\text{C}$. Испытания на ползучесть проводили в условиях одноосного сжатия при нагрузках $0,2\text{--}0,8 \text{ МПа}$ и температурах $1150\text{--}1450^\circ\text{C}$ [3].

Для идентификации фазового состава полученных композитов применяли рентгенографический фазовый анализ (РФА). Исследования проводили на дифрактометрах D8 ADVANCE (Bruker) и ДРОН-4 в диапазоне углов 2θ от 3° до 65° с шагом сканирования $0,05^\circ$ и временем экспозиции $1\text{--}3 \text{ с}$ на точку. Пробы готовили методом прессования порошка в стандартные кюветы из кварцевого стекла. Расшифровку дифрактограмм выполняли с использованием программного обеспечения EVA и базы данных PDF-2 (ICDD). Анализ проводили как для исходных смесей, так и для образцов после термообработки

при температурах 600, 900, 1140 и 1450 °С с целью отслеживания фазовых превращений в процессе нагрева [4].

В результате проведённых исследований установлено, что композиционные материалы на основе пирофиллитового сырья месторождения Куль-Юрт-Тау и фосфатных связующих (ортофосфорная кислота и алюмохромфосфатное связующее) формируют структуру, обеспечивающую высокие физико-механические и эксплуатационные характеристики. Прочность при сжатии достигает 50 МПа после термообработки при 1100-1200 °С. Наилучшие результаты получены при использовании 25 мас. % связующего и соотношении «твёрдое: жидкое» 7,3:1 [1].

Рентгенографический анализ показал, что при нагреве до 600 °С образуются метафосфаты алюминия $\text{Al}(\text{PO}_3)_3$, при 900 °С – ортофосфат алюминия AlPO_4 и α -кристобалит SiO_2 , а при 1450 °С – пирофосфат кремния $\text{Si}_2\text{P}_2\text{O}_7$. Часть продуктов реакции остаётся рентгеноаморфной даже после обжига до 1450 °С [2].

Материалы демонстрируют низкий коэффициент линейного термического расширения, термостойкость не менее 50 циклов (800 °С → вода), морозостойкость и усадку при обжиге до 1200 °С не более 0,5%. Высокотемпературная ползучесть при 1250 °С и нагрузке до 0,8 МПа не превышает 1% за 12 ч выдержки. Введение зернистого наполнителя (дроблённый кварц-пирофиллит, обожжённый при 1200 °С) снижает скорость ползучести на 1–2 порядка и повышает деформационную стойкость [2].

Из разработанных составов успешно изготовлены огнеупорные и электроизоляционные изделия (горелочные блоки, футеровочные элементы, втулки, трубки), прошедшие промышленные испытания и рекомендованные к применению при температурах до 1300 °С.

Библиографический список

1. Подшибякина Е.Ю., Новиков А.И., Черкашин А.А., Медушевский Д.С., Суханова О.А. Исследование теплофизических свойств керамических материалов на основе оксида кремния // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2017. Т. 2. С. 30-32.

2. Мурзакова А.Р., Шаяхметов У.Ш., Юмабаев Ю.С., Шаяхметов Р.У. Композиционные материалы на основе корундового и пирофиллитового сырья // Перспективные материалы. 2012. № 3. С. 81-86.

2. Мурзакова А.Р., Шаяхметов У.Ш., Бакунов В.С. Исследование высокотемпературной ползучести композиционных материалов на основе пирофиллитового сырья // Огнеупоры и техническая керамика. 2011. № 7-8. С. 38-42.

4. Уракаев Ф.Х., Массалимов И.А., Ахметшин Б.С., Массалимов Б.И., Хусаинов А.Н., Самсонов М.Р., Мустафокулов Ш.С. Механизм и кинетика роста наночастиц серы и сульфатов щелочноземельных металлов при их

соосаждении из истинных полисульфидных растворов // Журнал физической химии. 2025. Т. 99. № 4. С. 620-635.

© Зарипов И.Р., Салахутдинов Р.Е., Хаммидулин А.Р., 2025

УДК 543.552

А.Ф. ЗЕКИЕВА, Е.О. БУЛЫШЕВА, Р.А. ЗИЛЬБЕРГ

a.muhametjarova@yandex.ru

Уфимский университет науки и технологий

РАЗРАБОТКА СЕНСОРА ДЛЯ ЭНАНТИОСЕЛЕКТИВНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТИОНИНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПОЗИТА ИЗ ХИРАЛЬНОГО БОРОФОСФАТА МЕДИ (ОТКРЫТАЯ КАРКАСНАЯ СТРУКТУРА) И НАНОЧАСТИЦ ЗОЛОТА

Аннотация: разработан вольтамперометрический сенсор для распознавания энантиомеров метионина на основе композитного материала из полиэлектролитного комплекса, хирального борофосфата меди и наночастиц золота. Установлены оптимальные условия и получены электроаналитические характеристики сенсора. Сенсор успешно апробирован в модельных растворах, биологических жидкостях и фармацевтических препаратах.

Ключевые слова: метионин; наночастицы золота; полиэлектролитный комплекс; борофосфат меди; вольтамперометрия

Метионин (Met), или 2-амино-4-метилтиобутановая кислота, – это незаменимая серосодержащая алифатическая аминокислота, поступающая в организм человека исключительно с пищей, так как его синтез в организме не происходит. Входя в состав белков, метионин выполняет ряд ключевых биохимических функций. Он является основным источником метильных групп для реакций трансметилирования, участвует в биосинтезе нуклеотидов, фосфолипидов и нейромедиаторов, а также служит отправной точкой для синтеза цистеина, глутатиона, таурина и фосфатидилхолина.

Будучи хиральным соединением метионин существует в виде двух оптических изомеров. В метаболических процессах здорового человека и биосинтезе белков участвует исключительно L-энантиомер, тогда как D-форма практически не обладает метаболической значимостью и не включается в физиологические процессы. Дефицит L-метионина в организме приводит к серьезным патологическим состояниям, включая нарушения роста, развитие жировой дистрофии печени, снижение мышечной массы, повреждения кожных покровов и угнетение иммунной функции. Особый диагностический интерес представляет нарушение метаболизма метионина, в частности изменение соотношения его L- и D-энантиомеров в биологических жидкостях, что ассоциировано с развитием онкологических заболеваний, в частности рака

легких.

Анализ соотношения L- и D-форм метионина в биологических образцах, по данным современных исследований, — это перспективная основа для неинвазивной диагностики. Такой подход может революционизировать скрининг онкологических заболеваний и контроль за лечением. Реализация этого потенциала напрямую зависит от решения фундаментальной задачи — разработки высокочувствительных и быстрых методов энантиоселективного анализа [1].

Методика измерений.

Все вольтамперометрические измерения осуществлялись в трехэлектродной схеме, включающей рабочий электрод (немодифицированный или модифицированный СУЭ, $d = 2.0 \pm 0.5$ мм), электрод сравнения (Ag/AgCl, 3,5 М KCl) и противоелектрод (платиновая пластина площадью 200 мм²). Эксперименты проводились в ячейке объемом 20 мл.

Синтезированный по методике [2] борофосфат меди $\text{LiCu}_2[\text{BP}_2\text{O}_8(\text{OH})_2]$ применяли в качестве хирального селектора. Для приготовления композита 0.001 г хирального модификатора растворяли в 1 мл полиэлектrolитного комплекса хитозана (ПЭК), полученного по описанным ранее методикам [3-8], а затем ставили в ультразвуковую ванну на 15 мин. Далее в 50 мкл полученной смеси ПЭК@ $\text{LiCu}_2[\text{BP}_2\text{O}_8(\text{OH})_2]$ добавляли 5 мкл наночастиц Au.

Модифицирование стеклоуглеродного электрода проводилось путем помещения 3 мкл раствора ПЭК@ $\text{LiCu}_2[\text{BP}_2\text{O}_8(\text{OH})_2]$ @Au на подготовленную рабочую поверхность стеклоуглеродного электрода с последующим испарением растворителя под ИК-лампой в течении 5 мин до образования тонкой пленки на его поверхности. По завершении каждого анализа проводили регенерацию поверхности рабочего электрода.

Результаты и их обсуждение. В рамках разработки композитных вольтамперометрических сенсоров, предназначенных для селективного определения энантиомеров метионина, были исследованы хиральные селекторы, включающие борофосфатный цеолит с открытой пористой структурой и наночастицы золота. Наиболее выраженная разница в аналитических сигналах была зафиксирована для сенсора, модифицированного борофосфатом меди $\text{LiCu}_2[\text{BP}_2\text{O}_8(\text{OH})_2]$. Изучена зависимость относительного стандартного отклонения пикового тока окисления и энантиоселективности сенсора по отношению к энантиомерам Met от пропорции ПЭК и $\text{LiCu}_2[\text{BP}_2\text{O}_8(\text{OH})_2]$. Оптимальным оказалось соотношение 1 мл: 1 мг. Далее, исследована связь между энантиоселективностью сенсора к энантиомерам Met, относительным стандартным отклонением тока и соотношением ПЭК@ $\text{LiCu}_2[\text{BP}_2\text{O}_8(\text{OH})_2]$ к Au. Максимальная энантиоселективность была достигнута при соотношении компонентов 50 мкл:5 мкл. Изучили влияние объема модификатора, наносимого на поверхность СУЭ, на относительное стандартное отклонение аналитического сигнала и коэффициент энантиоселективности. Максимальный коэффициент энантиоселективности был получен при нанесении 0,3 мкл модификатора.

Также был экспериментально установлен срок хранения композита СУЭ/ПЭК@LiCu₂[BP₂O₈(OH)₂]@Au – 3 дня.

Таким образом, разработан сенсор на основе композита СУЭ/ПЭК@LiCu₂[BP₂O₈(OH)₂]@Au, произведена оптимизация его состава, изучены оптимальный объем нанесения его на поверхность электрода и срок хранения.

Методами циклической вольтамперометрии, электрохимической импедансной спектроскопии изучена морфология и электрохимические характеристики предложенного композитного сенсора; рассчитана площадь его эффективной поверхности ($A = 6,0 \pm 0,4 \text{ мм}^2$) и сопротивление переносу заряда ($R_{\text{et}} = 2560 \pm 5$).

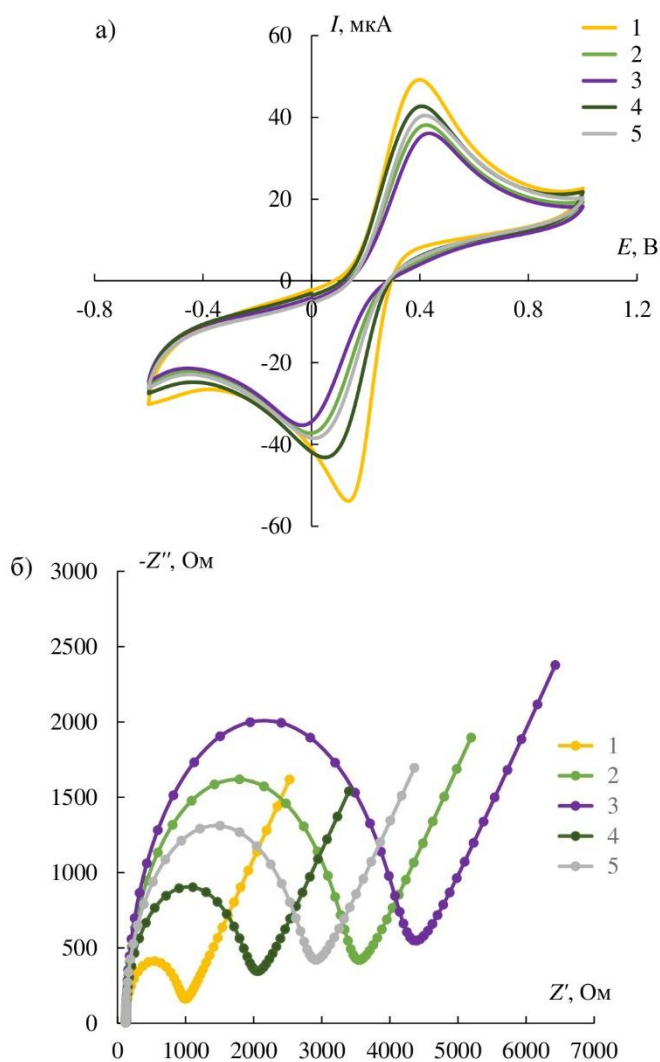


Рис. 1. Циклические вольтамперограммы (а) и спектры импеданса (б)

На рис. 1а представлены циклические вольтамперограммы, а на рис. 1б – спектры импеданса (диаграммы Найквиста), зарегистрированные в 5 мМ растворе редокс-системы $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-/4-}$ на фоне 0.1 М KCl . Исследование проведено для серии электродов: 1 – стеклоуглеродный электрод (СУЭ), 2 – СУЭ, модифицированный полиэлектролитом (ПЭК), 3 – СУЭ/ПЭК с

нанесенным хиральным борофосфатом меди-лития $\text{LiCu}_2[\text{BP}_2\text{O}_8(\text{OH})_2]$, 4 – СУЭ/ПЭК, модифицированный наночастицами золота (Au), и 5 – композитный электрод СУЭ/ПЭК@ $\text{LiCu}_2[\text{BP}_2\text{O}_8(\text{OH})_2]$ @Au. Скорость сканирования потенциала составила 100 мВ/с.

Были установлены ключевые аналитические параметры созданного сенсора. Для D- и L-метионина линейный диапазон определения составил от $1 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^{-3}$ М и от $5 \cdot 10^{-5}$ до $1 \cdot 10^{-3}$ М соответственно. Предел обнаружения равен $2,91 \cdot 10^{-7}$ М для D-метионина и $4,17 \cdot 10^{-7}$ М для L-метионина, а нижние границы количественного определения – $9,7 \cdot 10^{-7}$ М и $1,39 \cdot 10^{-6}$ М. Наибольшая чувствительность зафиксирована к D-энантиомеру, с разницей в потенциалах пиков 16 мВ и коэффициентом энантиоселективности 1,43.

Для валидации методики использовали метод «введено-найдено» на модельных растворах чистых энантиомеров и растворов биологических жидкостей. Сенсор продемонстрировал высокую точность во всем линейном диапазоне. Воспроизводимость результатов характеризуется относительным стандартным отклонением (RSD) не более 1,1 % для чистых растворов и до 2,0 % для модельных растворов плазмы крови. Статистический анализ данных подтвердил отсутствие систематической погрешности, а правильность определения во всех случаях была не ниже 97,5 %.

Закключение. В ходе работы был разработан вольтамперометрический сенсор для селективного распознавания и количественного определения энантиомеров Met. В его основе лежит стеклоуглеродный электрод, модифицированный композитом, включающим полиэлектролитный комплекс (ПЭК), хиральный материал $\text{LiCu}_2[\text{BP}_2\text{O}_8(\text{OH})_2]$ и наночастицы золота. Апробация предложенного сенсора подтвердила его эффективность для анализа биологических жидкостей (таких как плазма крови).

Библиографический список

1. Майстренко В.Н. Энантиоселективные вольтамперометрические сенсоры / В.Н. Майстренко, Г.А. Евтюгин, Р.А. Зильберг. Уфа: Башкирский государственный университет, 2018. 189 с.
2. Uteeva Z., Sadykov R., Bagdanova D., Agliullin M., Gus'kov V. Adsorption isotherms of enantiomers on a chiral open-framework copper borophosphate $\text{LiCu}_2[\text{BP}_2\text{O}_8(\text{OH})_2]$ // New Journal of Chemistry. 2024. V. 48. №. 16. P. 7189-7196.
3. Chitosan-based polyelectrolyte complex in combination with allotropic forms of carbon as a basis of thin-film organic electronics / R. Zilberg, R. Salikhov, I. Mullagaliev [et al.] // Chimica Techno Acta. 2024. Vol. 11, No. 3. P. 202411302.
4. Synthesis and Application of Chelate Complexes $[\text{Zn}(\text{L-arg})_2(\text{H}_2\text{O})]$ and $[[\text{Zn}(\text{L-arg})_2(\text{H}_2\text{O})](\text{SO}_4)]_2$ – as Chiral Selectors / R.R. Gizatov, Yu.B. Teres, M.N. Galimov [et al.] // Russian Journal of Coordination Chemistry. 2025. Vol. 51, No. 2. P. 119-128.
5. Вольтамперометрический сенсор на основе алюмофосфатного цеолита

и композита бетулиновой кислоты с полиэлектролитным комплексом хитозана для распознавания и определения энантиомеров напроксена / Р.А. Зильберг, В.Н. Майстренко, Ю.Б. Терес [и др.] // Журнал аналитической химии. 2023. Т. 78, № 7. С. 648-661.

6. Синтез и применение хелатных комплексов $[Zn(L-arg)_2(H_2O)]$ и $[[Zn(L-arg)_2(H_2O)](SO_4)]^{2-}$ в качестве хиральных селекторов / Р. Р. Гизатов, Ю. Б. Терес, М. Н. Галимов [и др.] // Координационная химия. 2025. Т. 51, № 5. С. 315-326.

7. Voltammetric electronic tongue for identification of naproxen pharmaceuticals by manufacturer / R. A. Zilberg, E. O. Bulysheva, Y. B. Teres [et al.] // Chimica Techno Acta. 2025. Vol. 12, №. 2. P. 12204.

8. A Voltammetric Sensor Based on Aluminophosphate Zeolite and a Composite of Betulinic Acid with a Chitosan Polyelectrolyte Complex for the Identification and Determination of Naproxen Enantiomers / R.A. Zilberg, V.N. Maistrenko, Yu. B. Teres [et al.] // Journal of Analytical Chemistry. 2023. Vol. 78, №. 7. P. 933-944.

© Зекиева А.Ф., Булышева Е.О., Зильберг Р.А., 2025

УДК 543.552

Г.И. ИШМАКАЕВА

ishmackaeva.rb@gmail.com

Науч. руковод. – канд. хим. наук, доцент **Р.А. ЗИЛЬБЕРГ**

Уфимский университет науки и технологий

РАСПОЗНАВАНИЕ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ЭНАНТИОМЕРОВ НАПРОКСЕНА МЕТОДОМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО- ИМПУЛЬСНОЙ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИИ

Аннотация: разработан сенсор на основе пастового электрода из графитированной термической сажи (СВРЕ) для энантиоселективного определения напроксена (Nap). Селективность достигается за счет модификации электрода хиральным никелевым комплексом. Эксперименты, проведенные методом дифференциально-импульсной вольтамперометрии (ДИВ), показали, что созданный сенсор СВРЕ@S-Ni демонстрирует высокую селективность в отношении энантиомеров напроксена.

Ключевые слова: энантиомер; хиральный комплекс никеля; Carboblack C; пастовый электрод; вольтамперометрия; селективность; дифференциально-импульсный режим

Одной из актуальных проблем в фармацевтике является определение и распознавание оптически чистых лекарственных средств, для решения которой применяют энантиоселективные вольтамперметрические сенсоры. Так,

напроксена, используемый в простудных и инфекционных заболеваниях, как анальгезирующее и противовоспалительное средство, имеет две формы – R- и S-Nap. При этом, терапевтическим эффектом обладает S-энантиомер, тогда как R-энантиомер весьма негативно отражается на организме человека.

Большинство известных традиционных методов недостаточно экспрессные, а также имеют высокую стоимость. Ввиду этого широкое применение получили электрохимические методы определения, в том числе создание энантиоселективных вольтамперметрических сенсоров на основе комплексных соединений переходных металлов с хиральными лигандами[5-11]. Сенсоры на основе графитированной термической сажи, модифицированной хиральными комплексами, демонстрируют высокую чувствительность, доступность и широкую применимость [1-4]. В частности, для определения энантиомеров напроксена (Nap) был создан сенсор [2, 11-12], основанный на пастовом электроде, где в качестве модификатора использовался хиральный никелевый комплекс Ni (II). Исследование возможностей данного сенсора по различению энантиомеров напроксена проводилось путем снятия вольтамперограмм в режиме дифференциально-импульсной вольтамметрии (рис. 1). Полученные данные свидетельствуют о высокой селективности сенсора CBPE@S-Ni в отношении энантиомеров напроксена. Предоставленные данные демонстрируют, что на исходном немодифицированном CBPE, нет различий в аналитических сигналах S- и R-энантиомеров (таблица 1). Напротив, на модифицированном электроде CBPE@S-Ni наблюдалось четкое различие в аналитических сигналах R-Nap и S-Nap как для первого, так и для второго пика, соответственно: $i_{p1S}/i_{p1R} = 1,43$, $i_{p2S}/i_{p2R} = 1,27$. При этом максимальная чувствительность достигается для (S)-Nap, составляя 6,44 и 6,90 мкА/мМ (таблица 1).

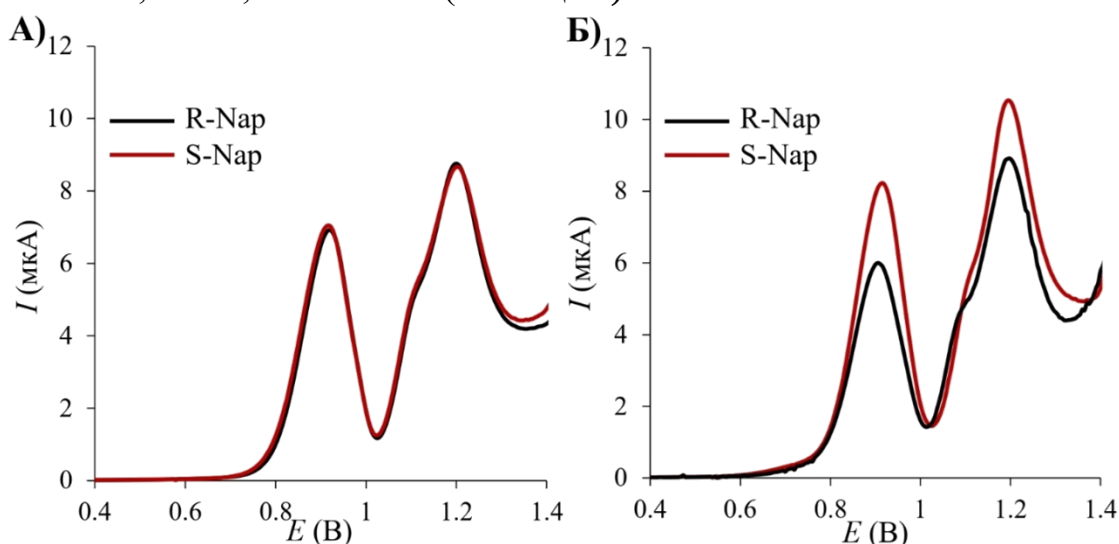


Рис. 1. ДИВ 1 мМ растворов энантиомеров Nap на фоне фосфатного буферного раствора с pH 6.86 на CBPE (A) и CBPE@S-Ni (B) при скорости сканирования потенциала 20 мВ/с

Таблица 1

ДИВ-характеристики 1 мМ растворов энантиомеров Nap на CBPE и CBPE@S-Ni
(фосфатный буферный раствор pH=6,86, $\nu=20$ мВ/с)

Параметр	CBPE		CBPE@S-Ni	
	(R)-Nap	(S)-Nap	(R)-Nap	(S)-Nap
1 пик				
E _{p1} , мВ	910±3	910±4	910±2	920±3
i _{p1} , мкА	6,11±0.08	6,17±0.11	4,99±0.03	7,16±0.06
ΔE, мВ	–	–	10	
i _{p1S} /i _{p1R}	–	–	1,43	
2 пик				
E _{p1} , мВ	1190±2	1190±4	1180±3	1190±4
i _{p1} , мкА	6,45±0.09	6,45±0.07	5,84±0.05	7,42±0.08
ΔE, мВ	–	–	10	
i _{p1S} /i _{p1R}	–	–	1,27	

Данный нами разработанный сенсор был успешно исследован на реальных объектах – плазма крови, моча, а также на лекарственных препаратах. Показатели правильности и стандартного отклонения свидетельствовали об отсутствии матричного эффекта.

Библиографический список

1. Zilberg R.A., Vakulin I.V., Teres Yu.B. [et al.]. Rational design of highly enantioselective composite voltammetric sensors using a computationally predicted chiral modifier // Chirality. 2022. Vol. 34, №. 11. P.1472-1488
2. Майстренко В.Н. Энантиоселективные вольтамперометрические сенсоры. Майстренко В.Н., Евтюгин Г.А., Зильберг Р.А. Уфа: Башкирский государственный университет, 2018. 189 с.
3. Maistrenko V.N. Enantioselective Voltammetric Sensors on the Basis of Chiral Materials // V.N. Maistrenko, R.A. Zilberg // Journal of Analytical Chemistry. 2020. Vol. 75, №. 12. P. 1514-1526.
4. Maistrenko V.N., Evtugin G.A., Zilberg R.A. Enantioselective Voltammetric Sensors: New Solutions // Journal of Analytical Chemistry. 2018. Vol.73, № 1. P. 1-9
5. A chiral Ni(II) complex immobilized on Carboblack C as a readily available and effective enantioselective voltammetric sensor for recognition of atenolol enantiomers in real samples / R.A. Zilberg, Y.B. Teres, E. O. Bulysheva [et al.] // Electrochimica Acta. 2025. Vol. 529. P. 146309.
6. Chiral selectors in voltammetric sensors based on mixed phenylalanine/alanine Cu(II) and Zn(II) complexes / R.A. Zilberg, T.V. Berestova, R.R. Gizatov [et al.] // Inorganics. 2022. Vol. 10, № 8. P. 117.
7. Гизатов Р.Р., Терес Ю.Б., Галимов М.Н. [и др.] Синтез и применение хелатных комплексов [Zn(L-ARG)2(H2O)] и [Zn(L-ARG)2(H2O)]2- в качестве хиральных селекторов // Координационная химия. 2025. Т. 51, № 5. С. 315-326.

8. Khromova O.V., Smol'yakov A.F., Zil'berg R. A. [et al.] Chiral Cobalt(III) Complexes Based on (1R,2R)-Cyclohexanediamine and 4-Bromo-5-methylsalicylaldehyde: Synthesis, Modification, and Application in Catalysis and Enantioselective Sensors // Russian Journal of Coordination Chemistry. 2025. Vol. 51, № 3. P. 200-210.

9. Zilberg R.A., Teres Y.B., Vakulin I.V. [et al.] Voltammetric sensor for naproxen enantiomers based on a paste electrode modified with a Chiral nickel(II) complex // Chirality. 2025. Vol. 37. № 2. P. e70025.

10. Gizatov R.R., Teres Yu.B., Galimov M. N. [et al.] Synthesis and Application of Chelate Complexes $[Zn(L\text{-arg})_2(H_2O)]$ and $[[Zn(L\text{-arg})_2(H_2O)](SO_4)]_2$ as Chiral Selectors // Russian journal of coordination chemistry. 2025. Vol. 51, № 2. P. 119-128.

11. Chiral octahedral cobalt(III) complex immobilized on Carboblack C as a novel robust and readily available enantioselective voltammetric sensor for the recognition of tryptophan enantiomers in real samples / R.A. Zilberg, Ju.B. Teres, E.O. Bulysheva [et al.] // Electrochimica Acta. 2024. Vol. 492. P. 144334.

12. Chiral voltammetric sensor on the basis of nanosized MFI zeolite for recognition and determination of tryptophan enantiomers / R. Zilberg, Yu. Teres, M. Agliulin [et al.] // Electroanalysis. 2024. Vol. 36, № 5. P. e202300375.

© Ишмакаева Г.И., 2025

УДК 546

Э.Р. КАДЫРОВА, Н.А. БАКИЕВА, У.Ш. ШАЯХМЕТОВ

evelina.kadyrova04@mail.ru

Науч. руковод. – канд. хим. наук, доцент **Б.С. АХМЕТШИН**

Уфимский университет науки и технологий

РЕНТГЕНОФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ И СТРУКТУРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОШКА ФРАКЦИИ 40-80 МКМ

Аннотация: проведён рентгенофазовый и структурный анализ порошкового материала фракции 40–80 мкм методом рентгеновской дифракции (РФА). На основе экспериментальных данных идентифицирована основная кристаллическая фаза, оценён средний размер кристаллитов и уровень микродеформаций.

Ключевые слова: рентгенофазовый анализ; однородность кристаллитов; нанокристаллическая структура; дифракционные пики; оксид алюминия; оксид кремния

Исследование физико-химических процессов твердения алюмофосфатной композиции на основе α -оксида алюминия показывают, что этот процесс является сложным и многостадийным, сильно зависящим от температуры и

скорости нагрева. Формирование прочной структуры начинается в интервале 120-160 °С и связано с образованием и последующей дегидратацией различных гидрофосфатов алюминия (таких как $\text{Al}(\text{H}_2\text{PO})$, $\text{AlPO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). По мере повышения температуры до 200-300 °С прочность растет, что обусловлено дальнейшим обезвоживанием и фазовыми превращениями, в результате которых образуются пирофосфаты, а затем орто- (AlPO_4) и метафосфаты ($\text{Al}(\text{PO}_3)_3$) алюминия.

Для придания материалу устойчивости к атмосферному воздействию и достижения максимальной прочности недостаточно твердения при низких и средних температурах. Составы, обработанные при 300-450 °С, склонны к регидратации и потере прочности на воздухе из-за присутствия гигроскопичных соединений и свободной кислоты. Окончательная стабилизация состава достигается только после высокотемпературной термообработки в интервале 700-800 °С, которая обеспечивает полную дегидратацию и формирование устойчивых фаз.

Рентгенофазовый анализ остается фундаментальным и экономически эффективным методом исследования структурных свойств материалов. Применительно к образцам, подвергнутым механической активации, метод позволяет проводить сравнительный анализ структурных параметров исходных и модифицированных материалов. Изучение зависимости параметров кристаллической решетки, ширины дифракционных пиков, величины микродеформаций и размеров когерентных областей рассеяния от времени механической обработки, температуры отжига и иных воздействий предоставляет критически важные данные о структурно-химических трансформациях.

Интеграция механоактивации в мельницах с рентгеноструктурным анализом формирует мощный инструментарий для целенаправленного получения материалов с заданными свойствами. Данный сочетанный подход позволяет коррелировать результаты термического и спектрального анализов с параметрами реакционной способности, что имеет существенное прикладное значение. Он обеспечивает не только углубленное изучение влияния обработки на фазовый состав, размер кристаллитов и степень их упорядоченности, но и оптимизацию технологических режимов для управления структурными характеристиками материалов. В нашем исследовании для выполнения рентгеновского анализа использовался Tongda TDM-20.

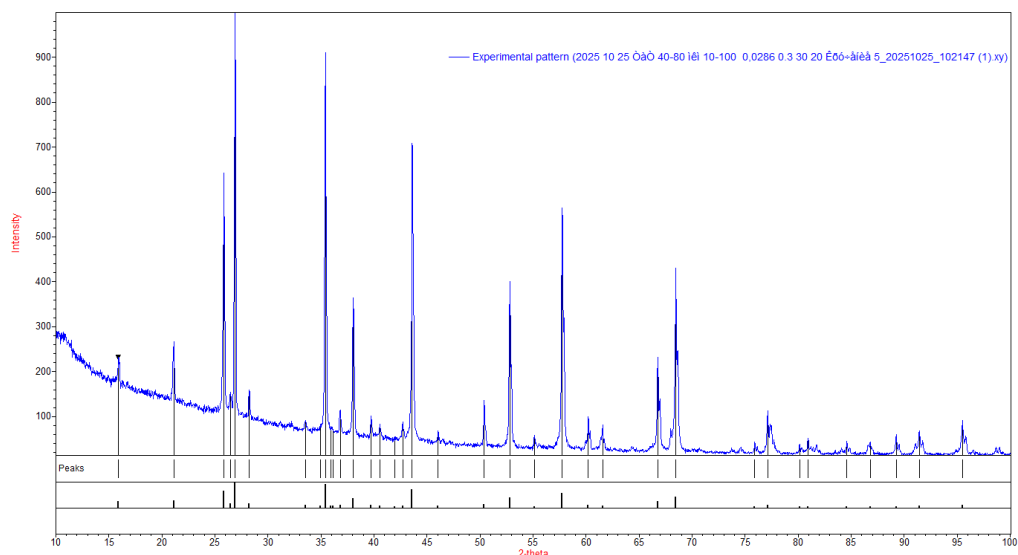


Рис. 1. Дифрактограмма материала фракции 40-80 мкм, методом РФА (оксид алюминия)

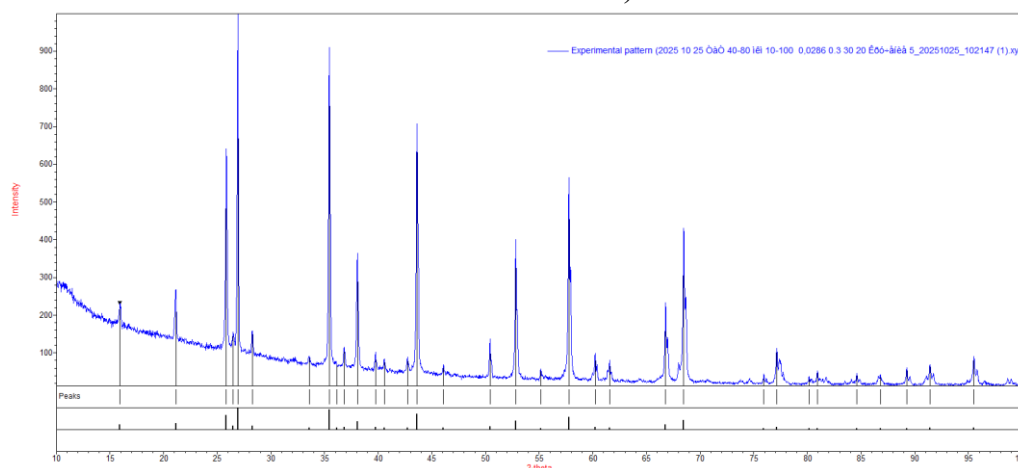


Рис. 2. Дифрактограмма материала фракции 40-80 мкм, методом РФА (оксид кремния)

Экспериментальные данные включают положения дифракционных пиков (2θ), межплоскостные расстояния (d), абсолютную и относительную интенсивности, а также ширину пиков на половине высоты (FWHM). Размер кристаллитов оценён по формуле Шеррера:

$$D = K\lambda / \beta \cos\theta,$$

где $K=0,9$, $\lambda=1,5406 \text{ \AA}$, β – уширение пика в радианах, θ – угол Брегга.

Для разделения вкладов размерного уширения и микродеформаций применён метод Вильямсона–Холла (Williamson–Hall):

$$\beta \cos\theta = K\lambda / D + 4\epsilon \sin\theta,$$

где ϵ – микродеформация решётки.

Расчёт по формуле Шеррера для основных пиков даёт значения размера кристаллитов в диапазоне 14–17 нм. Например:

1) для пика (012) при $2\theta = 26,926^\circ$: $D \approx 14,3$ нм ,

2) для пика (116) при $2\theta = 57,757^\circ$: $D \approx 15,9$ нм .

Разброс значений не превышает $\sim 15\%$, что указывает на однородность кристаллитов по размеру.

Анализ по методу Вильямсона–Холла: построена зависимость $\beta \cos \theta$ от $4 \sin \theta$ для 25 дифракционных пиков. Линейная регрессия даёт:

1) свободный член: 0,00712 ,

2) угловой коэффициент: 0,00234 ,

3) коэффициент корреляции: $R \approx 0,58$.

Из свободного члена получена усреднённая оценка размера кристаллитов: $D = 0,00712 \cdot 9 \cdot 1,5406 \approx 195 \text{ \AA} \approx 19,5$ нм.

Микродеформация оценена как:

$\varepsilon = 40,00234 \approx 5,85 \cdot 10^{-4}$ (или 0,0585%).

Умеренная корреляция ($R = 0,58$) свидетельствует о том, что уширение пиков вызвано совместным вкладом наноразмерности и микродеформаций, однако ни один из факторов не доминирует. Отсутствие сильного разброса точек по вертикали подтверждает структурную однородность.

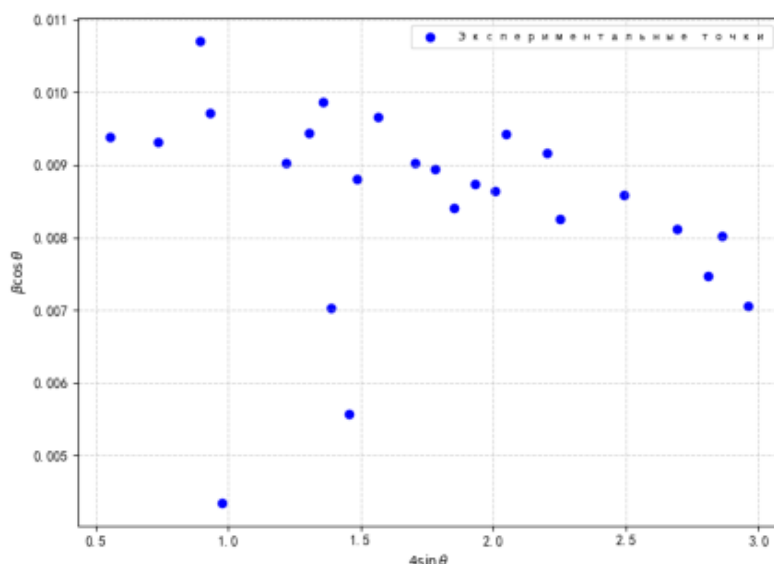


Рис. 3. График Вильямсона – Холла для порошка 40-80 мкм

Анализ рентгенофазовых данных, полученных для порошкового образца фракции 40-80 мкм, позволяет заключить, что основной кристаллической фазой материала является $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ с гексагональной структурой корунда. На основании сопоставления экспериментальных дифракционных пиков с референтными карточками базы ICDD установлено частичное совпадение положений и интенсивностей пиков с данными для хром-легированного корунда ($\text{Al}_{1.82}\text{Cr}_{0.18}\text{O}_3$), что указывает на возможное изоморфное замещение части ионов Al^{3+} на Cr^{3+} в кристаллической решётке. Средний размер кристаллитов, оценённый с использованием формулы Шеррера и уточнённый методом Вильямсона–Холла, составляет 14-20 нм, что свидетельствует о нанокристаллической природе материала. Уровень микродеформаций решётки

оценён как $\varepsilon \approx 5,8 \cdot 10^{-4}$ (0,058 %), что соответствует незначительным внутренним напряжениям. Однородность кристаллитов по размеру подтверждается стабильностью расчётных значений D для различных кристаллографических плоскостей и ограниченным разбросом экспериментальных точек на графике Вильямсона–Холла, что исключает существенный вклад полидисперсности кристаллитов в уширение дифракционных максимумов. Полученные структурные характеристики – высокая фазовая чистота корундной решётки, нанометрический размер кристаллитов, низкий уровень микродеформаций и структурная однородность обуславливают перспективность применения данного материала в функциональных системах, предъявляющих повышенные требования к химической инертности, механической твёрдости и термостойкости, включая абразивные композиты, износостойкие керамические покрытия и носители для гетерогенных катализаторов.

Библиографический список

1. Хайдаршин Э.А., Шаяхметов У.Ш., Халиков Р.М., Фахретдинов И.А., Шаяхметов А.К. Физико-химические особенности твердения алюмофосфатной композиции // Вестник Башкирского университета. 2016. Т. 21. № 1. С. 27-31.
2. Шаяхметов У.Ш., Усманов С.М., Мурзакова А.Р. и др. Технология экструзии наноструктурированных керамических масс на вакуумном поршень-прессе // Вестник Башкирского университета. 2014. Т.19. №1. С.348–352.
3. Wagh A. Chemical bonded phosphate ceramics. Amsterdam et al.: Elsevier, 2004. 284 p.

© Кадырова Э.Р., Бакиева Н.А., Шаяхметов У.Ш., 2025

К.Е. КОВИНА, Е.А. ЖИГАЛОВА, О.Д. ИШУМБАЕВА

ksyushakovina31@gmail.com

Науч. руковод. – канд. хим. наук, доцент **Б.С. АХМЕТШИН**

Уфимский университет науки и технологий

КИНЕТИКА СОВМЕСТНОГО ОСАЖДЕНИЯ НАНОЧАСТИЦ СУЛЬФАТОВ ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ И СЕРЫ ИЗ ПОЛИСУЛЬФИДНЫХ РАСТВОРОВ

Аннотация: исследована кинетика совместного осаждения наночастиц серы и сульфатов щелочноземельных металлов из полисульфидных растворов при взаимодействии с серной кислотой. В начальный момент образуются частицы 20-30 нм, которые затем агрегируют в композитные структуры. Рост частиц описывается линейной зависимостью логарифма их размера от времени.

Ключевые слова: наночастицы; сульфаты; кальций; барий; стронций; сера; кинетика осаждения

Развитие современных материаловедческих технологий требует разработки новых методов получения дисперсных неорганических соединений с контролируемыми характеристиками. Сульфаты щелочноземельных металлов (ЩЗМ), такие как CaSO_4 , SrSO_4 и BaSO_4 , являются важными функциональными материалами, находящими применение в медицине (например, сульфат бария как рентгеноконтрастное вещество), строительстве, производстве пигментов и катализаторов. Традиционные способы их получения часто приводят к микронным по размеру частицам. Для расширения их функциональности актуально получение этих соединений в наноразмерном диапазоне, что позволяет существенно улучшить их свойства, например, увеличить удельную поверхность или изменить реологические характеристики суспензий.

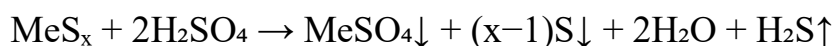
В данной работе исследуется альтернативный подход – совместное осаждение наночастиц сульфатов ЩЗМ и элементарной серы из водных растворов полисульфидов соответствующих металлов при их взаимодействии с разбавленной серной кислотой. Целью исследования является установление закономерностей протекания реакции осаждения, анализ кинетики укрупнения образующихся наночастиц и определение влияния ключевых параметров процесса (концентрации кислоты, температуры, добавок ПАВ) на размер и морфологию конечных продуктов.

В качестве исходных реагентов использовались: серная кислота H_2SO_4 (квалификация «химически чистый»), элементарная сера (S, массовая доля 99,95 %), оксид кальция (CaO), гидрооксид бария $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ и гидрооксид стронция $\text{Sr}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (все квалификации «чистый» или «химически чистый»), а также поверхностно-активное вещество неонол. Все реактивы

применялись без дополнительной очистки.

Водные растворы полисульфидов кальция, бария и стронция синтезировали путем взаимодействия соответствующих оксидов или гидроксидов металлов с механически активированной элементарной серой в водной среде при температуре 80–90 °С. Соотношение компонентов для каждого металла подбиралось таким образом, чтобы получить растворы с плотностью 1,25–1,27 г/см³. Готовые растворы полисульфидов представляли собой прозрачные жидкости вишневого цвета.

Процесс совместного осаждения осуществляли путем смешивания водного раствора полисульфида MeS_x (Me = Ca, Sr, Ba) с разбавленным раствором серной кислоты. Реакция протекала по следующей схеме:



Образующийся осадок представлял собой смесь тонкодисперсных частиц сульфата металла и элементарной серы. Газообразный сероводород, выделяющийся в ходе реакции, нейтрализовали, пропуская через щелочной раствор. Полученные осадки отделяли фильтрацией.

Для получения индивидуальных фаз проводили разделение смеси. Частицы серы отделяли от сульфата металла путем обработки осадка соляной кислотой, после чего серу отфильтровывали. Обратно, для выделения сульфата металла смесь обрабатывали раствором гидразингидрата и моноэтаноламина, который растворял серу.

Размеры частиц в суспензиях измеряли методом лазерной дифракции с помощью анализатора Shimadzu SALT 7101. Морфологию и размер первичных наночастиц оценивали с помощью двухлучевого электронного микроскопа FEI Helios Nanolab 660. Фазовый состав полученных порошков идентифицировали методом порошковой рентгенографии (РФА) на дифрактометре Rigaku Ultima IV и методом инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (FTIR) на спектрометре Shimadzu FTIR-8400S.

Анализ кинетики процесса показал, что сразу после смешения реагентов образуются зародыши наночастиц сульфата металла и серы с размерами порядка 20–30 нм. Эти первичные частицы быстро начинают агрегировать и укрупняться, образуя более крупные композитные агломераты. Зависимость размера частиц смеси от времени имеет экспоненциальный характер, что затрудняет анализ. Для упрощения был использован логарифмический масштаб: построена зависимость натурального логарифма размера частиц (ln(D)) от времени. Как показано на рис.1, эта зависимость во всех случаях (для CaSO₄+S, SrSO₄+S, BaSO₄+S) хорошо аппроксимируется прямой линией, что свидетельствует о простом механизме роста.

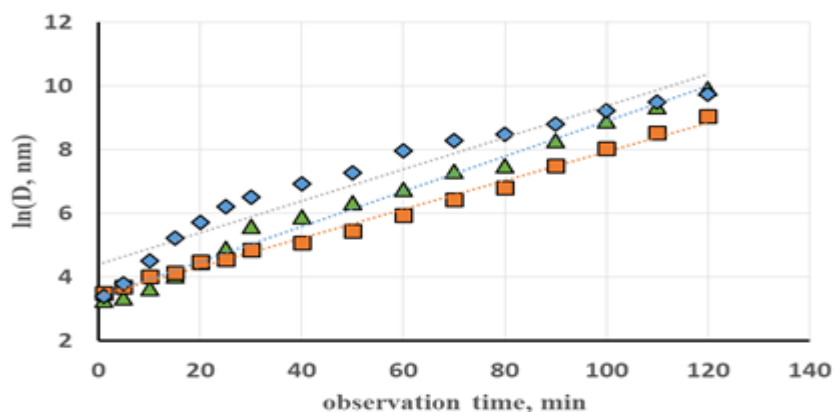


Рис. 1. Зависимости логарифмов частиц смеси по размерам:
 ▲ - серы и CaSO₄, ● - серы и BaSO₄, ■ - серы и SrSO₄

Это позволяет определить две важные кинетические характеристики: начальный размер частиц D_0 (по точке пересечения прямой с осью ординат) и кажущуюся константу скорости укрупнения Q (по тангенсу угла наклона). Для смесей сульфатов кальция, стронция и бария с серой значения Q были близки, что указывает на схожие условия протекания процесса агрегации.

С увеличением концентрации кислоты угол наклона зависимости $\ln(D)$ от времени возрастает, что говорит об увеличении скорости агрегации. Однако при концентрации выше 10 % наблюдается переход к неконтролируемому режиму осаждения с формированием крупных агломератов. Оптимальной для контролируемого синтеза является концентрация ~10 %.

Повышение температуры реакционной смеси также приводило к увеличению скорости укрупнения частиц. Это связано с возрастанием энергии теплового движения молекул и частиц, что способствует более частым столкновениям. Аналогично зависимости от концентрации, при температурах выше 65 °C процесс становился трудноконтролируемым, и наблюдались резкие скачки в размерах частиц. Измерения при высоких температурах осложнялись сильными тепловыми флуктуациями, снижавшими достоверность данных.

Добавление ПАВ (неонола) в концентрации 0,5% значительно замедляет процесс укрупнения, создавая стерическую или электростатическую стабилизацию частиц. Дальнейшее увеличение концентрации ПАВ не дает существенного эффекта.

После разделения смеси было установлено, что скорость укрупнения индивидуальных солей ЩЗМ (после удаления серы) существенно выше, чем в случае их совместного присутствия, что может быть связано с ролью серы как "пространственного разделителя". По данным РФА и ИК-спектроскопии, фазовый состав полученных нанопорошков полностью соответствовал стандартным данным для кристаллических сульфатов кальция, бария и стронция, что подтвердило высокую фазовую чистоту продуктов синтеза.

Таким образом можно сделать следующие выводы:

1. Разработан и исследован метод одновременного осаждения наночастиц сульфатов ЩЗМ и элементарной серы из водных растворов полисульфидов.

2. Кинетика укрупнения как смеси, так и индивидуальных фаз, описывается линейной зависимостью $\ln(D)$ от времени, что позволяет легко определить начальные размеры и скорости роста.

3. Скорость укрупнения увеличивается с ростом концентрации серной кислоты и температуры. Оптимальными условиями для контролируемого синтеза являются концентрация кислоты ~10 % и температура ниже 65 °С.

4. Применение ПАВ (неонола) в концентрации 0,5% эффективно замедляет агрегацию и способствует стабилизации нанодисперсий.

5. Методы РФА и ИК-спектроскопии подтвердили соответствие фазового состава полученных нанопорошков стандартным кристаллическим формам сульфатов ЩЗМ, что говорит о возможности получения чистых и кристаллических продуктов этим методом.

Библиографический список

1. Уракаев Ф.Х., Массалимов И.А., Ахметшин Б.С., Массалимов Б.И., Хусаинов А.Н., Самсонов М.Р., Мустафокулов Ш.С. Механизм и кинетика роста наночастиц серы и сульфатов щелочноземельных металлов при их соосаждении из истинных полисульфидных растворов // Журнал физической химии. 2025. Т. 99. № 4. С. 620-635.

2. Массалимов И.А., Самсонов М.Р., Ахметшин Б.С., Мустафин А.Г., Буркитбаев М.М., Шалабаев Ж.С., Уракаев Ф.Х. Совместное осаждение из растворов полисульфидов нанокмпозитов на основе коллоидных частиц серы и карбонатов щелочноземельных металлов // Коллоидный журнал. 2018. Т. 80. № 4. С. 424-434.

3. Массалимов И.А., Ахметшин Б.С., Мустафакулов Ш.С., Массалимов Б.И., Мустафин А.Г. Синтез наночастиц сульфата кальция с использованием полисульфида кальция // Бутлеровские сообщения. 2025. Т. 82. № 4. С. 24-35.

4. Дорофеев В.И., Петров Ю.П. Кинетика кристаллизации наночастиц в растворах. Санкт-Петербург: Наука, 2020. 224 с.

5. Bizzozero J., Scrivener K.L. Limestone reaction in calcium aluminate cement–calcium sulfate systems // Cement and Concrete Research. 2015. V. 76. P. 159-169.

© Ковина К.Е., Жигалова Е.А., Ишумбаева О.Д., 2025

А.Д. КОПЛИК, И.И. АКБАШЕВА, У.Ш. ШАЯХМЕТОВ

sasha.koplik2004@mail.ru

Науч. руковод. – канд. хим. наук, доцент **Б.С. АХМЕТШИН**

Уфимский университет науки и технологий

РЕНТГЕНОФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ АЛЮМОСИЛИКАТНОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ КОРУНДА И ОКСИДА КРЕМНИЯ

Аннотация: в работе представлены результаты рентгенофазового анализа композитного материала на основе Al_2O_3 и SiO_2 . Методами РФА и Уильямсона–Холла исследована кристаллическая структура материала, определены фазовый состав, размеры кристаллитов и наличие микронапряжений. Установлено, что материал представляет собой нанокомпозит с однородными характеристиками обеих фаз.

Ключевые слова: рентгеноструктурный анализ; нанокомпозит; оксид алюминия; оксид кремния; размер кристаллитов; микронапряжения

В современном материаловедении особое место занимают композитные материалы на основе оксидов алюминия и кремния, обладающие уникальными физико-механическими характеристиками. Актуальность исследования обусловлена необходимостью детального изучения структурных особенностей таких материалов для оптимизации их практического применения [2].

Целью работы являлся комплексный рентгеноструктурный анализ композитного материала с определением фазового состава, размеров кристаллитов и оценки структурной однородности. В ходе исследования было установлено, что материал представляет собой двухфазную систему, состоящую из $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (корунд) и $\alpha\text{-SiO}_2$ (кварц) [1].

Объект исследования – композитный материал на основе Al_2O_3 и SiO_2 . Методы исследования: рентгеноструктурный анализ, метод Шеррера для оценки размера кристаллитов, метод Уильямсона–Холла для анализа микронапряжений.

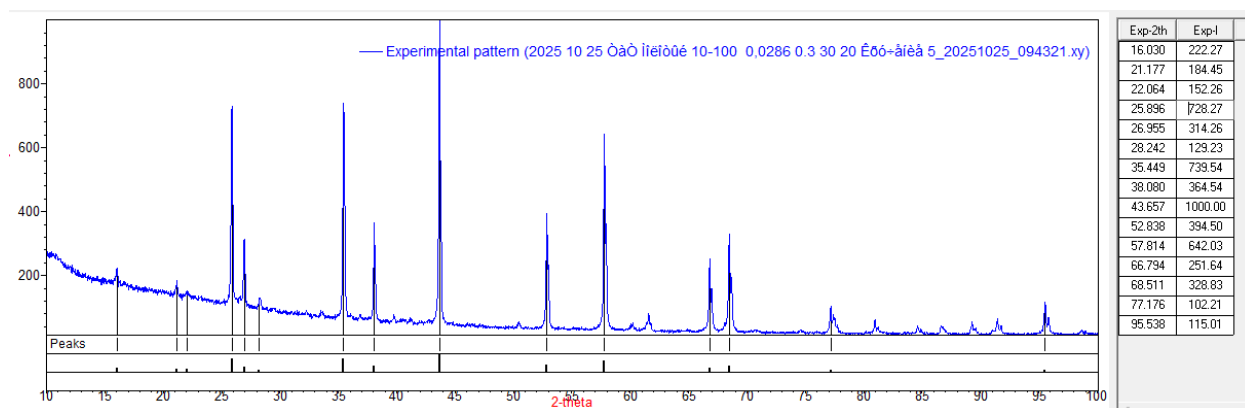


Рис. 1. Дифрактограмма образца с пиками $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (корунд)

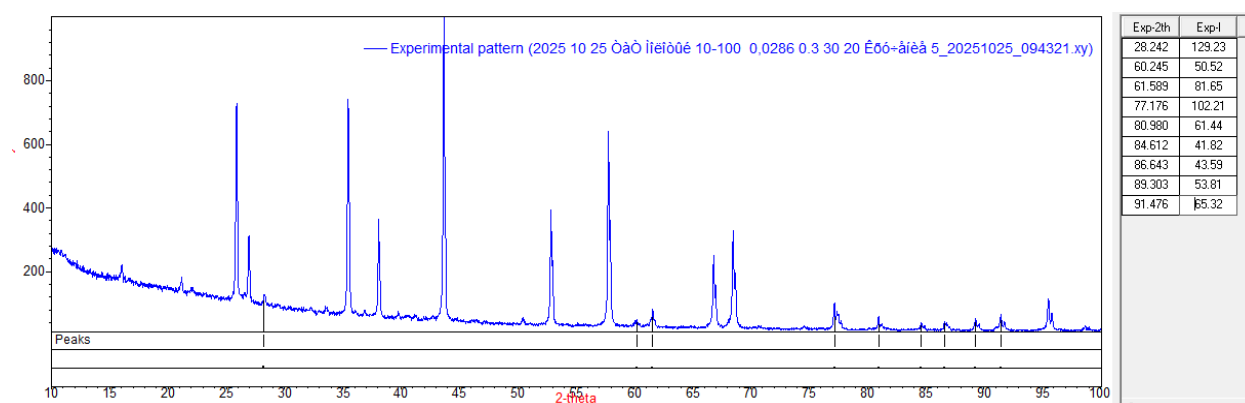


Рис. 2. Дифрактограмма образца с пиками $\alpha\text{-SiO}_2$ (кварц)

Идентификация фаз проводилась по характерным дифракционным пикам, показанных на рис. 1 и рис. 2. Для корунда были зафиксированы пики при $25,9^\circ$, $35,4^\circ$, $38,1^\circ$, $43,7^\circ$, $52,8^\circ$, $57,8^\circ$, $66,8^\circ$, $68,5^\circ$, $77,2^\circ$ и $95,5^\circ$. Фаза оксида кремния проявлялась по пикам при $28,2^\circ$, $50,4^\circ$, $61,6^\circ$, $81,0^\circ$, $89,3^\circ$ и $91,5^\circ$. Примечательно, что пики некоторых отражений (например, $38,1^\circ$, $43,7^\circ$, $52,8^\circ$, $57,8^\circ$, $66,8^\circ$, $68,5^\circ$, $77,2^\circ$, $95,5^\circ$) совпадают для обеих фаз, что указывает на частичное перекрытие рефлексов и необходимость осторожного анализа. Примеси других фаз (Diaspore, Gibbsite, Eskolaite и др.) не обнаружены в значимых количествах [3].

Оценка размеров кристаллитов методом Шеррера (1) показала однородные характеристики для обеих фаз: для Al_2O_3 и SiO_2 был определен средний размер кристаллитов около 42 нм, что свидетельствует о формировании нанокомпозитной структуры.

$$= \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}, K=0,94, \beta_{rad} = \beta_{deg} \cdot \frac{\pi}{180} \quad (1)$$

Детальный анализ структурной однородности проводился методом

Уильямсона–Холла. Для фазы α - Al_2O_3 были получены следующие параметры: микронапряжения $\varepsilon \approx -1,25 \cdot 10^{-5}$, размер кристаллитов $D \approx 42$ нм. Аналогичные показатели для α - SiO_2 составили: микронапряжения $\varepsilon \approx -5 \cdot 10^{-6}$, размер кристаллитов $D \approx 43$ нм. Полученные значения микронапряжений свидетельствуют об их физической незначимости, что указывает на высокую структурную однородность материала [4].

Практическая значимость исследования заключается в том, что полученные результаты демонстрируют возможность использования данного материала в различных областях применения, требующих стабильности и однородности наноструктуры [5]. Особенно перспективным представляется его использование в катализе, производстве защитных покрытий и создании композитных материалов нового поколения.

Исследуемый материал представляет собой нанокompозит на основе α - Al_2O_3 и α - SiO_2 со средним размером кристаллитов около 42 нм. Высокая структурная однородность и отсутствие микронапряжений делают материал перспективным для использования в катализе, производстве покрытий и композитных материалов.

Библиографический список

1. Анисина И.Н., Каныгина О.Н., Четверикова А.Г. Физико-химические свойства функциональных материалов
2. Браницкий Г.А., Азарова Т.А., Соколов В.Г. и др. Фильтроэлементы на основе модифицированной алюмосиликатной керамики. Структурные характеристики, биоцидные свойства // Химические проблемы создания новых материалов и технологий. 2008. С. 383-391
3. Власов В.А., Шеховцов В.В., Волокитин О.Г. Особенности формирования структурно-фазового состава микросфер на основе алюмосиликатных материалов
4. Гуревич М.М. Дифракционные методы изучения несовершенств кристаллической структуры. М.: Наука, 1982
5. Симин Д.С., Курдюмов А.А. Рентгенографический анализ в производстве керамики. М.: Стройиздат, 1983

© Коплик А.Д., Акбашева И.И., Шаяхметов У.Ш., 2025

А.Ю. КОТУНЭ, А.Р. КАСИМОВА, Л.Д. ТИМУРШИНА

artemkotyne@gmail.com

Науч. руковод. – канд. хим. наук, доцент **Б.С. АХМЕТШИН**

Уфимский университет науки и технологий

ПРИМЕНЕНИЕ НИТРАТА КАЛИЯ В КАЧЕСТВЕ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНОГО РЕАГЕНТА

Аннотация: исследован нитрат калия (KNO_3), полученный конверсионным синтезом, не корродирует металлы и не вредит бетону. Рентгенофазовый анализ подтвердил его высокую чистоту (без примесей). Благодаря низкой агрессивности и экологичности перспективен как противогололедный реагент для аэродромов и дорог.

Ключевые слова: нитрат калия; противогололедный реагент; рентгенофазовый анализ; фазовая чистота; коррозионная стойкость; хлорид кальция; конверсионный синтез

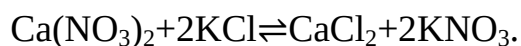
Нитрат калия (KNO_3) традиционно применяется в качестве минерального удобрения, окислителя в пиротехнике и консерванта в пищевой промышленности. В последнее время возрастает интерес к его использованию в сфере дорожного хозяйства благодаря таким свойствам, как минимальное коррозионное воздействие и отсутствие деградации дорожных покрытий.

Как показано в работе Фроловой Е. А. и соавт., нитрат кальция не вызывает коррозии авиационных сплавов и сохраняет целостность цементобетона, что обосновывает его применение в виде гранулированного реагента на аэродромах [1]. Поскольку нитрат калия относится к той же группе нитратных солей и обладает сопоставимыми характеристиками — включая низкую токсичность и высокую экологическую безопасность — он также представляет интерес в качестве альтернативы хлоридным составам.

В исследовании Кистановой Н. С. и др. описан метод конверсионного синтеза KNO_3 из $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ и KCl , обеспечивающий высокий выход продукта в широком интервале температур (от $+20$ до -20 °C) [2]. Качество полученного соединения, подтверждённое рентгенофазовым анализом, играет ключевую роль при его использовании в качестве реагента для борьбы с гололёдом.

Цель работы — оценить потенциал фазово чистого нитрата калия, полученного конверсионным путём, как эффективного и безопасного противогололедного средства, а также верифицировать его чистоту методом РФА.

Синтез KNO_3 проводили в лабораторных условиях по реакции двойного обмена:



В качестве исходных веществ использовали 5,0 г $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ и 3,0 г KCl (реактивы квалификации «х.ч.»). Компоненты растворяли в 30 мл дистиллированной воды при 60-70 °С с постоянным перемешиванием до полного растворения. Образовавшийся прозрачный раствор фильтровали и охлаждали до 0-5 °С на 1-2 часа для кристаллизации KNO_3 . Полученные кристаллы отделяли вакуумным фильтрованием, промывали ледяной дистиллированной водой и сушили при 40-50 °С до постоянной массы. Конечный продукт представлял собой белый кристаллический порошок.

Фазовый состав образца исследовали на рентгеновском дифрактометре с $\text{CuK}\alpha$ -излучением. На дифрактограмме наблюдались пики, полностью соответствующие безводному KNO_3 (карта ICDD PDF-2 № 01-070-2617), наиболее интенсивный из которых расположен при $2\theta \approx 27^\circ$. Отсутствие дополнительных максимумов, характерных для исходных солей ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, KCl) или побочных продуктов (CaCl_2), подтверждает высокую фазовую чистоту синтезированного соединения.

Отсутствие дополнительных пиков, ассоциированных с $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, KCl или CaCl_2 , однозначно подтвердило фазовую чистоту полученного соединения.

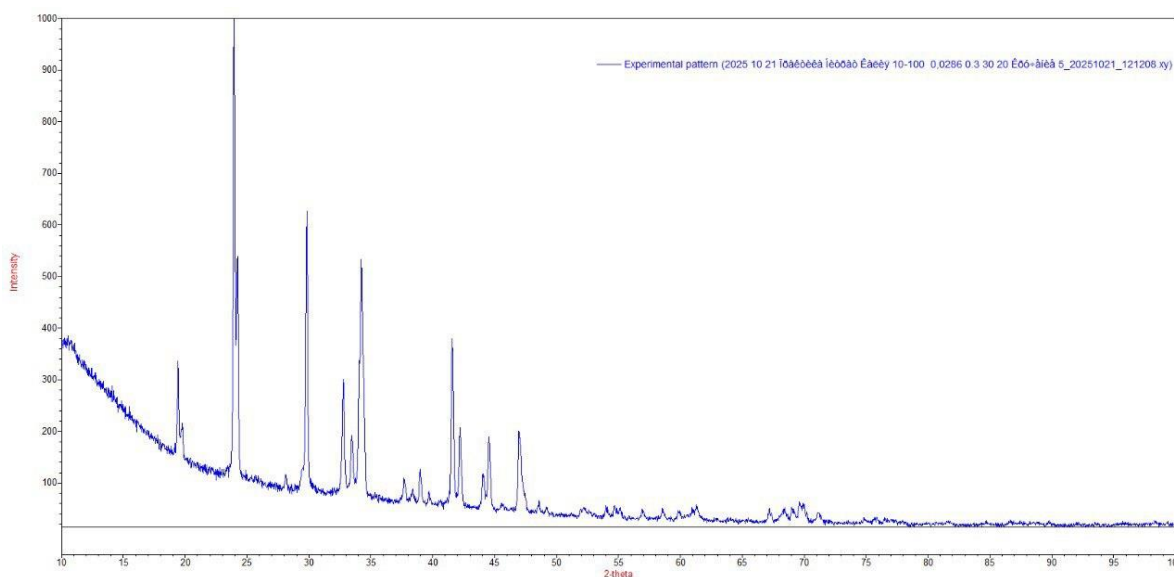


Рис. 1. Дифрактограмма продукта синтеза, идентифицированного как чистый безводный KNO_3 методом РФА

Согласно данным Фроловой Е. А. и соавт., нитраты кальция и калия не оказывают коррозионного влияния на металлы и не разрушают цементобетонные конструкции [1]. Это выгодно отличает их от широко используемых хлоридных реагентов (NaCl , CaCl_2), которые ускоряют коррозию арматуры и способствуют растрескиванию и выветриванию дорожного полотна.

Кроме того, нитрат калия обладает способностью эффективно снижать

температуру замерзания воды: при $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 1 г реагента способен растопить 2-3 г льда, что соответствует эффективности других нитратных составов [1].

Разработанный метод синтеза KNO_3 прост в реализации, воспроизводим и не требует специализированного оборудования. Рентгенофазовый анализ подтвердил высокую чистоту продукта, что является необходимым условием для его применения в качестве противогололедного средства. Благодаря низкой коррозионной активности, совместимости с бетоном и асфальтобетоном, а также экологической безопасности, нитрат калия может быть рекомендован к использованию на аэродромах, мостах и в городских зонах, особенно в местах с жесткими экологическими ограничениями.

Библиографический список

1. Фролова Е.А., Данилов В.П., Кондаков Д.Ф. Новый противогололедный реагент на основе нитрата кальция // Химическая технология. 2018. Т. 19. № 13. С. 589-595.

2. Кистанова Н.С., Конева И.Н., Кудряшова О.С. Исследование фазообразования в системе Ca^{2+} , K^{+} // Cl^{-} , NO_3^{-} – H_2O // Сборник статей XII Международного Курнаковского совещания по физико-химическому анализу. СПб.: Политех-Пресс, 2022. С. 12–13.

© Котунэ А.Ю., Касимова А.Р., Тимуршина Л.Д., 2025

УДК 544.5:577.152.3

Л.С. МАКСИМОВ, Д.А. АНДРЕЕВ

leotaxcer@ya.ru

Науч. руковод. – д-р хим. наук, проф. **В.Р. ХАЙРУЛЛИНА**

Уфимский университет науки и технологий

МЕТОДЫ QSAR В ПОИСКЕ НОВЫХ ИНГИБИТОРОВ 15-ЛОГ СРЕДИ ГОМО- И ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Аннотация: настоящая работа посвящена изучению количественной связи структура-активность для ингибиторов 15-липоксигеназы (15-LOX) среди 100 гомо- и гетероциклических соединений с использованием программного обеспечения GUSAR2019. Было создано 9 статистически значимых валидных моделей QSAR, которые можно использовать в виртуальном скрининге.

Ключевые слова: 15-липоксигеназа; QSAR; ингибиторы

Липоксигеназы (LOX) играют ключевую роль в метаболизме полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) и синтезе ряда сигнальных молекул. Семейство LOX подразделяется на классические формы (5-, 8-, 9-, 10-, 12-, 13-, 15-) и специализированные формы (fusion-, mini- и Mn-LOX). У

животных преимущественно встречаются 5-, 12- и 15-LOX. Каталитический центр в активированном состоянии содержит «негемовое» железо Fe (III). Специфичность LOXs влияет на номер атома углерода в молекуле ПНЖК, который атакуется молекулой кислорода с последующим образованием гидропероксидов. Впоследствии образовавшиеся гидропероксиды под воздействием уже других ферментов превращаются в кетоны, альдегиды и спирты.

Актуальность изучения ингибиторов 15-LOX обусловлена патофизиологическим влиянием продуктов окислительного метаболизма ПНЖК под действием данного фермента на организм животных и человека. Так, метаболиты арахидоновой кислоты, образующиеся при участии 15-LOX в различных типах клеток и органах животных и человека, участвуют в развитии множества заболеваний, включая атеросклероз, гипертонию, диабет, ожирение и нейродегенеративные расстройства. Современные подходы борьбы с этими заболеваниями включают использование антиоксидантов, хелаторов металлов и ингибиторов типа «окислительно-восстановительных агентов».

Методы QSAR/QSPR активно применяются в современной медицине и фармации благодаря своей способности эффективно сокращать расходы и сроки исследований путём компьютерного моделирования биологической активности и физических характеристик соединений.

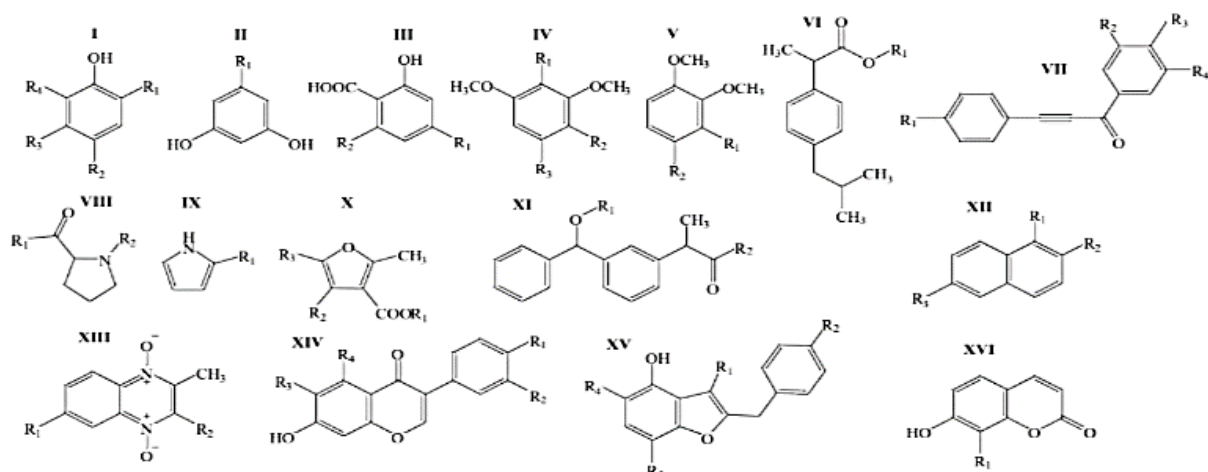


Рис. 1. Общие структурные формулы смоделированных ингибиторов 15-LOX

В исследовании использовались 100 соединений с общими структурными формулами I-XVI (рис. 1), обладающими различной степенью ингибирования 15-LOX. Исследование проводилось с использованием компьютерной программы GUSAR 2019 (General Unrestricted Structure Activity Relationships).

Методика подготовки модели представлена в работах [1,2].

В результате вычислительного эксперимента получено 9 валидных QSAR-моделей, различающихся типом используемых дескрипторов и количеством парциальных регрессий. Было обнаружено, что оптимальное количество частичных регрессий составляет около 20–320, что обеспечивает достаточную стабильность и адекватность построенных моделей. Анализ

показал, что максимальное различие между расчётными и экспериментальными значениями pIC_{50} составило всего 0,775 единиц, что свидетельствует о высоком потенциале использования моделей для прогнозирования эффективности ингибиторов (таблица 1).

Таблица 1

Сопоставление экспериментальных значений pIC_{50} ($pIC_{50\text{ exp}}$) с предсказанными ($pIC_{50\text{ pred}}$)

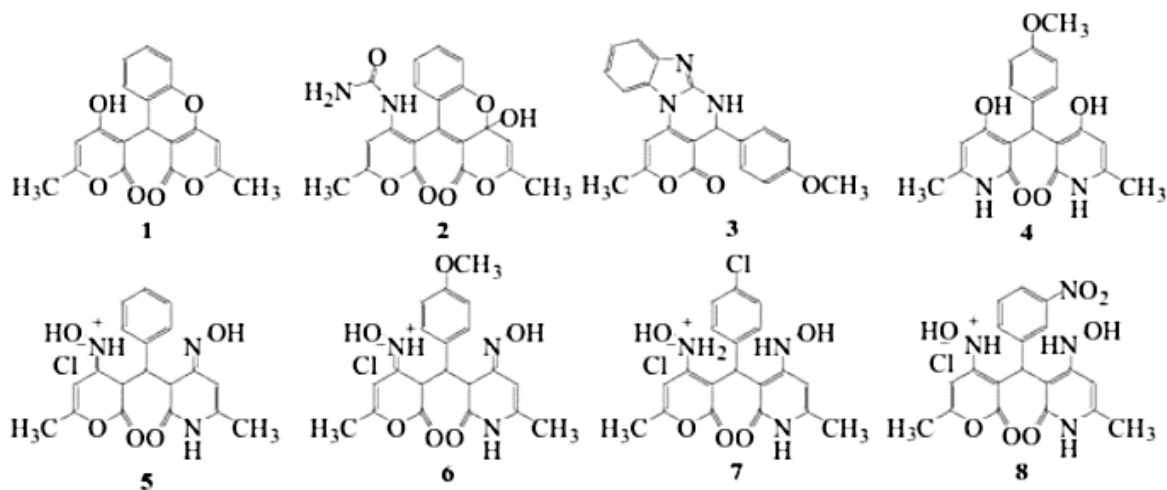
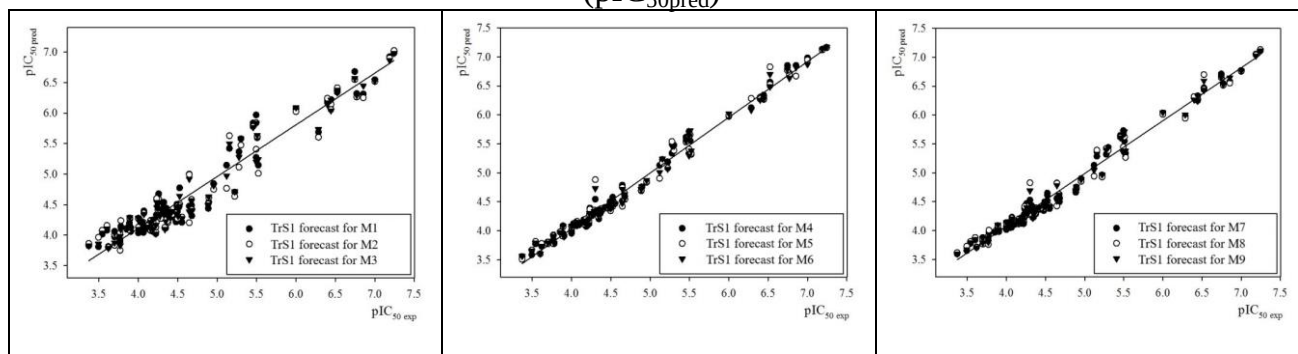


Рис. 2. Структурные формулы соединений 1-8

В дальнейшем консенсус модели были использованы для прогноза численных значений параметра pIC_{50} для соединений 1–8, структурные формулы которых указаны на рис. 2. Результаты количественного прогноза величины pIC_{50} с использованием построенных моделей попадают в 95% доверительный интервал, рассчитанный с учетом экспериментальных значений pIC_{50} для этих соединений и равен $\pm 2 \cdot RMSE$. Таким образом, все консенсус-модели QSAR характеризуются высокой описательной и умеренной прогностической способностью при сравнительном анализе экспериментальных и предсказанных значений pIC_{50} для структур.

Эти модели могут быть использованы для виртуального скрининга виртуальных библиотек и баз данных с целью поиска новых ингибиторов 15-ЛОГ в ряду гомо- и гетероциклических соединений с общими структурными формулами I-XVI (рис. 1). Однако требуются дополнительные биологические испытания.

Библиографический список

1. Martynova Y.Z., Khairullina V.R., Maksimov L.S. Quantitative Analysis of the Structure–Activity Relationship for Cyclooxygenase-2 Inhibitors Based on Diarylheterocyclic Derivatives. Russ // J Gen Chem 95. 2025. P. 2661-2670. <https://doi.org/10.1134/S107036322560393X>

2. Khairullina V., Martynova Y., Kanevsky M., Kanevskaya I., Zimin Y., Maksimov L. QSAR Modeling and Biological Testing of Some 15-LOX Inhibitors in a Series of Homo- and Heterocyclic Compounds // Molecules. 2024. Vol. 29. P. 5540. <https://doi.org/10.3390/molecules29235540>

© Максимов Л.С., Андреев Д.А., 2025

УДК 546

Р.Р. МИГРАНОВА, У.Ш. ШАЯХМЕТОВ

ruzalinamigranova23@yandex.ru

Науч. руковод. – канд. хим. наук, доцент **Б.С. АХМЕТШИН**

Уфимский университет науки и технологий

СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАЗЦА НАНОСТРУКТУРИРОВАННОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Аннотация: в работе проведён рентгенофазовый анализ наноструктурированной керамики на основе оксида алюминия. Установлено, что основной фазой является α - Al_2O_3 (корунд), наряду с чем выявлены вторичные фазы: SiO_2 , гидратированные соединения алюминия (гиббсит, диаспор) и следовые хромсодержащие фазы. Наличие гидратов указывает на неполную термообработку или увлажнение после синтеза.

Ключевые слова: наноструктурированная керамика; оксид алюминия (α - Al_2O_3); рентгенофазовый анализ (РФА); фазовый состав; кристаллитный размер; микродеформации решётки; метод Вильямсона–Холла; термическая обработка; гидратированные фазы; корунд; фосфатное связующее; высокотемпературная деформация; структурная однородность

Материалы на основе оксида алюминия (Al_2O_3) находят широкое применение в качестве огнеупоров, электроизоляторов и конструкционных компонентов благодаря высокой твёрдости, химической стойкости и термостойкости. Особую группу представляют наноструктурированные композиционные керамики, свойства которых определяются не только химическим составом, но и степенью дисперсности, фазовой чистотой и уровнем внутренних напряжений. Контроль этих параметров возможен с помощью рентгенофазового анализа (РФА), позволяющего провести

качественный и количественный фазовый анализ, а также оценить размер кристаллитов и микродеформации решётки.

В настоящей работе исследован образец керамики методом РФА. Целью работы является установление фазового состава, оценка степени однородности и определение структурных характеристик (размер кристаллитов, микронапряжения) с использованием метода Вильямсона-Холла.

Объектом исследования является порошковый образец керамического материала, разработанного на основе α -оксида алюминия. Исходные данные получены из рентгенофазового анализа (РФА), выполненного с использованием $\text{Cu K}\alpha$ -излучения (длина волны $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$).

Для идентификации кристаллических фаз проведено сравнение экспериментальных дифракционных пиков (2θ) с эталонными карточками базы данных ICDD (PDF-2). Основное внимание уделено фазам: $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (корунд, 00-900-9683), SiO_2 (кварц, 00-900-9686), гидратированным соединениям алюминия (гиббсит, диаспор) и хромсодержащим фазам (Cr_2O_3 , твёрдый раствор Cr в Al_2O_3).

Оценка размера кристаллитов и микродеформаций решётки выполнена по методу Вильямсона-Холла. Для 11 наиболее выраженных отражений $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ рассчитаны значения $\beta \cos \theta$ и $\sin \theta$, где β – ширина пика на половине высоты (FWHM) в радианах, θ – угол Брэгга. Построен график зависимости $\beta \cos \theta = f(\sin \theta)$, аппроксимация которого позволила определить средний размер кристаллитов D по пересечению прямой с осью ординат ($K\lambda/D$) и микродеформации ε по её наклону (4ε). Коэффициент формы K принят равным 0,9.

Анализ дифрактограммы показал, что доминирующей фазой в образце является $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, что подтверждается наличием сильных отражений при $2\theta = 25.896^\circ, 35.449^\circ, 43.657^\circ, 57.814^\circ$, совпадающих с карточкой ICDD 00-900-9683.

Параллельно зафиксированы сигналы, соответствующие:

1. SiO_2 (кварц, $2\theta \approx 26,955^\circ, 28,242^\circ$),
2. гиббситу $[\text{Al}(\text{OH})_3]$ (пики при $16,03^\circ, 21,177^\circ, 25,896^\circ$),
3. диаспору $[\text{AlOOH}]$ (совпадение при $35,449^\circ, 38,08^\circ$),
4. Cr_2O_3 (eskolaite, $2\theta \approx 35,08^\circ$)

Наличие гидратированных фаз указывает на сохранение остаточной влаги, что может быть следствием либо неполной термообработки ($< 300^\circ\text{C}$), либо повторного увлажнения после синтеза. Присутствие Cr^{3+} в решётке корунда может быть связано с легированием или примесями в сырье. Материал не является фазово однородным.

Проведённый анализ РФА образца показал, что материал представляет собой наноструктурированную керамику на основе $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, однако не обладает фазовой однородностью. Выявлены примеси SiO_2 и гидратированных форм алюминия, что указывает на незавершённость технологического цикла. По методу Вильямсона-Холла определён средний размер кристаллитов $\sim 12 \text{ нм}$ и наличие сжимающих микродеформаций ($\varepsilon \approx -0.00135$). Для достижения стабильной структуры и высоких термомеханических свойств рекомендуется

проведение термообработки при температуре не ниже 900 °С с последующим контролем фазового состава.

Библиографический список

1. Мурзакова А.Р., Шаяхметов У.Ш., Валеев И.М. Технология эффективных многофункциональных керамических композиционных материалов // Огнеупоры и техническая керамика. 2012. № 1-2. С. 37-39.

2. Шаяхметов У.Ш., Бакунова В.С., Мурзакова А.Р. Деформация и ползучесть керамических материалов: уч. пособие. Уфа: РИЦ БашГУ, 2013. 82 с.

3. Шаяхметов У.Ш., Амиров Р.А., Исхаков Ф.Ш., Васин К.А. Технология изготовления и деформация под нагрузкой безобжиговых керамических композиций // Современное состояние теории и практики сверхпластичности материалов: труды Межд. научн. конф. Уфа: Гилем, 2000. С. 333-339.

4. Шаяхметов У.Ш., Мурзакова А.Р. Влияние температуры обработки на высокотемпературную деформацию наноструктурированной композиционной керамики на основе оксида алюминия // Вестник Башкирского университета. 2014. Т. 19. № 2. С. 438-442.

© Мигранова Р.Р., Шаяхметов У.Ш., 2025

УДК 543.272:004.8

В.Р. МИГРАНОВА, Г.Г. БИЖАНОВА, И.А. ГАРЕЕВ

miverri@yandex.ru

Науч. руковод. – д-р хим. наук, проф. **А.В. СИДЕЛЬНИКОВ**

Уфимский университет науки и технологий

КОМБИНИРОВАННЫЙ ПОДХОД НА ОСНОВЕ ФРАКТАЛЬНОГО И ПЕРКОЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ВЫСОКОТОЧНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЭФИРНЫХ МАСЕЛ

Аннотация: разработан комбинированный подход для распознавания семи видов эфирных масел, интегрирующий фрактальный (методы Хигучи и DFA (Detrended Fluctuation Analysis)) и перколяционный анализ сигналов электронного носа. Показано, что метод DFA демонстрирует превосходящую дифференцирующую способность по сравнению с методом Хигучи. Впервые примененный перколяционный анализ выявил статистически значимые различия для сложной пары «Сосна – Эвкалипт» по метрике AUC (Area Under Curve).

Ключевые слова: электронный нос; фрактальный анализ; DFA; перколяционный анализ; эфирные масла; машинное обучение; классификация

Введение. Электронные носы (e-nose) представляют собой перспективную технологию для быстрого и неразрушающего анализа летучих соединений. Однако проблема надежного распознавания близких по химическому составу образцов, таких как эфирные масла, остается актуальной. Существующие методы распознавания образов часто недостаточны для дифференциации сложных пар с высокой степенью химического сходства.

Актуальность исследования обусловлена растущими требованиями к контролю качества натуральной продукции в пищевой, парфюмерно-косметической и фармацевтической отраслях. Необходимость в экспресс-методах, обеспечивающих высокую точность идентификации при минимальных временных затратах, определяет практическую значимость работы.

Научная новизна заключается в разработке комбинированного подхода, интегрирующего фрактальный и перколяционный анализ для обработки многомерных сигналов электронного носа на основе МОХ-сенсорики. Впервые применена методика количественной оценки сложности различения пар масел на основе комплексного статистического анализа.

Материалы и методы. Исследование проведено на семи образцах эфирных масел, доступных в свободной продаже: Можжевельник, Лимон, Сосна, Чайное дерево, Апельсин, Эвкалипт, Мята. Регистрация электрохимических сигналов осуществлялась с использованием 9-канального вольтамперометрического электронного носа с металлоксидными полупроводниковыми сенсорами на потенциостате/гальваностате Элинс-R20X (Черноголовка, РФ). Каждое масло измерялось при пяти различных базовых напряжениях (V100–V500), получено по 500 временных рядов на образец (общий объем данных – 3500 рядов). Для обработки данных использовался комплекс методов:

1. Фрактальный анализ: расчет фрактальной размерности методом Хигучи [1] и показателя скейлинга α методом DFA [2].
2. Перколяционный анализ: вычисление метрики AUC для кривых перколяционной проводимости с определением критических порогов [3, 4].
3. Статистический анализ: оценка значимости различий с использованием t-теста, U-критерия Манна-Уитни и пермутационных тестов. Классификация считалась успешной при точности $\geq 95\%$ [5-6].

Результаты и обсуждение. Метод Хигучи показал ограниченную эффективность для различия сложных пар масел, обнаружив аномально низкие значения фрактальной размерности (0,049–0,338 при ожидаемом диапазоне 1,0–2,0). Метод DFA продемонстрировал лучшие результаты: значения аналогичному показателю Хёрста (α) варьировались от 0,631 (Мята) до 1,151 (Лимон), что соответствует различным типам корреляций в сигналах.

Ключевым достижением стало применение перколяционного анализа. Для наиболее сложной пары «Сосна – Эвкалипт», неразличимой традиционными методами ($p > 0,77$), полномасштабный анализ 500 временных рядов выявил статистически значимые различия по метрике AUC ($p < 0,000001$).

Установлено, что Сосна характеризуется аномально низким диапазоном AUC ($0,50 \pm 0,49$), в то время как Эвкалипт демонстрирует классическое перколяционное поведение с высокими значениями AUC ($7,41 \pm 4,03$).

На основе полученных данных разработан классификационный алгоритм с порогом AUC = 1,5, обеспечивающий точность идентификации пары «Сосна – Эвкалипт» на уровне 96,9 %. Комплексный анализ всех семи масел позволил выделить три кластера по проводящим свойствам, что свидетельствует о фундаментальных различиях в химическом составе и структуре летучих соединений.

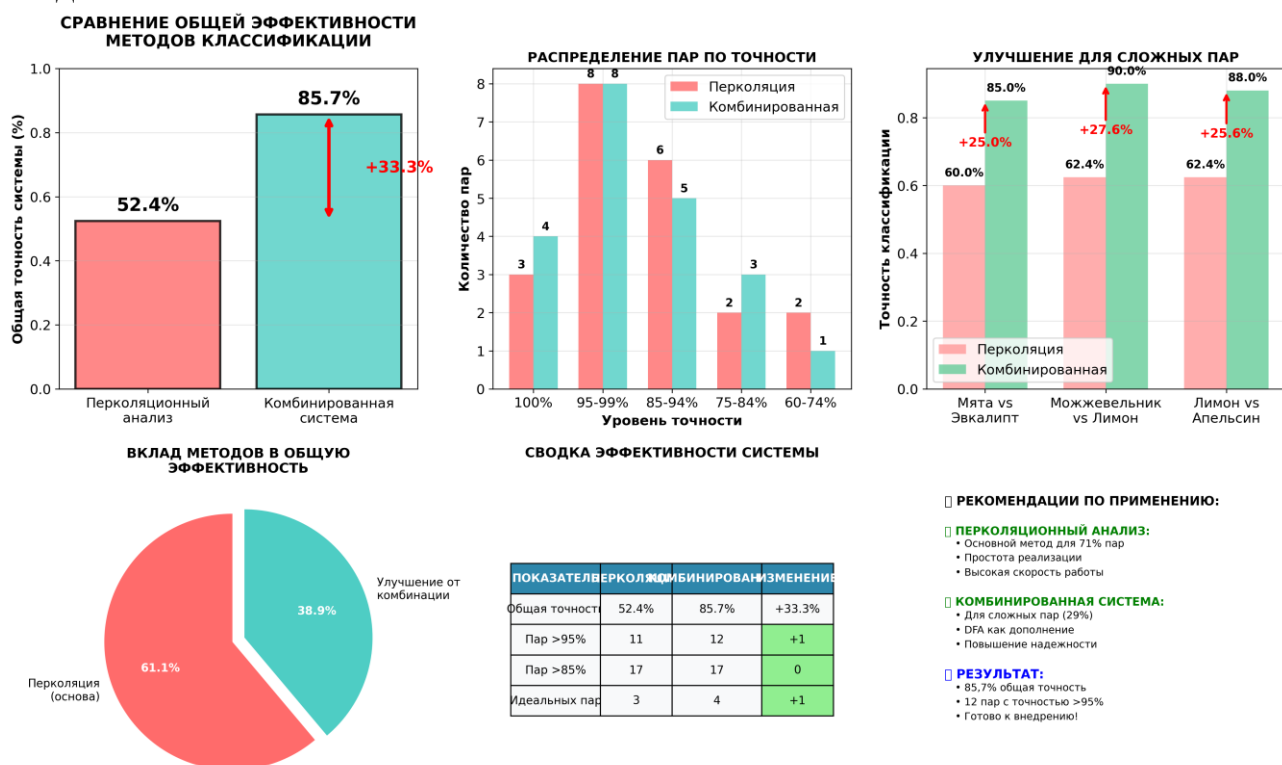


Рис. 1. Сравнительная эффективность методов классификации эфирных масел

Анализ сравнительной эффективности методов

Представленные на диаграмме результаты демонстрируют значительное улучшение эффективности классификации при использовании комбинированного подхода. Общая точность системы увеличилась с 52,4% до 85,7%, что представляет собой прирост на 33,3%. Особенно заметно улучшение для сложных пар масел, где изолированный перколяционный анализ показывал низкую эффективность.

Ключевым преимуществом комбинированной системы является ее адаптивность: для 71 % пар достаточно перколяционного анализа, обеспечивающего высокую скорость и простоту вычислений, тогда как для оставшихся 29 % сложных пар привлекается метод DFA, значительно повышающий надежность классификации.

Заключение. Разработан комбинированный подход на основе фрактального и перколяционного анализа, показавший высокую эффективность для идентификации эфирных масел с использованием электронного носа.

Достигнута общая точность классификации 85,7 % для 21 пары масел, при этом для 12 пар обеспечена точность свыше 95 %.

Метод DFA продемонстрировал более высокую дифференцирующую способность по сравнению с методом Хигучи. Перколяционный анализ, впервые примененный для решения данной задачи, доказал свою состоятельность, позволив надежно различить наиболее сложную пару «Сосна – Эвкалипт» по метрике AUC. Комбинированная система достигла общей точности 85,7 % для 21 пары масел, что на 33,3 % превышает эффективность изолированного перколяционного анализа. Для 12 пар достигнута точность свыше 95 %, включая 4 пары с 100 % точностью классификации.

Предложенный метод на основе вольтамперометрического «носа» обладает значительным потенциалом для внедрения в системы промышленного контроля качества и может быть расширен на другие классы химически близких летучих соединений. Дальнейшие исследования будут направлены на интеграцию методов машинного обучения для повышения точности классификации и распространения подхода к геоэкологическому мониторингу воздушных масс.

Библиографический список

1. Higuchi T. Approach to an irregular time series on the basis of the fractal theory // *Physica D: Nonlinear Phenomena*. 1988. Vol. 31, № 2. P. 277-283.
2. Kantelhardt J. W. Multifractal detrended fluctuation analysis of nonstationary time series // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2002. Vol. 316, № 1-4. P. 87-114.
3. Sheppard A.P., Knackstedt M.A., Pinczewski W.V., Sahimi M. Invasion percolation: new algorithms and universality classes // *Journal of Physics A: Mathematical and General*. 1999. Vol. 32, № 49. P. L521-L529.
4. Gallos L.K., Song C., Havlin S., Makse H.A. Scaling theory of transport in complex biological networks // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2007. Vol. 104, № 19. P. 7746-7751.
5. Mann H.B., Whitney D.R. On a Test of Whether one of Two Random Variables is Stochastically Larger than the Other // *The Annals of Mathematical Statistics*. 1947. Vol. 18, № 1. P. 50-60.
6. Good P.I. *Permutation, Parametric and Bootstrap Tests of Hypotheses*. 3rd ed. / P. I. Good – New York: Springer, 2005. 315 p.

© Мигранова В.Р., Бижанова Г.Г., Гареев И.А., 2025

Ч.Р. МУХАМЕТДИНОВ, Р.А. ЗИЛЬБЕРГ, А.А. ЕМАШЕВА
chingizkhan.mukhametdinov@gmail.com

Уфимский университет науки и технологий

ИДЕНТИФИКАЦИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД ПО ПРИРОДЕ И ПРОИЗВОДИТЕЛЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТЕКЛОУГЛЕРОДНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОЧАСТИЦАМИ

Аннотация: в ходе исследования была разработана и протестирована вольтамперометрическая мультисенсорная система типа «электронный язык» для идентификации минеральных вод по природе и производителю. Сенсоры на основе стеклоуглеродных электродов, модифицированные композитами с добавлением наночастиц, были использованы для регистрации циклических вольтамперограмм. С помощью хеометрической обработки данных была достигнута классификация исследованных образцов по природе, а также определение минеральных вод по производителю.

Ключевые слова: электронный язык; вольтамперометрия; мультисенсорная система; химически модифицированные электроды; наночастицы углерода; наночастицы золота; минеральная вода

Сложность анализа и контроля качества минеральных вод связана со сложным ионным составом, а также низкой концентрацией растворенных солей. Вольтамперометрические методы отличаются высокой чувствительностью, что позволяет исследовать вещества низкой концентрации. Технология «электронный язык» показывает свою эффективность при анализе многокомпонентных составов. Хеометрическая обработка вольтамперометрических данных, зарегистрированных на сенсорах с перекрестной чувствительностью, открывает возможность идентификации и контроля качества минеральных вод.

В основу обучения системы легли образцы минеральных от одиннадцати производителей, отличающиеся как по значениям общей минерализации, так и по качественному составу (таблица 1).

Мультисенсорная система включает в себя три стеклоуглеродных электрода, модифицированных композитными модификаторами. В качестве модификаторов использовали смесь из полиэлектrolитного комплекса хитозан-сукцинамид хитозана с одностенными углеродными нанотрубками (SWCNT), восстановленным оксидом графена (rGO) и наночастицами золота (AuNPs). Таким образом, мультисенсорная система представляет собой комбинацию из сенсоров: СУЭ/ПЭК@SWCNT, СУЭ/ПЭК@rGO и СУЭ/ПЭК@AuNPs. Данный набор сенсоров позволяет добиться перекрестной чувствительности, что необходимо при анализе многокомпонентных растворов.

Таблица 1

Состав и pH исследуемых минеральных вод

№	Марка	Общая минерализация (г/л)	HCO_3^- (мг/л)	SO_4^{2-} (мг/л)	Cl^- (мг/л)	Ca^{2+} (мг/л)	Mg^{2+} (мг/л)	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$ (мг/л)	H_3BO_3 (мг/л)	H_2SiO_3 (мг/л)	pH
1	Лысогорская	13-19	400-1200	5500-9000	2200-3700	350-550	500-900	2800-4500	-	-	6,6
2	Donat	10,5-15,9	6300-9400	1800-2700	<100	300-480	850-1200	1200-2000	-	-	7,0
3	Ессентуки №17	10-14	4850-6500	0,5-70	1700-2800	50-150	30-95	2700-4000	40-90	10-50	7,6
4	Ессентуки №4	7-10	3400-4850	0,5-30	1300-2000	10-150	5-65	2000-3000	30-60	10-50	7,4
5	STELMAS	4,8-8,7	1900-2900	1100-3000	<250	300-1000	200-500	300-1000	-	-	6,3
6	Borjomi	5-7,5	3500-5000	1-12	250-500	20-150	20-150	1000-2000	-	-	7,5
7	Gorji	4-7	2300-4000	30-150	200-700	1-100	1-50	1000-3000	-	10-80	6,6
8	Рычал-су	4-5	2500-3000	0-25	450-550	5-25	0,5-25	1200-1450	-	25-50	7,1
9	Мензелинская	2,5-3,5	50-200	1000-2000	150-500	100-400	60-200	400-900	-	-	5,9
10	Нарзан	2-3,5	1000-1950	250-1100	50-250	200-600	50-180	50-450	-	10-50	7,1
11	Красноусольская	2,2-2,3	250-350	1300-1600	<50	550-650	<100	<50	-	-	6,2

Результаты полученные с помощью МГК-моделирования и SIMCA-классификации [1-8] были использованы для классификации образцов и идентификации по производителю исследованных минеральных вод. Уникальный состав каждого из анализов отражается на графике счетов МГК-моделирования: ГК1 ассоциирована с концентрацией исследуемых образцов – кластеры расположились в соответствии с увеличением общей минерализации справа налево; ГК2 ассоциирована с концентрацией SO_4^{2-} в минеральных водах – кластеры расположились в соответствии с понижением сульфат-ионов снизу вверх; диагональные вектора ассоциированы с изменением концентрации ионов K^+ , Na^+ и HCO_3^- .

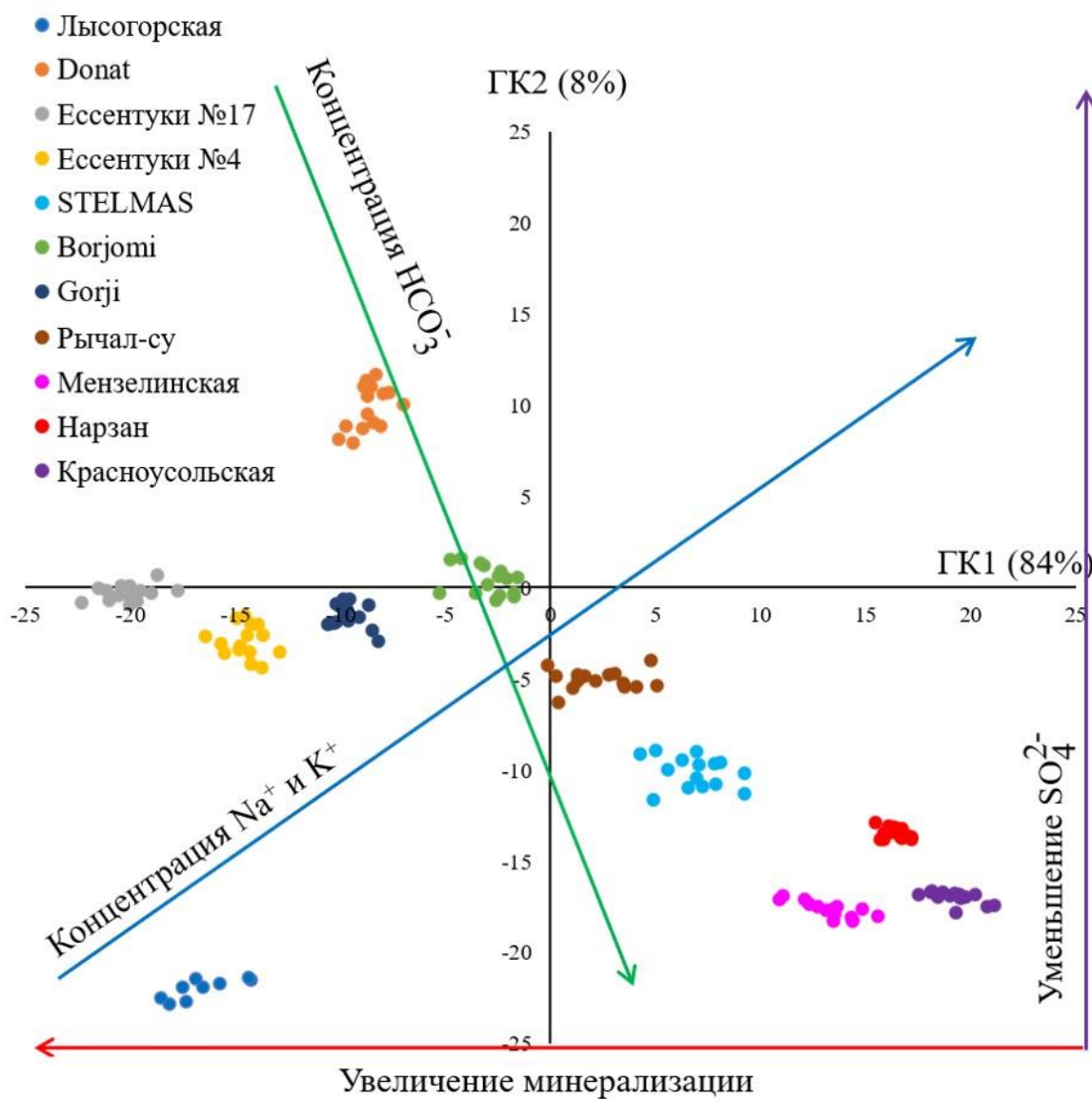


Рис. 1. График счетов МГК-моделирования 11 образцов минеральных вод различных производителей на трехсенсорной системе

Возможность точной идентификации образцов достигается благодаря SIMCA-классификации (таблица 2). Доля верно распознанных минеральных вод достигает 100%, а ошибки I и II не превышают 13.3%, что позволяет идентифицировать минеральные воды по производителю.

Таблица 2

SIMCA-классификация минеральных вод различных производителей

ТО** \ ОС*	Лысогорская	Donat	Эссентуки №17	Эссентуки №4	Стэлмас	Боржоми	Gorji	Рычал-су	Мензелинская	Нарзан	Красноусольская
Лысогорская	100	0	0	0	13,3	0	0	13,3	0	0	0
Donat	0	86,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Эссентуки №17	0	0	100	13,3	0	0	0	0	0	0	0
Эссентуки №4	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0
Стэлмас	13,3	0	0	0	100	0	13,3	0	0	0	0
Боржоми	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0
Gorji	0	0	0	0	0	0	100	13,3	0	0	0
Рычал-су	0	0	0	0	0	0	13,3	100	0	0	0
Мензелинская	0	0	0	0	0	0	0	0	86,7	0	13,3
Нарзан	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0
Красноусольская	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13,3	86,7

Таким образом, сочетание вольтамперометрических методов и хемометрической обработки данных позволяет идентифицировать и классифицировать минеральные воды по производителю и их природе, что открывает возможность контроля качества и выявления фальсифицированной и некачественной продукции без использования дорогостоящих приборов и сложной пробоподготовки.

Библиографический список

1. Vlasov Yu., Legin A., Rudnitskaya A., Di Natale C., D'Amico A. Nonspecific sensor arrays («electronic tongue») for chemical analysis of liquids (IUPAC Technical Report) // Pure and Applied Chemistry. 2005. Vol. 77, № 11. P. 1965–1983.
2. Sidel'nikov A.V., Zil'berg R.A., Kudasheva F.Kh. [et al.] Voltammetric identification of multicomponent solutions using principal components analysis // Journal of Analytical Chemistry. 2008. Vol. 63, №. 10. P. 975–981.
3. Zilberg R., Bulysheva E., Teres Y., Volkova A., Ishmakaeva, G.,

Mukhametdinov, G., Vakulin, I. Voltammetric electronic tongue for identification of naproxen pharmaceuticals by manufacturer // *Chimica Techno Acta*. 2025. Vol. 12, №. 2. Art. 12204.

4. Яркаяева Ю.А., Дубровский Д.И., Зильберг Р.А., Майстренко В.Н. Вольтамперометрические сенсоры и сенсорная система на основе модифицированных полиарилефталатами золотых электродов для распознавания цистеина // *Электрохимия*. 2020. Т. 56, № 7. С. 591–603.

5. Zilberg R.A., Teres, Y.B., Bulysheva E.O. [et al.] A chiral Ni(II) complex immobilized on Carboblack C as a readily available and effective enantioselective voltammetric sensor for recognition of atenolol enantiomers in real samples // *Electrochimica Acta*. 2025. Vol. 529. P. 146309.

6. Дубровский Д.И., Кабирова Л.Р., Хаблетдинова А.И. [и др.] Вольтамперометрические сенсоры на основе композитов полиэлектролитного комплекса хитозана и α -, β -, γ -циклодекстринов для определения и распознавания энантиомеров метионина // *Вестник Башкирского университета*. 2018. Т. 23, № 3. С. 721–727.

7. Зильберг Р.А., Сидельников А. В., Яркаяева Ю. А. [и др.] Идентификация лекарственных средств на основе биспролола с использованием вольтамперометрического «электронного языка» // *Вестник Башкирского университета*. 2017. Т. 22, № 2. С. 356–363.

8. Зильберг Р.А., Кабирова Л.Р., Яркаяева Ю.А. [и др.] Распознавание пропранолола по производителю с использованием стеклоуглеродных электродов, модифицированных композитами на основе полиарилефталатной плёнки, меламина и циануровой кислоты // *Известия Уфимского научного центра РАН*. 2017. № 4. С. 33–40.

© Мухаметдинов Ч.Р., Зильберг Р.А., Емашева А.А., 2025

К.В. НАБУТОВА, Г.С. ЯХИНА

nabutovak@gmail.com

Науч. руковод. – канд. хим. наук, доцент **М.В. БАЗУНОВА**

Уфимский университет науки и технологий

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ОТЖИГА НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИПРОПИЛЕНА

Аннотация: в данной работе исследовано влияние температурного отжига на физико-химические свойства композитов на основе полипропилена. Полученные экспериментальные результаты дают основания заключить, что влияние температурного отжига на композиты полипропилена зависит от типа неорганического наполнителя.

Ключевые слова: композиты; отжиг; физико-химические свойства; полипропилен; стекловолокно; алюмосиликатные микросферы; относительное удлинение; модуль упругости; изгибающее напряжение

Создание новых полимерных композиционных материалов (ПКМ) с специфическими свойствами является одним из важнейших аспектов в развитии в области материаловедения. [1]. Одним из основных параметров для композитов, применяемых в условиях повышенных температур, является их теплостойкость. Под теплостойкостью понимают способность полимерных материалов сохранять комплекс свойств в определенном диапазоне при нагревании без изменения химической структуры макромолекул. Эффективным методом улучшения теплофизических свойств полимерных композиционных материалов является термический отжиг.

Отжиг является значимым технологическим процессом, который заключается в нагреве испытуемых образцов до определенной температуры для улучшения характеристик материалов и достижения нужных свойств, необходимых для дальнейшего производства. Эта процедура необходима для улучшения характеристик материалов и достижения нужных свойств. Отжигом называют процесс термической обработки, при котором происходит изменение физических и химических свойств материала, что приводит к повышению его пластичности и уменьшению твердости, делая его более пригодным для обработки.

Основной причиной использования температурного отжига в процессе производства пластмасс является снятие напряжений и улучшения структурной целостности материала, что довольно часто приводит к образованиям деформаций материала [2].

Одним из показателей изменения степени кристалличности полимерной

матрицы в результате температурного отжига является изменение физико-механических свойств полимерных материалов.

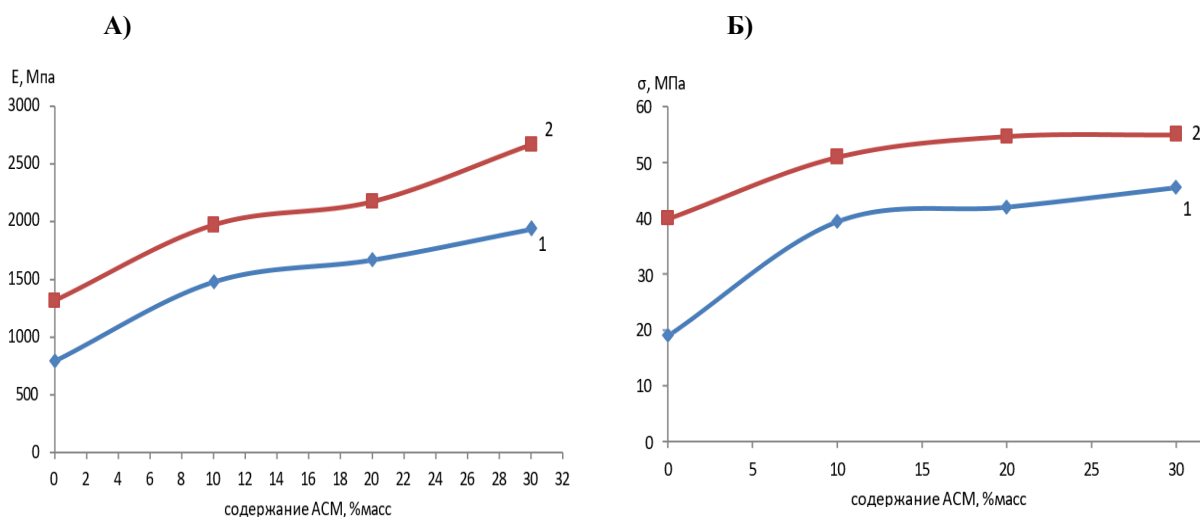
Перспективными наполнителями для создания полимерных композиционных материалов на основе термостойких термопластов являются термопластов алюмосиликатные полые микросферы (АСМ) и измельченное стекловолокно (СВ).

Алюмосиликатные полые микросферы обладают низкой плотностью, что обеспечивает удобство использования, большую легкость смешивания, снижение транспортных затрат, низкую просадку и перекося, легкость обработки резанием, сверления.

Измельченное стекловолокно имеет отличную долговечность, термическую стабильность, устойчивость к химическим веществам, трению и износу.

В связи с этим целью работы явилось изучение физико-механических свойств полимерных композитов на основе полипропилена (ПП) и армирующих наполнителей (СВ и АСМ).

Для оценки изменения физико-механических свойств выбрано испытание на статический изгиб. Данный метод исследований используется для определения способности материала выдержать заданную пластическую деформацию, чтобы в дальнейшем оценить пределы пластичности материала [3]. Сущность метода заключается в том, опытный образец композита, лежащий на опорах, придают нагрузке, сосредоточенной в середине между опорами (испытание при трехточечном изгибе). Для образцов определяли следующие показатели: модуль упругости (E), изгибающее напряжение (σ) и относительное удлинение (l).



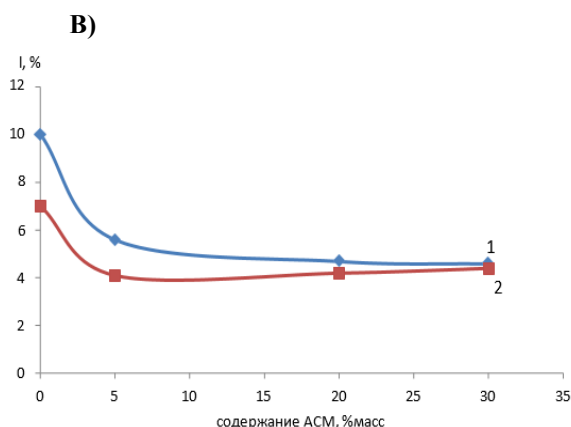
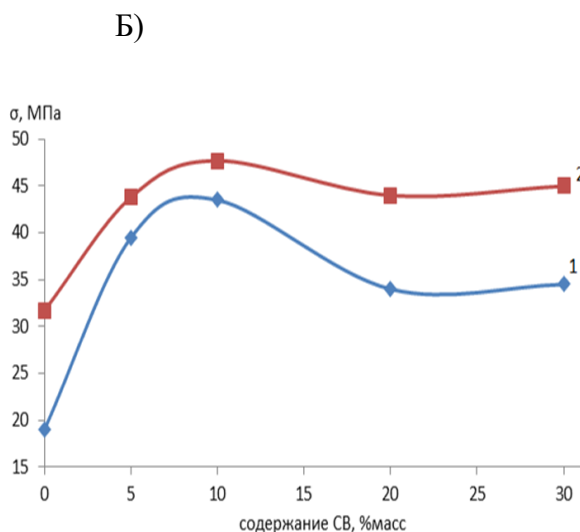
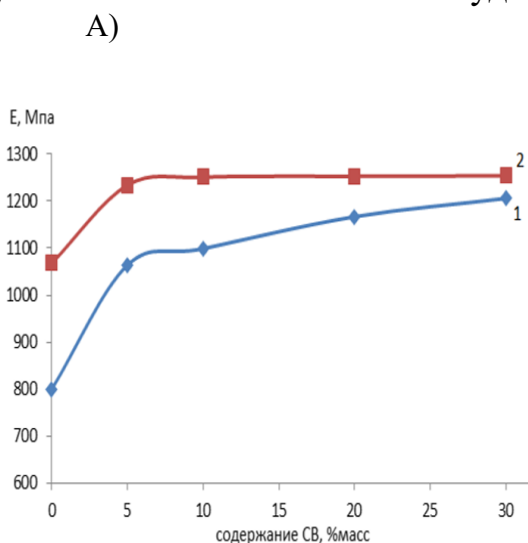


Рис. 1. Зависимости физико-механических характеристик, определенных в эксперименте на изгиб в трех точках от содержания наполнителя ПП с АСМ до (1) и после (2) отжига: А) модуля упругости; Б) напряжения; В) относительного удлинения

Как видно из рис. 1-2, введение неорганических наполнителей (АСМ и СВ) существенным образом влияет на отклик физико-механических характеристик образцов композитов на основе ПП на температурный отжиг. Присутствие АСМ приводит к увеличению значений физико-механических характеристик в результате температурного отжига. Однако присутствие СВ приводит не только к увеличению прочности и модуля упругости, но и к уменьшению относительного удлинения.



В)

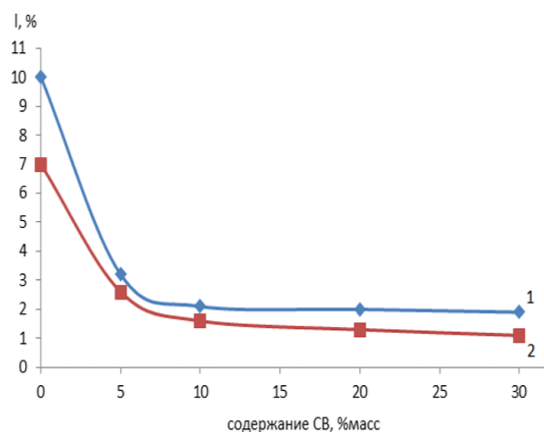


Рис. 2. Зависимости физико-механических характеристик, определенных в эксперименте на изгиб в трех точках от содержания наполнителя ПП с СВ до (1) и после (2) отжига: А) модуля упругости; Б) напряжения; В) относительного удлинения

Также одним из методов исследования полимеров является определение коэффициента термического расширения (КТР). Определение КТР образцов до и после отжига проводилось методом термомеханического анализа (ТМА) на термомеханическом анализаторе ТМА 402 F1 Hyperion (NETZSCH, Германия).

Как следует из данных, приведенных в таблице 1, в результате проведения температурного отжига КТР уменьшается.

Таблица 1

Значения температуры размягчения опытных образцов до и после отжига

Образец	Содержание наполнителя, %	Интервал температур, °С 24-128		КТР · 10 ⁻⁶ , 1/К	
		До отжига	После отжига	До отжига	После отжига
ПП-СВ	0	24-128	24-128	148,5	129,5
	5	24,7-120	24,7-120,0	130,3	132,1
	10	24-120	24,7-120	89,8	123,4
ПП-АСМ	5	22-120	22-120	150,0	143,3
	10	22-120	22-120	149,0	142,3

В целом, проведение температурного отжига для улучшения физико-механических свойств композитов ПП с АСМ или СВ вполне оправдано.

Библиографический список

1. Ищенко Н.Я. Влияние размера частиц наполнителя на прочностные свойства полипропиленовых композиций / Н.Я. Ищенко, Р.З. Шахназарли, А.М. Алиева [и др.] // Sciences of Europe. 2021. № 68-2(68). С. 13-17. DOI 10.24412/3162-2364-2021-68-2-13-17.

2. Сайтарлы С.В., Дзюбенко Л.С., Плавач В.П., Пушкарёв Ю.Н.,

Сапьяненко, А.А., Горбик П.П. Влияние наполнителя на структуру, термостойкость и механические свойства композиций на основе модифицированного полипропилена // Механика композитных материалов. 2022. Vol. 58, №. 2.

3. Псянчин А.А. Разработка трудногорючих полимерных композитов на основе полипропилена с содержанием полифосфат аммония и пиперазина / А.А. Псянчин, Е.М. Захарова, М.В. Баунова, В.П. Захаров // Бутлеровские сообщения. 2024. Т. 79, № 9. С. 77-82. DOI 10.37952/ROI-jbc-01/24-79-9-77.

© Набутова К.В., Яхина Г.С., 2025

УДК 691.175.5/.8

К.В. НАБУТОВА, Г.С. ЯХИНА

nabutovak@gmail.com

Науч. руковод. – канд. хим. наук, доцент **М.В. БАЗУНОВА**

Уфимский университет науки и технологий

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ НЕОРГАНИЧЕСКОГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА ПЕРЕРАБАТЫВАЕМОСТЬ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДА

Аннотация: рассматривается взаимосвязь между содержанием неорганического наполнителя и перерабатываемостью композиций на основе поливинилиденфторида. Было выявлено, что оптимальность содержания наполнителя в композите вызвана его влиянием на эксплуатационные характеристики, и в последствие на возможность его переработки.

Ключевые слова: полимерные композиты; наполнитель; поливинилиденфторид; показатель текучести расплава; перерабатываемость

В настоящее время актуальной задачей в сфере материаловедения является создание полимерных композиционных материалов (ПКМ), что обусловлено их уникальным свойствам, широкому применению в различных отраслях и развитию технологий производства [1].

Одним из перспективных направлений получения полимерных материалов с новыми уникальными свойствами является использование в их составе наполнителей.

Значимым фактором в выборе полимерного материала для определенной области применения является его способность сохранять свои свойства в экстремальных условиях.

Примером широко используемого в инженерии полимера является поливинилиденфторид (ПВДФ), который обладает высокой термостойкостью, отличной химической устойчивостью и способностью к пьезоэлектрическому эффекту, что делает его идеальным материалом для применения в

энергосборниках, сенсорах и гибкой электронике. Несмотря на все достоинства, использование индивидуального ПВДФ в некоторых специализированных областях невелико, что объясняется его ограниченными механическими свойствами и проводимостью. Для расширения области применения ПВДФ и вследствие этого улучшения его характеристик, разрабатываются композиционные материалы на его основе.

Одними из перспективных наполнителей для композиционных материалов, матрицей которых служит ПВДФ, являются алюмосиликатные полые микросферы (АСМ) и стекловолокна (СВ).

Алюмосиликатные микросферы обладают низкой плотностью, что делает их удобными в использовании. Наполнение АСМ обеспечивает большую легкость смешивания, снижение транспортных затрат, низкую просадку и перекося, легкость обработки резанием, сверления. Применение СВ в качестве наполнителя обусловлено его отличной прочностью и долговечностью термической стабильностью, устойчивостью к ударам, химическим веществам, трению и износу. Также СВ имеет термическую стойкость, образованную структурными связями при высокой температуре, называемой термическим уплотнением [2].

С целью определения оптимальных условий получения и оптимального состава композитных материалов на основе ПВДФ, обеспечивающих удовлетворительные эксплуатационные свойства, была произведена отработка режимов приготовления композитов на лабораторной станции (пластограф) «Plastograph» и последующего прессования на автоматическом гидравлическом прессе.

Как видно из рис. 1 увеличение скорости вращения роторов пластографа от 10 до 30 оборотов в минуту приводит к закономерному уменьшению величины максимального крутящего момента ненаполненного ПВДФ, что соответствует уменьшению вязкости с увеличением скорости сдвига. Было выявлено, что дальнейшее увеличение скорости вращения роторов приводит к повышению величины крутящего момента вследствие увеличения гидравлического сопротивления расплава.

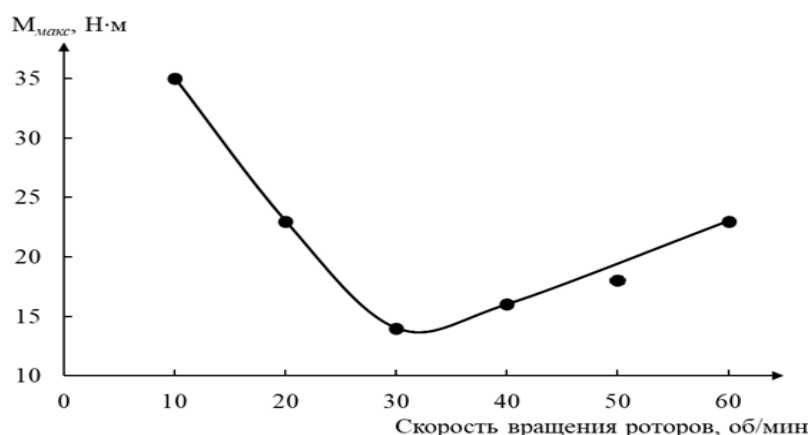


Рис. 1. Зависимость максимального крутящего момента расплава индивидуального ПВДФ от скорости вращения роторов

Исходя из рис. 2 видно, что увеличение содержания неорганического наполнителя в ПКМ приводит к увеличению максимального крутящего момента при вращении роторов в камере смешения пластографа по сравнению со значением максимального крутящего момента ПВДФ без наполнителя, и следовательно, к некоторому усложнению переработки композита. В случае композитов, наполненных АСМ, увеличение содержания добавки более значительно сказывается на повышении максимального крутящего момента.

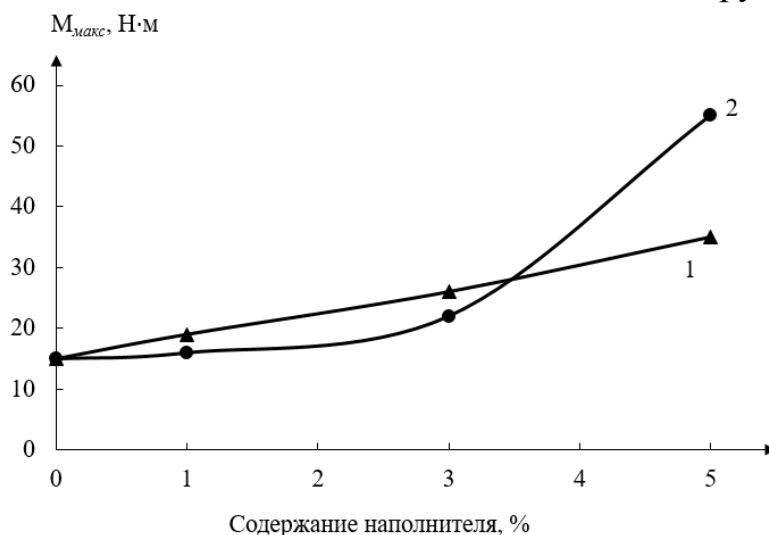


Рис. 2. Зависимость максимального крутящего момента композитов на основе ПВДФ и СВ (1) и АСМ (2) от содержания неорганической добавки в композиции

При лабораторных исследованиях термопластов целесообразно определение показателя текучести расплава (ПТР), определяющим выбор способа переработки термопласта. В ходе исследования установлено, что с увеличением содержания добавки в композиции происходит снижение ПТР (рис. 3).

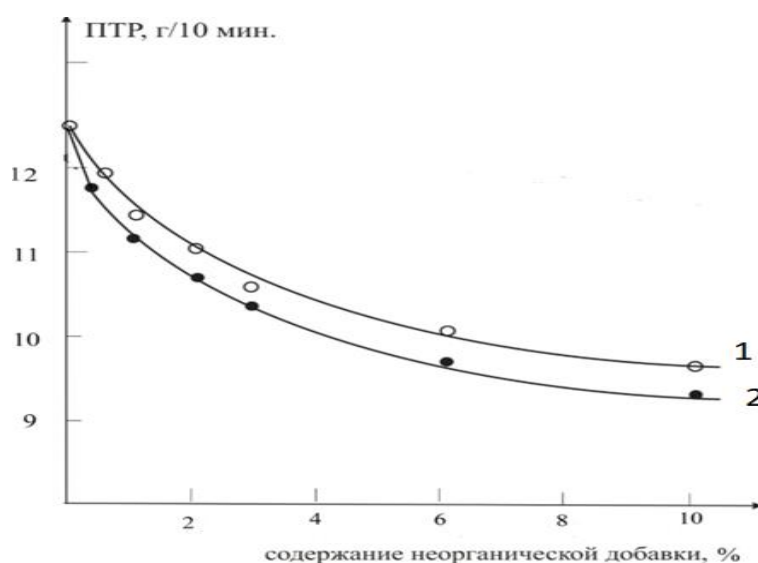


Рис. 3. Зависимость ПТР композитов на основе ПВДФ и СВ (1) с охлаждением и АСМ (2) без охлаждения от содержания неорганической добавки в композиции

Очевидно, что введение неорганической добавки приводит к увеличению вязкости композитов в связи с увеличением доли нетекучего компонента, приводящего к возникновению в системе фазовой гетерогенности. При увеличении содержания наполнителя увеличивается вероятность контакта частиц наполнителя друг с другом, что существенно изменяет степень перерабатываемости ПКМ и ее деформационно-прочностных характеристик.

Также необходимо отметить, что композиционные материалы, с концентрацией наполнителя (АСМ и СВ) более 5 %, подвержены короблению при прессовании, особенно если прессование не сопровождается последующим охлаждением на прессе.

Таким образом, особенности наполненных композитов на основе ПВДФ с СВ или АСМ позволяют получать ПКМ с содержанием наполнителя до 5 % традиционными технологическими способами, которые рекомендуются для переработки термопластов в изделия. Однако, уменьшение ПТР с повышением содержания наполнителя однозначно свидетельствует о усложнении процесса переработки композиционного материала. Введение неорганического наполнителя в ПКМ приводит к некоторому усложнению переработки.

Работа выполнена при финансовой поддержке АНО «УК НОЦ РБ» (договор № ЦДП-РФ-ЛАБ-1/24 от 20.09.2024)

Библиографический список

1. Капралова В.М. Химия и физика макромолекул: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 140400 «Техническая физика» / В.М. Капралова, ВИ. Косяков; Федеральное агентство по образованию, Санкт-Петербургский гос. политехнический ун-т. Санкт-Петербург: Изд-во Политехнического ун-та, 2008. 327 с

2. Псянчин А.А. Полимерные композиты на основе вторичного полипропилена, наполненного алюмосиликатными микросферами и полиэтиленом, модифицированный малеиновым ангидридом / А.А. Псянчин, Е.М. Захарова, М.В. Бабунова, В.П. Захаров // Бутлеровские сообщения. 2023. Т. 75, № 9. С. 33-39. DOI 10.37952/ROI-jbc-01/23-75-9-33.

© Набутова К.В., Яхина Г.С., 2025

А.Е. НАУМОВА, Р.Р. АХМАДИЕВА, О.А. ГЕРАСИМОВА

Annanaumova123456@mail.ru

Науч. руковод. – канд. хим. наук, доцент **Б.С. АХМЕТШИН**

Уфимский университет науки и технологий

СИНТЕЗ И РЕНТГЕНОФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ СУЛЬФАТА БАРИЯ

Аннотация: представлены результаты синтеза сульфата бария методом осаждения. Методом рентгенофазового анализа установлено, что продукт представляет собой чистый сульфат бария с орторомбической кристаллической структурой. Дифрактограмма образца соответствует карте PDF № 00-024-1035.

Ключевые слова: сульфат бария; синтез осаждением; рентгенофазовый анализ; кристаллическая структура.

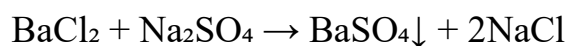
Сульфат бария является одним из важнейших неорганических соединений, находящих применение в различных отраслях промышленности. Благодаря своей химической инертности, высокой плотности и уникальным оптическим свойствам, он используется в качестве наполнителя в производстве бумаги, резины, пластмасс, а также в качестве компонента буровых растворов и катализаторов [1].

Особый интерес представляет получение высокодисперсного сульфата бария с контролируемыми размерами частиц и определенной кристаллической структурой. Известно, что физико-химические свойства данного соединения существенно зависят от метода синтеза и условий проведения процесса [2]. Традиционные методы получения включают осаждение из водных растворов, твердофазный синтез и гидротермальные методы.

В последние годы все большее внимание уделяется разработке экологически безопасных и энергоэффективных методов синтеза неорганических соединений. В частности, представляют интерес методы, позволяющие получать продукты с заданными характеристиками при минимальных энергозатратах [3].

Целью настоящей работы являлся синтез сульфата бария методом осаждения с последующей характеристикой полученного продукта методом рентгенофазового анализа.

Для синтеза сульфата бария использовали реактивы квалификации "ч.д.а.": хлорид бария ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) и сульфат натрия (Na_2SO_4). Синтез проводили по реакции осаждения:



Раствор сульфата натрия (0,5 М) медленно добавляли к раствору хлорида

бария (0,5 М) при постоянном перемешивании со скоростью 300 об/мин. Процесс проводили при комнатной температуре. Образовавшийся осадок отфильтровывали, промывали дистиллированной водой до отрицательной реакции на ионы хлора и сушили при 80 °С до постоянной массы.

Рентгенофазовый анализ полученного продукта проводили на дифрактометре с использованием $\text{CuK}\alpha$ -излучения. Условия измерения: диапазон углов $2\theta = 10\text{--}100^\circ$, шаг сканирования $0,0286^\circ$, время на точку 30 секунд, скорость сканирования 0,3 град/мин. Идентификацию фазового состава проводили с использованием базы данных PDF-2.

Проведенный рентгенофазовый анализ подтвердил образование чистого сульфата бария. На дифрактограмме (рис. 1) наблюдаются все характерные рефлексы, соответствующие орторомбической кристаллической структуре сульфата бария (пространственная группа Pnma).

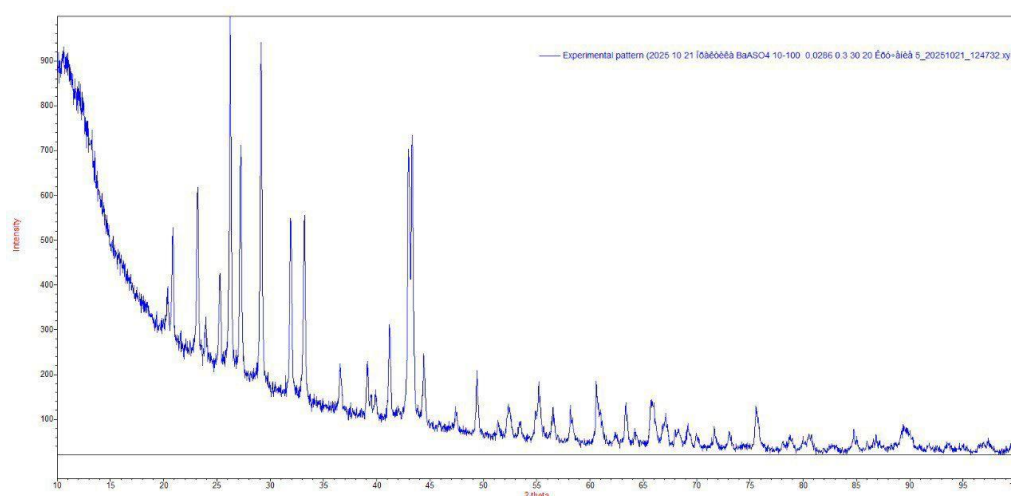


Рис. 1. Дифрактограмма синтезированного сульфата

Наиболее интенсивные пики соответствуют плоскостям:

25,9° – плоскость (111)

26,9° – плоскость (021)

28,9° – плоскость (200)

31,8° – плоскость (002)

32,9° – плоскость (102)

Полное соответствие положения пиков и их относительной интенсивности с данными ICDD PDF-2 (карта № 00-024-1035) свидетельствует о высокой степени чистоты синтезированного образца [4]. Отсутствие посторонних пиков на дифрактограмме подтверждает отсутствие примесных фаз.

Размер кристаллитов, рассчитанный по формуле Шеррера для наиболее интенсивного пика (111), составил 45 нм. Данное значение свидетельствует о высокой дисперсности полученного продукта, что является важным параметром для его практического применения.

Сравнение с литературными данными показывает, что полученный

методом осаждения сульфат бария по своим характеристикам соответствует продуктам, синтезированным более сложными методами, включая твердофазный синтез [5]. При этом предложенная методика отличается простотой и воспроизводимостью.

Интересно отметить, что в исследованиях солеотложений нефтяных скважин сульфат бария идентифицируется как один из основных компонентов неорганических отложений [6]. Это подтверждает устойчивость данного соединения в различных условиях и объясняет его широкое распространение в природных и технологических процессах.

В работе разработан простой и эффективный метод синтеза сульфата бария. Методом рентгенофазового анализа установлено, что полученный продукт представляет собой чистый сульфат бария с орторомбической кристаллической структурой. Размер кристаллитов составляет 45 нм, что свидетельствует о высокой дисперсности продукта.

Полученные результаты имеют практическую значимость для разработки методов синтеза неорганических соединений с заданными свойствами. Предложенная методика может быть использована в учебном процессе при изучении методов неорганического синтеза и рентгенофазового анализа.

Библиографический список

1. Уракаев Ф.Х., Массалимов И.А., Ахметшин Б.С., Массалимов Б.И., Хусаинов А.Н., Самсонов М.Р., Мустафокулов Ш.С. Механизм и кинетика роста наночастиц серы и сульфатов щелочноземельных металлов при их соосаждении из истинных полисульфидных растворов // Журнал физической химии. 2025. Т. 99. № 4. С. 620-635.
2. Патент РФ № 2109685. Способ получения сульфата бария / В.Е. Боженольный, Ю.Д. Ивакин, А.Л. Ниедбалый и др. 1998.
3. Массалимов И.А., Ахметшин Б.С., Мустафакулов Ш.С., Массалимов Б.И., Мустафин А.Г. Синтез наночастиц сульфата кальция с использованием полисульфида кальция // Бутлеровские сообщения. 2025. Т. 82. № 4. С. 24-35.
4. Международная база дифракционных данных PDF-2. Карта № 00-024-1035 для BaSO₄. 2023.
5. Полякова Н.В., Крысь Ю.И. Определение элементного состава отложений солей из добывающих скважин методом энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного анализа // Нефтепромысловое дело. 2015. С. 156-162.
6. Массалимов И.А., Самсонов М.Р., Ахметшин Б.С., Мустафин А.Г., Буркитбаев М.М., Шалабаев Ж.С., Уракаев Ф.Х. Совместное осаждение из растворов полисульфидов нанокмполитов на основе коллоидных частиц серы и карбонатов щелочноземельных металлов // Коллоидный журнал. 2018. Т. 80. № 4. С. 424-434.

© Наумова А.Е., Ахмадиева Р.Р., Герасимова О.А., 2025

И.Р. НИГМАТУЛЛИН, Н.А. ШАГЕЕВ, У.Ш. ШАЯХМЕТОВ

nigmatullin.ilgam@list.ru

Науч. руковод. – канд. хим. наук, доцент **Б.С. АХМЕТШИН**

Уфимский университет науки и технологий

КОМПОЗИЦИОННЫЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПИРОФИЛЛИТОВОГО СЫРЬЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУЛЬ-ЮРТ-ТАУ И ФОСФАТНЫХ СВЯЗУЮЩИХ

Аннотация: исследованы композиты на основе пирофиллита и фосфатных связующих. Показано, что они обладают прочностью до 50 МПа, термостойкостью ≥ 50 циклов ($800\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{вода}$), усадкой $\leq 0,5\%$ до $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ползучестью $< 1\%$ при $1250\text{ }^{\circ}\text{C}$. Введение зернистого наполнителя снижает ползучесть на 1-2 порядка. Материалы пригодны для огнеупорных и электроизоляционных изделий до $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Ключевые слова: пирофиллит; корунд; фосфатное связующее; керамические композиты; термостойкость; ползучесть; РФА; деформационная стойкость; огнеупорные материалы

Современные требования к огнеупорным и конструкционным керамическим материалам диктуют необходимость разработки композитов с высокой термо- и морозостойкостью, низким коэффициентом термического расширения и достаточной механической прочностью при умеренных температурах обработки. Перспективным направлением является использование фосфатных связующих, позволяющих формировать изделия без высокотемпературного обжига и с сохранением заданной геометрии. В качестве наполнителя особый интерес представляет пирофиллитовое сырьё месторождения Куль-Юрт-Тау благодаря его химической инертности, низкому содержанию щелочных и окрашивающих оксидов, а также стабильности объёма при нагревании. В сочетании с корундовым компонентом такие композиты могут обеспечить комплекс свойств, необходимых для применения в высокотемпературных агрегатах, строительной и электроизоляционной технике [4]. Целью настоящей работы является исследование физико-химических основ формирования керамических композиционных материалов на основе пирофиллитового и корундового сырья с применением фосфатных связующих, а также оценка их эксплуатационных характеристик.

Исследованы композиционные керамические материалы на основе корунда и пирофиллита с фосфатным связующим [1]. Показано, что такие композиты обладают высокой термо- и морозостойкостью, низким термическим расширением и прочностью до 50 МПа после термообработки.

Исследована высокотемпературная ползучесть композитов на основе

пирофиллитового сырья и фосфатных связующих [2]. Показано, что деформация зависит от температуры и нагрузки, а введение зернистого наполнителя снижает скорость ползучести на 1-2 порядка.

Исследованы композиционные керамические материалы на основе пирофиллитового сырья месторождения Куль-Юрт-Тау и фосфатных связующих [3]. Показано, что такие композиты обладают высокой прочностью (до 50 МПа), термостойкостью (до 1300°C) и низкой усадкой.

В работе использовано пирофиллитовое сырьё месторождения Куль-Юрт-Тау (КПФС), включающее как тонкомолотый порошок, так и зернистый наполнитель фракции до 3 мм, полученный дроблением обожжённых при 1200 °С кварц-пирофиллитовых сланцев. В качестве связующих применялись ортофосфорная кислота (H_3PO_4) и алюмохромфосфатное связующее (АХФС). В отдельных сериях экспериментов в качестве наполнителя также использовался электрокорунд фракций 0,2-0,3 мм и 1,5-2,0 мм [1].

Составы композиций подбирались с учётом получения полусухой или пластичной консистенции формовочной массы [4]. Массовое соотношение «твёрдое: жидкое» (Т:Ж) варьировалось в пределах от 2:1 до 7,3:1 в зависимости от типа связующего и технологических требований. Образцы изготавливали методами прессования (удельное давление 20 МПа) и трамбования, после чего подвергали термообработке в диапазоне температур 100-1450 °С при скоростях нагрева 0,2-5 °С/мин и выдержке 1 ч при конечной температуре [2].

Для идентификации фазового состава полученных композитов применяли рентгенографический фазовый анализ (РФА) [4]. Исследования проводили на дифрактометрах D8 ADVANCE (Bruker) и ДРОН-4 в диапазоне углов 2θ от 3° до 65° с шагом сканирования 0,05° и временем экспозиции 1-3 с на точку. Пробы готовили методом прессования порошка в стандартные кюветы из кварцевого стекла. Расшифровку дифрактограмм выполняли с использованием программного обеспечения EVA и базы данных PDF-2 (ICDD). Анализ проводили как для исходных смесей, так и для образцов после термообработки при температурах 600, 900, 1140 и 1450 °С с целью отслеживания фазовых превращений в процессе нагрева [2].

В результате проведённых исследований установлено, что композиционные материалы на основе пирофиллитового сырья месторождения Куль-Юрт-Тау и фосфатных связующих (ортофосфорная кислота и алюмохромфосфатное связующее) формируют структуру, обеспечивающую высокие физико-механические и эксплуатационные характеристики. Наилучшие результаты получены при использовании 25 мас.% связующего и соотношении «твёрдое: жидкое» 7,3:1 [1].

Рентгенографический анализ показал, что при нагреве до 600 °С образуются метафосфаты алюминия $Al(PO_3)_3$, при 900 °С – ортофосфат алюминия $AlPO_4$ и α -кристобалит SiO_2 , а при 1450 °С – пирофосфат кремния $Si_2P_2O_7$. Часть продуктов реакции остаётся рентгеноаморфной даже после обжига до 1450 °С [1].

Материалы демонстрируют низкий коэффициент линейного термического расширения, термостойкость не менее 50 циклов ($800\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{вода}$), морозостойкость и усадку при обжиге до $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ не более 0,5%. Высокотемпературная ползучесть при $1250\text{ }^{\circ}\text{C}$ и нагрузке до 0,8 МПа не превышает 1% за 12 ч выдержки. Введение зернистого наполнителя (дроблённый кварц-пиррофиллит, обожжённый при $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$) снижает скорость ползучести на 1–2 порядка и повышает деформационную стойкость [3].

Из разработанных составов успешно изготовлены огнеупорные и электроизоляционные изделия (горелочные блоки, футеровочные элементы, втулки, трубки), прошедшие промышленные испытания и рекомендованные к применению при температурах до $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ [3].

Библиографический список

1. Мурзакова А.Р., Шаяхметов У.Ш., Бакунов В.С. Композиционные материалы из пиррофиллитового сырья месторождения Куль-Юрт-Тау // Огнеупоры и техническая керамика. 2011. № 3. С. 36-40.
2. Мурзакова А.Р., Шаяхметов У.Ш., Бакунов В.С. Исследование высокотемпературной ползучести композиционных материалов на основе пиррофиллитового сырья // Огнеупоры и техническая керамика. 2011. № 7-8. С. 38-42.
3. Мурзакова А.Р., Шаяхметов У.Ш., Юмабаев Ю.С., Шаяхметов Р.У. Композиционные материалы на основе корундового и пиррофиллитового сырья. // Перспективные материалы. 2012. № 3. С. 81-86.
4. Уракаев Ф.Х., Массалимов И.А., Ахметшин Б.С., Массалимов Б.И., Хусаинов А.Н., Самсонов М.Р., Мустафокулов Ш.С. Механизм и кинетика роста наночастиц серы и сульфатов щелочноземельных металлов при их соосаждении из истинных полисульфидных растворов // Журнал физической химии. 2025. Т. 99. № 4. С. 620-635.

© Нигматуллин И.Р., Шагеев Н.А., Шаяхметов У.Ш., 2025

В.Х. НУХОВА

veneranuhova@mail.ru

Науч. руковод. – ст. препод. **О.Г. СМОЛЬНИКОВА**

Уфимский университет науки и технологий

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ ИНГИБИТОРА НА УДАЛЕНИЕ ПОКРЫТИЙ С ПОВЕРХНОСТИ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ

Аннотация: в работе приведены результаты по изучению влияния природы ингибитора на процесс удаления защитного покрытия системы Ni-Al-Y с поверхности никелевого сплава Ni9Cr11W2Ti1,2Nb химическим методом.

Ключевые слова: защитные покрытия; ингибиторы; химическое травление; ивосстановительный ремонт; лопатки газовых турбин

Жаропрочные никелевые применяются для изготовления деталей газовых турбин (ГТ), эксплуатируемых в разных отраслях промышленности, на транспорте, в энергетике, в полевых электрогенераторах большой мощности [1-5]. Задача достижения максимального срока службы турбины решается нанесением защитных покрытий, например, СДП-1Т (NiCoCrAlTiY), СДП-2 (NiCrAlY), ВСДП-3 (NiCrAlReHfY), СДП-42 (NiCrAlTaWHfY), ВСДП-16 (AlNiY) и ВСДП-13 (AlNiSiB) и их двухслойных композиций: ВСДП-3 + ВСДП-16, СДП-42 + ВСДП-16, СДП-2 + ВСДП-16 [1-2]. В процессе эксплуатации детали турбины подвергаются воздействию высоких температур 850-1150 °С и агрессивных сред (различных примесей из топлива или воздушной атмосферы), что приводит к истощению защитных свойств покрытия (рис. 1).

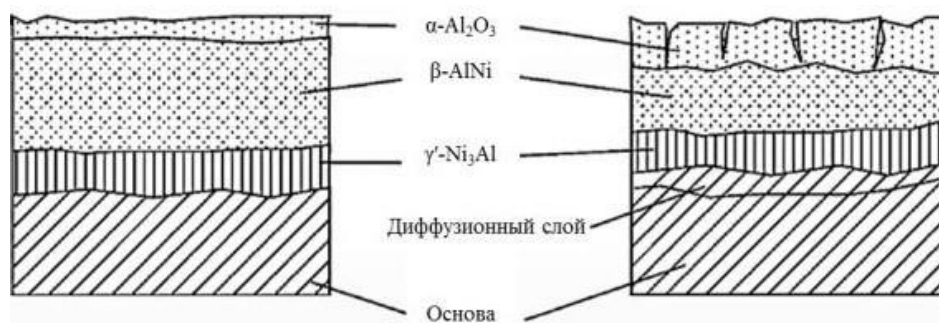


*Рис. 1. Развитие повреждения жаростойкого покрытия [2]:
а – исходное покрытие; б – после эксплуатации*

Одна из проблем восстановительного ремонта лопаток газотурбинных двигателей заключается в поиске технологий, обеспечивающих быстрое и качественное удаление поврежденного в процессе эксплуатации защитного

покрытия. Наиболее распространенными методами, применяемыми в России, являются химическое травление и электролитно-плазменная обработка [3-5]. Как показал анализ патентной и научной литературы, растворы и электролиты травления алюминидных покрытий преимущественно содержат неорганические кислоты (соляную, азотную, серную, плавиковую) или их смеси. Чтобы избежать растравливания подложки используют различные ингибирующие добавки [5]. Ингибиторами называют химические соединения или композиции, «которые, присутствуя в системе в достаточной концентрации, уменьшают скорость коррозии металлов без значительного изменения концентрации любого коррозионного реагента» [6]. Вводимая в раствор травления ингибирующая добавка должна предотвращать разрушение основного материала деталей, не препятствуя растворению дефектных покрытий.

Цель работы – анализ влияния природы ингибитора на травление никелевого сплава Ni9Cr11W2Ti1,2Nb (ЖС6У) в процессе удаления с его поверхности покрытия системы Ni-Al-Y. Обработке подвергались образцы, вырезанные из рабочих лопаток газовых турбин. Фоновым (базовым) раствором являлась смесь кислот HCl (1,179 г/см³) и HNO₃ (1,4 г/см³) в соотношении 2:1.

В процессе травления проводилось измерение электродного потенциала поверхности относительно хлорид-серебряного электрода, что позволяло определить время окончания процесса по методике, представленной в работе [5]. Эффективность ингибиторов оценивалась по глубине растратов на поверхности сплава, после удаления покрытия. Результаты апробирования ингибирующих добавок приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты апробирования ингибирующих добавок

Исследуемая система	Время удаления покрытия при 20°, мин	Качество поверхности (глубина растратов сплава), мкм	Функциональная роль
HCl-HNO ₃	120-150	8-10	Базовый раствор
K ₂ Cr ₂ O ₇	45-50	2-3	Ингибитор – окислитель [6]
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄	10-15	10-5	Ингибитор адсорбционного типа [6]
FeCl ₃	20-30	6-8	Cl ⁻ – стимулятор коррозионных процессов [5,6]
Fe ₂ (SO ₄) ₃	120	6-8, местами покрытие не удалено	(SO ₄) ²⁻ – анион-пассиватор
Fe(NO ₃) ₃	120		(NO ₃) ⁻ – анион-пассиватор
ЭДТА	120		Ингибитор [6]
FeCl ₃ + ЭДТА	30-40	6-8	Ингибирующая композиция

В работе [5] показано, что изменяя соотношение нитрат- и хлорид-ионов

можно управлять разъедающим действием травильного раствора. Азотная кислота в количестве более 400 г/л препятствует эффективному растворению покрытия, но защищает сплав от растравливания. Бескислородные кислоты (HCl, HF) ускоряют процесс травления покрытий. Увеличение содержания HCl в растворах травления и уменьшение содержания HNO₃ снижает химическую стойкость никелевых сплавов. Аналогичный эффект наблюдается при введении в базовый раствор нитрат- и хлорид ионов в виде солей Fe(III) (табл. 1). Применение в качестве ингибирующей добавки Fe₂(SO₄)₃, как и в случае использования Fe(NO₃)₃, не позволяет сократить время растворения покрытия. Выдержка образцов в травильном растворе более двух часов нецелесообразна, так как приведет к еще большему повреждению сплава. Ингибирующий эффект ЭДТА в исследуемом составе незначителен, однако авторы работы [3] отмечают увеличение скорости удаления покрытий электролитно-плазменным методом при достижении равномерной обработки никелевых сплавов. Введение в раствор системы HNO₃ - HCl добавки гептамолибдата аммония значительно сокращает время удаления покрытия, но при этом наблюдается интенсивное травление сплава. Максимальный ингибирующий эффект проявляет добавка бихромата калия. Являясь ингибитором – окислителем, бихромат калия не только предохраняет поверхность никелевого сплава от растравливания, но и ускоряет время растворения дефектных покрытий до приемлемых 45-50 минут.

Библиографический список

1. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. 2015. № 1. С. 3–34.
2. Будиновский С.А. Ионно-плазменные жаростойкие покрытия с высокой стойкостью к сульфидно-оксидной коррозии / С.А. Будиновский, А.С. Бенклян, Д.А. Мовенко // Труды ВИАМ. 2025. № 9. С. 77-89.
3. Удаление жаростойких конденсационно-диффузионных покрытий с поверхности лопаток ГТД до и после наработки / С.В. Попова, Д.А. Добрынин, С.А. Мубояджян, С.А. Будиновский // Труды ВИАМ. 2017. № 1(49). С. 32-40.
4. Яцюк И.В. Методы удаления жаростойких покрытий (обзор) / И.В. Яцюк, Д.А. Добрынин, О.Н. Доронин, Т.В. Павлова // Труды ВИАМ. 2020. № 10. С. 90-96.
5. Быбин А.А. Технология удаления алюминидных покрытий с лопаток газовых турбин: монография / А.А. Быбин, Р.Р. Невьянцева, Е.В. Парфенов, О.Г. Смольникова. М: Машиностроение, 2015. 241 с.
6. Кузнецов Ю.И. Физико-химические аспекты ингибирования коррозии металлов в водных растворах // Успехи химии. 2004. № 1. С. 79-93.

© Нухова В.Х., 2025

Л.Д. ТИМУРШИНА, А.Ю. КОТУНЭ, А.Р. КАСИМОВА

liyatimurshina@gmail.com

Науч. руковод. – канд. хим. наук, доцент **Б.С. АХМЕТШИН**

Уфимский университет науки и технологий

СИНТЕЗ СУЛЬФАТА ЦИНКА В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Аннотация: получен безводный ZnSO_4 реакцией ZnO с разбавленной H_2SO_4 и последующим обезвоживанием кристаллогидрата. Рентгенофазовый анализ подтвердил отсутствие примесей и кристаллизационной воды. Чистота и состав продукта верифицированы дополнительными аналитическими методами.

Ключевые слова: сульфат цинка; синтез; рентгенофазовый анализ; фазовая чистота; оксид цинка; серная кислота; безводный ZnSO_4

Сульфат цинка (ZnSO_4) является важным соединением, широко применяемым в промышленности, сельском хозяйстве и медицине. В производстве он используется для электролитического цинкования, в текстильной промышленности — как коагулянт, а в органическом синтезе — как катализатор; в сельском хозяйстве служит микроудобрением для восполнения дефицита цинка в почве; в медицине применяется как источник цинка при авитаминозах и кожных заболеваниях. Получение сульфата цинка высокой чистоты представляет практический интерес, особенно при использовании вторичного сырья, например, отходов, содержащих оксид или металлический цинк [3].

В статье Мифтаховой З.М. и Сулеймановой А.З. описан лабораторный метод получения моногидрата сульфата цинка из отходов, содержащих оксид или металлический цинк. Процесс проводится в трехгорлой колбе с механической мешалкой при температуре 80-100 °С под действием 95% серной кислоты. Экзотермичность реакции позволяет обойтись без внешнего подогрева. Для очистки раствора от примесей железа, меди и никеля применяют перекись водорода и цинковую пыль. Целевой продукт выделяют выпариванием и сушат в сушильном шкафу СНОЛ при 105 °С до постоянной массы [1].

В статье Ермухановой С.Т., Хацринова А.И. и др. представлена технология получения моногидрата сульфата цинка из промышленных отходов с содержанием цинка 75-99%. Перед реакцией сырье измельчают и смешивают с водой для образования суспензии. Взаимодействие с 25%-ной серной кислотой ведут при температуре выше 70 °С, что обеспечивает образование именно моногидрата. Очистку от примесей железа, меди и никеля осуществляют с помощью перекиси водорода. Раствор после фильтрации

выпаривают при 70–90 °С, а полученный осадок сушат при 105 °С. Фазовый состав продукта подтверждается рентгенофазовым анализом [2].

Цель данной работы – синтез чистого безводного сульфата цинка в лабораторных условиях с использованием доступных реагентов и оборудования, контроль его фазового состава методом рентгенофазового анализа и демонстрация возможности получения высокочистого продукта при соблюдении строгих параметров очистки и термообработки [4].

Синтез безводного сульфата цинка проводился в лабораторных условиях с использованием оксида цинка и разбавленной серной кислоты. В качестве исходных реагентов применяли 3,0 г оксида цинка (ZnO) и 30 мл серной кислоты концентрацией 10–20 %. Реакция осуществлялась в стеклянном стакане объёмом 100–150 мл, установленном на штативе. Оксид цинка был предварительно взвешен на аналитических весах и помещён в реакционный сосуд. Серная кислота отмерялась мерным цилиндром ёмкостью 50 мл и постепенно добавлялась к твёрдому реагенту при постоянном перемешивании стеклянной палочкой. Процесс взаимодействия протекал по экзотермической реакции: $\text{ZnO} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{ZnSO}_4 + \text{H}_2\text{O} + 105 \text{ кДж}$. Выделение значительного количества тепла приводило к нагреванию реакционной массы до 60–70 °С, что способствовало интенсификации процесса растворения. По мере протекания реакции наблюдалось полное растворение белого порошка оксида цинка с образованием прозрачного бесцветного раствора сульфата цинка, что свидетельствует о завершении химического превращения.

Полученный раствор подвергался фильтрации для удаления возможных нерастворимых примесей, которые могли присутствовать как в исходном оксиде цинка, так и быть вызваны загрязнением посуды. Фильтрование проводилось через бумажный фильтр, закреплённый в стеклянной воронке, установленной на штативе. Сбор фильтрата осуществлялся в чистый стеклянный стакан. Использование гравитационного метода обеспечило достаточную скорость фильтрации при отсутствии вакуумной установки. Прозрачный фильтрат не содержал механических включений и был готов к следующему этапу — выпариванию. Для получения твёрдого продукта раствор переносили в фарфоровую чашку и устанавливали на песчаную баню, где проводили медленное упаривание при температуре 80–100 °С. Нагревание осуществлялось с помощью спиртовки, что позволило контролировать интенсивность нагрева и избежать перегрева или разбрызгивания раствора. Процесс вели под тягой или в хорошо проветриваемом помещении для безопасного удаления паров воды и возможных следов кислоты.

Выпаривание проводилось до достижения сиропообразной консистенции, при которой начинается выделение кристаллов. Учитывая данные из литературных источников, при комнатной температуре из водных растворов сульфата цинка кристаллизуется гептагидрат ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), однако в условиях повышенной температуры (выше 70 °С) преимущественно образуется моногидрат ($\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$). В данном эксперименте выпаривание вели до полного высушивания, чтобы минимизировать количество остаточной влаги и

подготовить продукт к последующей термической обработке. Полученный после выпаривания осадок представлял собой белое или слегка мутноватое вещество, содержащее остаточные молекулы кристаллизационной воды. Для получения безводной формы проводилась дополнительная стадия термической дегидратации.

Фарфоровая чашка с полученным осадком помещалась над пламенем спиртовки и нагревалась до температуры 250-300 °С в течение 1-2 часов. Этот интервал температур выбран на основании литературных данных, согласно которым полное удаление последней молекулы воды из сульфата цинка происходит при температуре выше 238 °С. В процессе нагревания наблюдали постепенное изменение текстуры вещества: оно становилось более рассыпчатым, равномерным и теряло признаки влажности. Готовность продукта определяли по прекращению видимых изменений и отсутствию конденсата на стенках чашки при кратковременном охлаждении. В результате был получен белый мелкокристаллический порошок, который был идентифицирован как безводный сульфат цинка (ZnSO_4).

Конечный продукт был подвергнут анализу методом рентгенофазового дифракционного анализа для подтверждения его фазового состава и чистоты. На зарегистрированной дифрактограмме (рис. 1) наблюдались характерные дифракционные пики, соответствующие безводной форме сульфата цинка. Наиболее интенсивный рефлекс зафиксирован при угле $2\theta \approx 26^\circ$, что соответствует отражению от плоскости (002) и согласуется с данными стандартной картотеки JCPDS/ICDD для ZnSO_4 . Отсутствие дополнительных пиков, ассоциированных с гидратными формами ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) или примесями оксидов металлов (например, ZnO , Fe_2O_3 , CuO), однозначно подтвердило фазовую чистоту полученного соединения. Таким образом, рентгенофазовый анализ подтвердил, что синтезированное вещество является чистым безводным сульфатом цинка, полученным в лабораторных условиях.

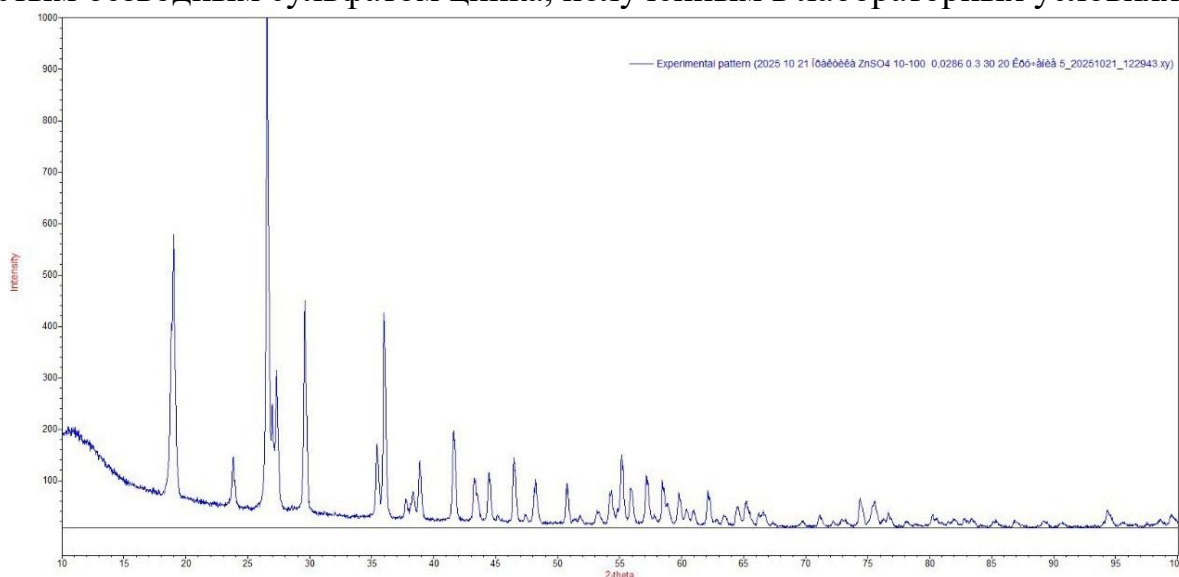


Рис. 1. Дифрактограмма продукта синтеза, идентифицированного как чистый безводный ZnSO_4 методом РФА

Предложенный метод синтеза безводного сульфата цинка из чистого оксида цинка и разбавленной серной кислоты проще, чем методы из статей, где для получения моногидрата из отходов требуется сложная очистка от примесей (Fe, Cu, Cd, Ni) с использованием перекиси водорода и цинковой пыли, а также специализированное оборудование. В данной работе чистое сырье позволило исключить эти стадии, а термическая обработка при 250-300 °С напрямую обеспечила получение безводной формы, подтвержденной РФА [5].

Предложенный метод синтеза безводного сульфата цинка из чистого оксида цинка и разбавленной серной кислоты прост, воспроизводим и не требует сложного оборудования. Рентгенофазовый анализ подтвердил получение фазово чистого $ZnSO_4$, что делает метод пригодным для лабораторных целей, в отличие от сложных технологий, ориентированных на переработку отходов и получение гидратов.

Библиографический список

1. Мифтахова З.М. Получение моногидрата сульфата цинка в лабораторных условиях из отходов, содержащих оксид цинка или цинк // Международный журнал Наука Плюс. 2021. № 3. С. 14-19.

2. С.Т. Ермуханова, А.И. Хацринов, А.З. Сулейманова, С.В. Водопьянова Технология получения моногидрата сульфата цинка // Вестник Технологического университета. 2024. Т. 27, № 5. С. 87-90.

3. Уракаев Ф.Х., Массалимов И.А., Ахметшин Б.С., Массалимов Б.И., Хусаинов А.Н., Самсонов М.Р., Мустафокулов Ш.С. Механизм и кинетика роста наночастиц серы и сульфатов щелочноземельных металлов при их соосаждении из истинных полисульфидных растворов // Журнал физической химии. 2025. Т. 99. № 4. С. 620-635.

4. Массалимов И.А., Самсонов М.Р., Ахметшин Б.С., Мустафин А.Г., Буркитбаев М.М., Шалабаев Ж.С., Уракаев Ф.Х. Совместное осаждение из растворов полисульфидов нанокмполитов на основе коллоидных частиц серы и карбонатов щелочноземельных металлов // Коллоидный журнал. 2018. Т. 80. № 4. С. 424-434.

5. Массалимов И.А., Ахметшин Б.С., Мустафакулов Ш.С., Массалимов Б.И., Мустафин А.Г. Синтез наночастиц сульфата кальция с использованием полисульфида кальция // Бутлеровские сообщения. 2025. Т. 82. № 4. С. 24-35.

© Тимуршина Л.Д., Котунэ А.Ю., Касимова А.Р., 2025

Н.А. ФЕДОТОВ, Д.Э. ЗАЙНАГАБДИНОВ

nfedotov833@gmail.com

Науч. руковод. – канд. хим. наук, доцент **Б.С. АХМЕТШИН**

Уфимский университет науки и технологий

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА И ТЕМПЕРАТУРЫ СПЕКАНИЯ НА СВОЙСТВА ПИРОФИЛЛИТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

Аннотация: в работе исследовано влияние гранулометрического состава пирофиллитового сырья и температуры термообработки на физико-механические и эксплуатационные свойства керамических изделий. В качестве исходного материала использовано пирофиллитовое сырьё месторождения Куль-Юрт-Тау в виде тонкомолотого порошка ($<0,071$ мм) и зернистого наполнителя (до 3 мм).

Ключевые слова: пирофиллит; фракционный состав; температура спекания; термостойкость; усадка; ползучесть; огнеупорные материалы

Современная промышленность предъявляет повышенные требования к термостойким и конструкционным керамическим материалам, особенно к их стабильности геометрии, низкой усадке при обжиге и высокой прочности при эксплуатации при температурах до 1300-1400 °С. Пирофиллит, как природный минерал состава $Al_2Si_4O_{10}$, привлекает внимание благодаря своей объёмной стабильности при нагревании, химической инертности и низкому содержанию щелочных оксидов [1].

Особый интерес представляет пирофиллитовое сырьё месторождения Куль-Юрт-Тау, характеризующееся высокой чистотой и возможностью использования как в виде мелкодисперсного порошка, так и в виде зернистого наполнителя. Однако эффективность использования этого сырья в керамике зависит от правильного подбора гранулометрического состава и режима термообработки.

Целью данной работы является систематическое исследование влияния фракционного состава пирофиллитового сырья и температуры спекания на усадку, прочность, термостойкость и деформационную стойкость керамических изделий.

В качестве основного компонента использовано пирофиллитовое сырьё месторождения Куль-Юрт-Тау, разделённое на две фракции:

Тонкомолотый порошок ($<0,071$ мм);

Зернистый наполнитель (0,5-3,0 мм), полученный дроблением обожжённых при 1200 °С кварц-пирофиллитовых сланцев.

Образцы формировались методом прессования при удельном давлении

20 МПа. В отдельных сериях вводили 25 мас.% фосфатного связующего (ортофосфорная кислота или алюмохромфосфатное связующее) для обеспечения заданной пластичности. Массовое соотношение «твёрдое: жидкое» варьировалось от 2:1 до 7,3:1.

Термообработку проводили в муфельной печи в диапазоне 100-1450 °С с выдержкой 1 ч при конечной температуре и скоростью нагрева 1-2 °С/мин.

Оценку свойств проводили по следующим параметрам:

Прочность при сжатии (ГОСТ 4071.2–94);

Линейная усадка (ГОСТ 2409–2014);

Термостойкость (циклические испытания 800 °С → вода);

Ползучесть при 1250 °С под нагрузкой 0,8 МПа;

Фазовый состав – методом рентгенографического анализа (дифрактометры D8 ADVANCE, ДРОН-4).

Влияние фракционного состава на усадку и прочность

Исследования показали, что при увеличении доли крупной фракции (до 40-50 мас.%) линейная усадка при обжиге до 1200 °С снижается с 1,2% до ≤0,5%. Это связано с формированием каркасной структуры, в которой зёрна крупной фракции ограничивают деформации мелкодисперсной матрицы.

Прочность при сжатии достигает максимума (~50 МПа) при обжиге при 1100-1200 °С и соотношении мелкой и крупной фракций 60:40. При более высоких температурах (1300–1450 °С) наблюдается снижение прочности вследствие образования стекловидной фазы и микротрещиноватости.

Влияние температуры спекания на фазовый состав

Рентгенографический анализ выявил следующую последовательность фазовых превращений:

При 600 °С – формирование метафосфатов алюминия $\text{Al}(\text{PO}_3)_3$;

При 900 °С – образование α -кристобалита и AlPO_4 ;

При 1450 °С – появление пирофосфата кремния $\text{Si}_2\text{P}_2\text{O}_7$ и частичная аморфизация структуры.

Эти превращения существенно влияют на объёмные и механические свойства изделий.

Термо- и деформационная стойкость

Термостойкость составов с крупной фракцией превышает 50 циклов (800 °С → вода), что обусловлено низким коэффициентом линейного термического расширения ($\text{КЛТР} \approx 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$).

Введение зернистого наполнителя снижает скорость высокотемпературной ползучести при 1250 °С и нагрузке 0,8 МПа на 1-2 порядка по сравнению с монолитными образцами из тонкого порошка: деформация не превышает 1% за 12 ч.

Установлено, что подбор фракционного состава пирофиллитового сырья и оптимизация температуры спекания позволяют целенаправленно регулировать комплекс эксплуатационных свойств керамических изделий.

Наиболее сбалансированные характеристики – прочность до 50 МПа, усадка ≤0,5%, термостойкость ≥50 циклов, низкая ползучесть – достигаются

при использовании комбинированного состава (мелкая + крупная фракции) и обжиге при 1100-1200 °С.

Разработанные материалы рекомендованы для производства огнеупорных и электроизоляционных изделий, эксплуатируемых при температурах до 1300 °С.

Библиографический список

1. Мурзакова А.Р., Шаяхметов У.Ш., Бакунов В.С. Композиционные материалы из пиротиллитового сырья месторождения Куль-Юрт-Тау // Огнеупоры и техническая керамика. 2011. № 3. С. 36–40.

2. Мурзакова А.Р., Шаяхметов У.Ш., Бакунов В.С. Исследование высокотемпературной ползучести композиционных материалов на основе пиротиллитового сырья // Огнеупоры и техническая керамика. 2011. № 7-8. С. 38-42.

3. Мурзакова А.Р., Шаяхметов У.Ш., Юмабаев Ю.С., Шаяхметов Р.У. Композиционные материалы на основе корундового и пиротиллитового сырья // Перспективные материалы. 2012. № 3. С. 81-86.

4. Уракаев Ф.Х. и др. Механизм и кинетика роста наночастиц серы и сульфатов щелочноземельных металлов // Журнал физической химии. 2025. Т. 99. № 4. С. 620-635.

© Федотов Н.А., Зайнагабдинов Д.Э., 2025

Н.А. ШАГЕЕВ, И.Р. НИГМАТУЛЛИН, У.Ш. ШАЯХМЕТОВ

Shageev.nafis@mail.ru

Науч. руковод. – канд. хим. наук, доцент **Б.С. АХМЕТШИН**

Уфимский университет науки и технологий

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА И СТРУКТУРЫ ПИРОФИЛЛИТОВОГО СЫРЬЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУЛЬ-ЮРТ-ТАУ

Аннотация: исследованы композиционные керамические материалы на основе пирофиллитового сырья месторождения Куль-Юрт-Тау и фосфатных связующих – ортофосфорной кислоты и алюмохромфосфатного связующего. Показано, что разработанные композиты обладают высокой прочностью при сжатии (до 50 МПа), низкой усадкой (не более 0,5 % при нагреве до 1200 °С), высокой термо- и морозостойкостью (не менее 50 циклов при 800 °С → вода).

Ключевые слова: пирофиллит; кварц-пирофиллитовое сырьё; фосфатное связующее; керамические композиты; термостойкость; ползучесть; высокотемпературная деформация; огнеупорные материалы

Современные требования к огнеупорным и конструкционным керамическим материалам предполагают сочетание высокой термостойкости, химической инертности, низкого коэффициента линейного термического расширения, достаточной механической прочности и технологичности при умеренных температурах обжига. В этом контексте перспективным направлением является разработка композитов на основе пирофиллитового сырья месторождения Куль-Юрт-Тау (Республика Башкортостан), характеризующегося низким содержанием щелочных и окрашивающих оксидов, высокой химической стойкостью и стабильностью объёма при нагревании. Применение фосфатных связующих – ортофосфорной кислоты (H_3PO_4) и алюмохромфосфатного связующего (АХФС) – позволяет получать изделия без высокотемпературного обжига, обеспечивая при этом высокие эксплуатационные характеристики. Целью настоящей работы является исследование физико-химических основ формирования керамических композиционных материалов на основе кварц-пирофиллитового сырья с использованием фосфатных связующих и оценка их физико-механических свойств.

В работе использовано пирофиллитовое сырьё месторождения Куль-Юрт-Тау: тонкомолотый порошок и зернистый наполнитель фракции до 3 мм, полученный дроблением кварц-пирофиллитовых сланцев, предварительно обожжённых при 1200 °С. В качестве связующих применялись ортофосфорная кислота (H_3PO_4) и алюмохромфосфатное связующее (АХФС). Составы композиций подбирались с учётом получения полусухой или пластичной

формовочной массы при соотношении «твёрдое: жидкое» (Т:Ж) от 2:1 до 7,3:1 в зависимости от типа связующего. Образцы изготавливали методами прессования (удельное давление 20-30 МПа) и трамбования. Термообработку проводили в диапазоне температур 100-1450 °С при скоростях нагрева 0,2–5 °С/мин и выдержке 1 ч при конечной температуре.

Фазовый состав материалов определяли методом рентгенографического фазового анализа (РФА) на дифрактометрах D8 ADVANCE (Bruker) и ДРОН-4 в диапазоне углов 2θ от 3° до 65° с шагом сканирования 0,05° и временем экспозиции 1-3 с на точку. Расшифровку дифрактограмм выполняли с использованием программного обеспечения EVA и базы данных PDF-2 (ICDD). Высокотемпературную ползучесть и деформацию исследовали на специализированной установке с возможностью приложения сжимающей нагрузки до 0,8 МПа и нагрева до 1550 °С. Механические свойства оценивали по пределу прочности при сжатии согласно ГОСТ 4070-2000.

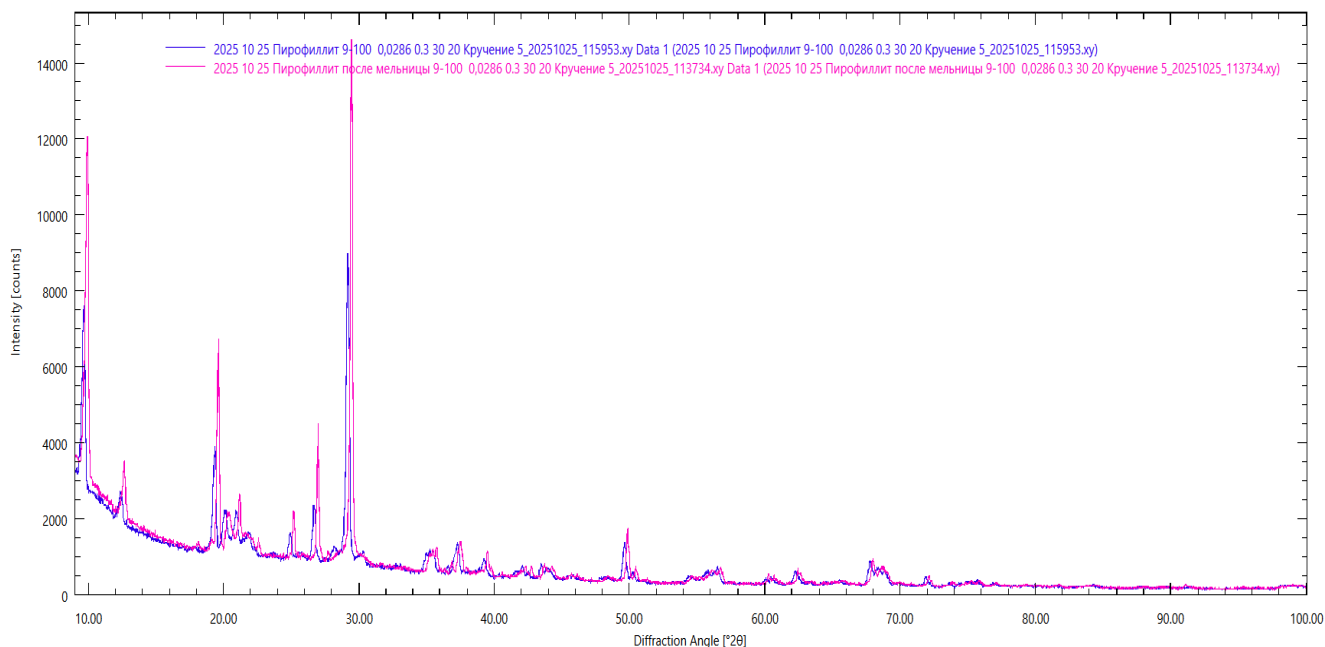


Рис. 1. Дифрактограмма

Механический помол пирофиллита привёл к заметным изменениям в его кристаллической структуре: средний размер кристаллитов уменьшился с ~19 нм в исходном образце до ~16 нм после измельчения, что подтверждается расчётом по формуле Шеррера на основе уширения дифракционных пиков. Одновременно наблюдается увеличение микродеформаций решётки – по данным анализа Уильямсона–Холла они возросли с 0,18–0,24 % до 0,35–0,48 %, что свидетельствует о накоплении внутренних напряжений и дефектов структуры в результате механического воздействия. Кроме того, в образце после помола усилилось уширение пиков при высоких углах 2θ (например, FWHM = 0,715° при $2\theta = 35,74^\circ$ против 0,543° у исходного образца при сопоставимом $2\theta = 37,31^\circ$), что указывает на понижение степени кристалличности и рост структурной неоднородности. Разброс значений D по

разным отражениям также стал больше, особенно у слабых пиков, что говорит о нарушении когерентности рассеяния и анизотропном характере разрушения, типичном для слоистых силикатов. В совокупности эти данные демонстрируют, что помол не только измельчает материал, но и существенно деформирует кристаллическую решётку, снижая её упорядоченность и внося неоднородность в распределение размеров и напряжений кристаллитов.

Таблица 1

Сравнение результатов

Параметр	Пирофиллит Куль-Юрт-Тау (исходный)	Пирофиллит Куль-Юрт-Тау (измельчённый)
Средний размер кристаллитов $*D^*$, нм	$18,6 \pm 2,1$	$15,9 \pm 3,4$
Микродеформации ε , % (по W-H)	$0,21 \pm 0,03$	$0,42 \pm 0,06$
Минимальный FWHM, $^\circ 2\theta$	0,372 ($2\theta = 20,15^\circ$)	0,372 ($2\theta = 20,44^\circ$ и $22,61^\circ$)
Максимальный FWHM, $^\circ 2\theta$	0,829 ($2\theta = 68,40^\circ$)	0,715 ($2\theta = 35,74^\circ$)
FWHM главного пика (006), $^\circ 2\theta$	0,515	0,515
Количество идентифицированных отражений	17	16
Положение главного пика (006), $^\circ 2\theta$	29,215	29,472
Среднее FWHM всех пиков, $^\circ 2\theta$	0,529	0,526
Коэффициент вариации $*D^*$ (%)	~11 %	~21 %
Наличие сильной анизотропии уширения	слабо выражена	выражена (особенно в области $2\theta > 35^\circ$)

Эти количественные различия подчёркивают, что механическая обработка оказывает комплексное влияние на микроструктуру пирофиллита, что необходимо учитывать при его применении в строительных или композиционных материалах, где стабильность кристаллической структуры определяет долговечность и функциональные свойства.

Библиографический список

1. Шаяхметов У.Ш., Халиков Р.М., Вдовенко Н.Н., Ахметшина Г.Г., Чудинов В.В., Бикбулатов М.Р., Газизова А.Т. Структурообразование в композитах на основе пирофиллита // Вестник Башкирского университета. 2018. Т. 23. № 2. С. 346-353.

2. Шаяхметов У.Ш., Мурзакова А.Р. Применение многофункциональных керамических композиционных материалов для футеровки печей

нейтрализации осадков сточных вод // Экология и промышленность России. 2013. № 6. С. 22-23.

3. Шаяхметов У.Ш., Мустафин А.Г., Мурзакова А.Р. Технология переработки пирофиллитового сырья месторождения Куль-Юрт-Тау // Вестник Башкирского университета. 2013. Т. 18. № 1. С. 60-62.

4. Мурзакова А.Р., Шаяхметов У.Ш., Юмабаев Ю.С., Шаяхметов Р.У. Композиционные материалы на основе корундового и пирофиллитового сырья // Перспективные материалы. 2012. № 3. С. 81-86.

5. Мурзакова А.Р., Шаяхметов У.Ш., Бакунов В.С. Композиционные материалы из пирофиллитового сырья месторождения Куль-Юрт-Тау // Огнеупоры и техническая керамика. 2011. № 3. С. 36-40.

6. Мурзакова А.Р., Шаяхметов У.Ш., Бакунов В.С. Исследование высокотемпературной ползучести композиционных материалов на основе пирофиллитового сырья // Огнеупоры и техническая керамика. 2011. № 7-8. С. 38-42.

7. Мурзакова А.Р., Якупова Л.В., Шаяхметов У.Ш., Мустафин А.Г. Пирофиллитовое сырье месторождения Куль-Юрт-Тау - перспективы использования // Вестник Башкирского университета. 2011. Т. 16. № 1. С. 33-35.

© Шагеев Н.А. Нигматуллин И.Р., Шаяхметов У.Ш., 2025

УДК 546

И.И. ЯНТУРИНА, Э.Э. ГАРЕЕВА

Iluzanturina9@gmail.ru

Науч. руковод. – канд. хим. наук, доцент **Б.С. АХМЕТШИН**

Уфимский университет науки и технологии

РЕНТГЕНОФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ И СТРУКТУРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КАРБОНАТА КАЛЬЦИЯ

Аннотация: получение карбоната кальция осуществляется осаждением из растворов кальциевых солей при взаимодействии с карбонат-ионами. Метод обеспечивает контроль над размером частиц и кристаллической формой продукта. Актуален для промышленности как источник чистого наполнителя в фармацевтике, пищевой и строительной отраслях. Возможна переработка промышленных выбросов CO₂. Процесс экологически ориентирован и воспроизводим.

Ключевые слова: рентгенофазовый анализ (РФА); карбонат кальция; осаждение; синтез в лабораторных условиях; карбонат натрия; хлорид кальция

Введение. Получение карбоната кальция представляет собой важный химико-технологический процесс, применяемый в различных отраслях

промышленности. Для его получения используются различные методы осаждения из водных растворов солей кальция.

Один из способов получения высокочистого продукта заключается в предварительной очистке раствора нитрата кальция обработкой нитратом алюминия (2% от массы безводного нитрата) и щелочью до pH 8,0-8,3 с последующим отделением осадка. Химическое осаждение проводят газообразной двуокисью углерода при одновременной подаче потоков очищенного раствора нитрата кальция и газообразного аммиака или его водного раствора. Процесс осуществляют при температуре 42-45 °С, pH 7,8-8,2 и скорости перемешивания 900-1000 об/мин. Такой способ позволяет получить продукт с содержанием основного вещества не менее 99,99 мас.% и крайне низким уровнем примесей [1].

Другой подход используется для удаления солей временной жесткости из воды. Он основан на добавлении водного раствора аммиака к модельному раствору, содержащему ионы кальция и гидрокарбонат-ионы. При значении pH выше 8,3 происходит образование карбонат-ионов, которые реагируют с ионами Ca^{2+} с выпадением осадка CaCO_3 . Термодинамические расчеты показывают, что наиболее вероятная реакция протекает по схеме:



Также разработан способ для повышения эффективности утилизации фтора при переработке фосфатного сырья. В нем предлагается перед основной стадией карбонизации предварительно осадить 5-20% кальция из исходного раствора нитрата кальция суспензией гидроксида кальция. Это позволяет снизить содержание фтора в конечном продукте примерно в 10 раз и повысить качество карбоната кальция [3,5].

Синтез карбоната кальция в лабораторных условиях.

Были взяты два чистых химических стакана. В первый стакан налили примерно 50 мл дистиллированной воды и при постоянном помешивании стеклянной палочкой добавили около 1-2 грамма кристаллического карбоната натрия (Na_2CO_3). Перемешивание продолжали до полного растворения вещества, в результате чего был получен прозрачный бесцветный раствор.

Во второй стакан с таким же объемом дистиллированной воды добавили также примерно 1-2 грамм хлорида кальция (CaCl_2) и также перемешали до получения прозрачного раствора.

Далее раствор карбоната натрия медленно перелили в стакан с раствором хлорида кальция. В момент смешивания растворов было отмечено мгновенное помутнение жидкости и образование густой белой взвеси, что визуально свидетельствовало о начале химической реакции.

Смесь оставили в покое на 2-3 минуты для отстаивания. За это время на дне стакана образовался слой белого рыхлого осадка, а верхний слой раствора стал более прозрачным. Для подтверждения природы осадка с ним провели качественную реакцию: небольшую часть осадка перенесли на часовое стекло и

обработали несколькими каплями разбавленной соляной кислоты (HCl). Наблюдалось бурное вспенивание и выделение пузырьков газа без запаха, что является характерной реакцией для карбонатов и подтверждает, что выпавший осадок – карбонат кальция



Рентгенофазовый анализ подтверждает, что синтезированный продукт представляет собой кристаллический карбонат кальция в форме кальцита. На это указывает ряд острых и хорошо разрешенных дифракционных пиков, характерных для данной полиморфной модификации. Наиболее интенсивный рефлекс наблюдается при $2\theta \approx 29.4^\circ$, что соответствует отражению от плоскости (104) кристаллической решетки кальцита. Все остальные наблюдаемые пики полностью соответствуют стандартному дифракционному паттерну (JCPDS/ICDD) для кальцита. Отсутствие на дифрактограмме каких-либо посторонних рефлексов свидетельствует о высокой фазовой чистоте продукта и отсутствии кристаллических примесей, таких как арагонит, ватерит или оксиды металлов. Узкая ширина пиков указывает на высокую степень кристалличности материала. Таким образом, метод синтеза позволяет получать монокомпонентный кристаллический карбонат кальция в стабильной фазе кальцита.

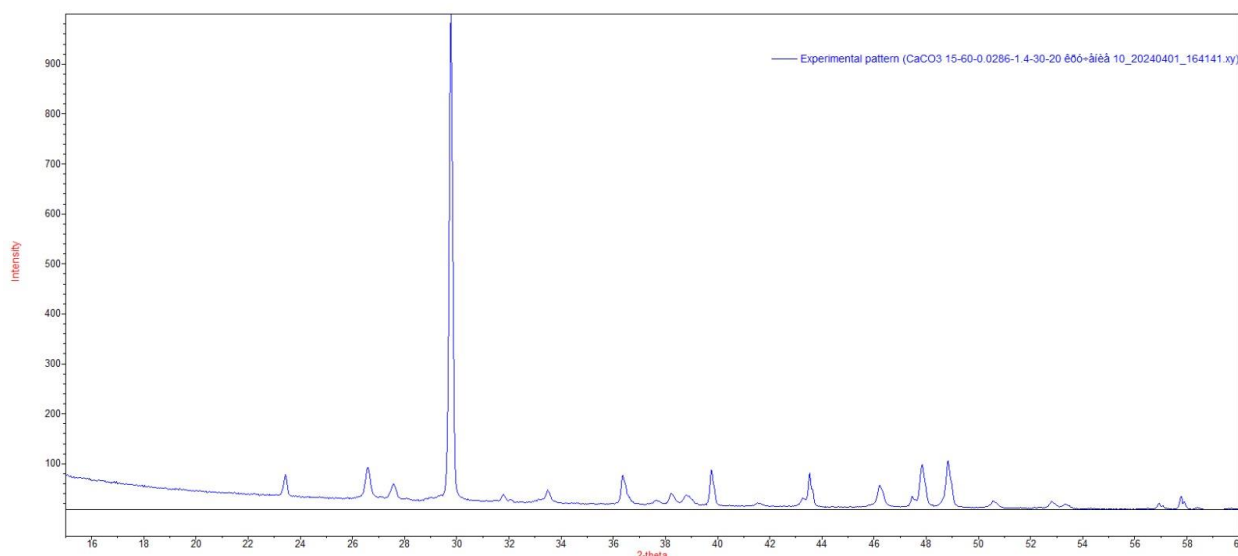


Рис. 1. Дифрактограмма продукта синтеза, идентифицированного как чистый безводный CaCO_3 методом РФА

Получение карбоната кальция высокой чистоты осуществляется путем предварительной очистки исходного раствора нитрата кальция обработкой его 2%-ным количеством нитрата алюминия (в расчете на массу безводного нитрата кальция) и щелочью до pH 8,0-8,3 с последующим отделением осадка. Затем проводят химическое осаждение из очищенного раствора газообразной двуокисью углерода, которую вводят в реактор одновременно с потоками

очищенного раствора нитрата кальция и газообразного аммиака или его водного раствора при температуре 42–45 °С, рН 7,8–8,2 и скорости перемешивания 900-1000 об/мин. Полученный продукт отделяют фильтрацией, промывают водой особой чистоты и сушат [1].

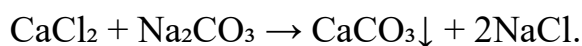
Второй метод получения карбоната кальция рассмотрено как процесс удаления солей временной жесткости, а именно гидрокарбоната кальция, из модельных растворов с применением водного раствора аммиака. При добавлении аммиака в раствор, содержащий ионы Ca^{2+} и HCO_3^- , происходит повышение рН среды, и при значении рН выше 8,3 начинается образование карбонат-ионов (CO_3^{2-}), которые реагируют с ионами кальция с выпадением осадка нерастворимого карбоната кальция. Термодинамические расчеты показывают, что наиболее вероятная реакция протекает по схеме:



что было подтверждено экспериментально [2,4].

Следующий метод получения карбоната кальция из нитрата кальция, выделяемого при азотнокислотной переработке фосфатного сырья, осуществляется путем осаждения с использованием карбоната аммония или газообразных аммиака и углекислого газа. Однако получаемый продукт загрязнен фтористыми солями (до 0,73%), что ухудшает его качество и приводит к потерям фтора. Для решения этой проблемы предлагается предварительно обработать раствор нитрата кальция: в него добавляют суспензию гидроксида кальция до осаждения 5–20% содержащегося в нем кальция, после чего отделяют образовавшийся нерастворимый остаток с фтором и проводят основную стадию карбонизации очищенного маточного раствора [3,5].

Вывод. В работе проанализированы ключевые методы получения карбоната кальция: от промышленных процессов с высокой чистотой (использование нитрата кальция, CO_2 и аммиака с предварительной очисткой) до контроля морфологии кристаллов через проводимость при «обратной» карбонизации. Наиболее простым и эффективным лабораторным методом является осаждение карбоната кальция путем смешивания растворов хлорида кальция и карбоната натрия, что подтверждается высоким выходом и наглядностью реакции:



Этот метод является оптимальным для образовательных и исследовательских целей.

Библиографический список

1. Способ получения карбоната кальция высокой чистоты // А.А. Факеев, А.Г. Вендило // Федерально государственное унитарное предприятие «Государственный ордена трудового красного знамени научно-исследовательский институт химических реактивов и особо чистых химических веществ». 20.03.2011. Бюл. № 8. С. 1-8
2. Маланова Н.В. Термодинамические основы получения карбоната кальция на модельных // Проблемы геологии и освоения недр: труды XVI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 110-летию со дня основания горно-геологического образования в Сибири, Томск, 02–07 апреля 2012 года. Том 2. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2012. С. 269-271.
3. Способ получения карбоната кальция // А.Л. Гольдинов, О.Б. Абрамов, Н.Д. Логинов, Е.И. Тюрин. С. 245-286
4. Уракаев Ф.Х., Массалимов И.А., Ахметшин Б.С., Массалимов Б.И., Хусаинов А.Н., Самсонов М.Р., Мустафокулов Ш.С. Механизм и кинетика роста наночастиц серы и сульфатов щелочноземельных металлов при их соосаждении из истинных полисульфидных растворов // Журнал физической химии. 2025. Т. 99. № 4. С. 620-635.
5. Массалимов И.А., Самсонов М.Р., Ахметшин Б.С., Мустафин А.Г., Буркитбаев М.М., Шалабаев Ж.С., Уракаев Ф.Х. Совместное осаждение из растворов полисульфидов нанокмполитов на основе коллоидных частиц серы и карбонатов щелочноземельных металлов // Коллоидный журнал. 2018. Т. 80. № 4. С. 424-434.

© Янтура И.И., Гареева Э.Э., 2025

СЕКЦИЯ 6.2 АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 502.36

И.И. АХИЯРОВ, А.Н. СИДОРОВА

ahiarov203@gmail.com

Науч. руковод. – канд. геогр. наук, доцент. **Э.В. НАФИКОВА**

Уфимский университет науки и технологий

МИРОВЫЕ ТРЕНДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РОССИИ В ОБЛАСТИ ТЕХНОЛОГИЙ УЛАВЛИВАНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ХРАНЕНИЯ УГЛЕРОДА CCUS

Аннотация: рассматриваются технологии улавливания, использования и хранения углерода (CCUS) как ключевой элемент стратегии декарбонизации. Анализируются мировые тенденции и потенциал России в сфере геологического хранения CO₂ и повышения нефтеотдачи. Отмечаются основные барьеры – отсутствие нормативной базы, высокая капиталоемкость и недостаток стимулов. Обосновывается необходимость национальной стратегии развития CCUS.

Ключевые слова: CCUS; улавливание углерода; хранение CO₂; декарбонизация; изменение климата; энергетический переход; углеродная нейтральность; геологическое хранение; повышение нефтеотдачи; законодательное регулирование

Из-за изменения климата страны по всему миру объединяют усилия для выполнения Парижского соглашения, что требует глубокой трансформации энергетических и промышленных систем. Наряду с развитием возобновляемых источников энергии и повышением энергоэффективности, значительную роль в портфеле климатических решений играют технологии улавливания использования и хранения углерода. CCUS представляют собой набор решений, позволяющих предотвратить выброс диоксида углерода в атмосферу от крупных точечных источников, таких как электростанции, цементные, сталелитейные и химические заводы [1]. Актуальность данных технологий обусловлена их способностью обеспечить декарбонизацию отраслей, где сокращение выбросов иными средствами крайне затруднено или экономически нецелесообразно [2]. Более того, в сочетании с биоэнергетикой или технологиями прямого захвата воздуха CCUS формируют основу для систем с отрицательными выбросами, которые, по мнению МГЭИК, будут необходимы для компенсации выбросов от наиболее устойчивых секторов экономики [3].

Важным аспектом формирования нормативной базы для климатических проектов, включая CCUS, является развитие системы инвентаризации

парниковых газов [4]. Применительно к CCUS это означает необходимость разработки четких методик измерения, отчетности и верификации (MRV) как на этапе улавливания выбросов, так и при долгосрочном мониторинге хранилищ, что является неотъемлемой частью их экологической безопасности и признания на национальном и международном уровнях.

Помимо нормативного закрепления, практическая реализация проектов CCUS требует наличия современных инструментов для оценки экологических рисков и потенциального ущерба. В этом контексте значительный интерес представляют отечественные разработки, направленные на количественную оценку воздействия на окружающую среду [5]. Подобные инструменты могут быть адаптированы и для задач сопровождения проектов CCUS, в частности, для оценки потенциальных последствий в случае гипотетических утечек CO₂ из систем транспортировки или хранения, что способствует повышению уровня экологической и инвестиционной привлекательности таких инициатив.

Технологическая цепочка CCUS начинается с этапа улавливания, который заключается в отделении CO₂ от промышленных газовых потоков. На сегодняшний день существует несколько технологически отработанных подходов. Метод предсжигания предполагает газификацию топлива с получением синтез-газа и последующим преобразованием монооксида углерода в CO₂, который улавливается до сжигания основного топлива – водорода. Альтернативой является технология последующего сжигания, где CO₂ отделяется из дымовых газов уже после процесса горения с помощью химических абсорбентов, наиболее распространенными из которых являются аминные растворы [6]. Третий подход – кислородное сжигание – основан на использовании чистого кислорода вместо воздуха в камере сгорания, что приводит к образованию дымового газа с чрезвычайно высокой концентрацией CO₂, что радикально упрощает его последующее отделение и очистку [7].

После улавливания и сжатия диоксид углерода требует транспортировки к местам хранения или использования, для чего, как правило, применяются трубопроводные системы. Ключевой стадией, обеспечивающей экологическую эффективность всей цепочки, является надежное и долговременное изоляция CO₂ от атмосферы. Наиболее перспективным и изученным методом признано геологическое хранение. В качестве потенциальных резервуаров рассматриваются истощенные нефтяные и газовые месторождения, обладающие доказанной способностью удерживать флюиды на геологических временных масштабах; глубокозалегающие соленосные водоносные пласты, непригодные для хозяйственного использования; а также неэксплуатируемые угольные пласты и базальтовые формации. Важным ориентиром для формирования правовых основ этого процесса на международном уровне служит Директива Европейского парламента и Совета 2009/31/ЕС о геологическом хранении диоксида углерода, которая устанавливает строгие требования к выбору площадок, разрешительному порядку, мониторингу и ответственности.

Параллельно с захоронением развивается направление утилизации

уловленного углерода, что трансформирует CO_2 из отхода в товарный продукт и может улучшить экономику проектов. Наиболее масштабным на сегодня направлением использования является повышение нефтеотдачи пластов, где закачанный CO_2 способствует увеличению добычи нефти. В химической промышленности CO_2 служит сырьем для синтеза различных продуктов, включая метанол, мочевины и поликарбонаты. Схема представлена на (рис. 1). Перспективным является применение диоксида углерода в производстве строительных материалов, например, при карбонизации шлаков и отходов цементной промышленности для получения устойчивых аналогов традиционных строительных блоков. Традиционным, хотя и менее масштабным, сектором использования остается пищевая промышленность.



Рис. 1. Схема проекта CCUS с последующим использованием CO_2

Анализ преимуществ и недостатков CCUS-технологий позволяет сформировать сбалансированное представление об их роли. К неоспоримым преимуществам относятся возможность глубокой декарбонизации существующей промышленной и энергетической инфраструктуры без ее полной замены, что сглаживает социально-экономические издержки энергетического перехода. CCUS создают основу для достижения углеродной нейтральности в энергоемких секторах и открывают путь к отрицательным выбросам. Кроме того, утилизация CO_2 способствует диверсификации экономики и созданию новых рынков. Однако этим преимуществам противостоят серьезные вызовы: высокая капиталоемкость строительства и эксплуатации установок, значительные энергозатраты на процесс улавливания, снижающие общий КПД объекта, а также сохраняющиеся риски, связанные с долговременной целостностью хранилищ и необходимостью создания дорогостоящей инфраструктуры транспортировки.

Мировая практика демонстрирует ускоренное развитие CCUS. По данным на 2025 год, абсолютным лидером являются Соединенные Штаты

Америки, которые планируют нарастить мощности улавливания до почти 245 миллионов тонн CO₂ в год в рамках 266 проектов. В числе других стран-лидеров выделяются Канада с проектными мощностями около 74,5 млн тонн и Япония – более 11,5 млн тонн в год. Среди государств с наибольшими действующими мощностями по состоянию на 2024 год фигурируют Бразилия и Австралия. Активное развитие рынка стимулируется деятельностью как специализированных инновационных компаний, таких как Carbfix, Climeworks и LanzaTech, так и крупных инжиниринговых корпораций – Mitsubishi Heavy Industries, Siemens Energy и других.

Что касается Российской Федерации, то здесь технологии CCUS находятся преимущественно на стадии научных исследований, пилотных проектов и стратегического планирования [8, 9]. Широкое коммерческое распространение отрасли пока не состоялось. Вместе с тем, Россия обладает значительным, хотя и нереализованным, потенциалом для их внедрения. Этот потенциал в первую очередь связан с наличием обширных площадей для геологического хранения, включая многочисленные истощенные нефтегазовые месторождения и соленосные участки. Существенным экономическим драйвером могло бы стать использование уловленного CO₂ для повышения нефтеотдачи на зрелых месторождениях, поскольку соответствующие технологии хорошо известны и апробированы в стране.

Однако реализации этого потенциала препятствует комплекс взаимосвязанных барьеров. Наиболее существенным из них является нормативно-правовой вакуум. Несмотря на принятие в 2021 году закона «О геологическом хранении углерода», в России до сих пор отсутствует целостная законодательная база, которая бы регулировала весь жизненный цикл CCUS-проекта от улавливания и транспортировки до долговременного мониторинга хранилищ и распределения ответственности в случае инцидентов. В этом контексте опыт Европейского Союза, детально регламентированный в Директиве 2009/31/ЕС, мог бы служить ценным ориентиром для формирования российской нормативной базы. Вторым ключевым барьером выступает высокая капиталоемкость технологий, делающая их нерентабельными без существенной государственной поддержки или жестких регуляторных требований к выбросам. Отсутствие действенных экономических стимулов, таких как высокая цена на углеродные единицы или налоговые льготы, не создает достаточного спроса со стороны бизнеса. Наконец, сохраняется зависимость от зарубежных технологических решений в области улавливания, а уровень их локализации и адаптации к российским условиям остается недостаточным.

Проведенный анализ позволяет констатировать, что технологии улавливания использования и хранения углерода прочно заняли свою нишу в глобальной климатической повестке. Они представляют собой не альтернативу возобновляемой энергетике, а необходимое дополнение к ней, позволяющее решить проблему труднсокращаемых выбросов и создать задел на будущее в виде систем с отрицательными выбросами. Динамичное развитие CCUS в Северной Америке, Азии и Европе свидетельствует о переходе от стадии

НИОКР к стадии активной коммерциализации и масштабирования.

Для России развитие CCUS-технологий – это не только вопрос выполнения возможности будущих климатических обязательств, но и стратегический шанс для технологической модернизации промышленности, повышения эффективности нефтедобычи и создания новых производственных цепочек. Однако для того, чтобы этот шанс был реализован, требуется переход от точечных инициатив к системной государственной политике. Первоочередными мерами должны стать разработка и принятие Национальной стратегии развития CCUS, которая определит четкие цели, дорожную карту и приоритеты. В неразрывной связи с этим должна быть сформирована полноценная нормативно-правовая база, устраняющая существующие юридические пробелы и создающая предсказуемые условия для инвесторов, с учетом успешного международного опыта, такого как Директива ЕС 2009/31/ЕС. Не менее важным является создание пакета финансовых стимулов, включающего грантовую поддержку пилотных и демонстрационных проектов, субсидирование операционных затрат и механизмы стимулирования спроса, такие как регулирование выбросов или сертификация углеродных единиц. Наконец, необходима активная работа по международной кооперации для ускорения трансфера технологий и интеграции в глобальные исследовательские и инфраструктурные проекты.

Таким образом, успешная интеграция технологий CCUS в экономику России возможна лишь при условии консолидированных усилий государства, научного сообщества и бизнеса, направленных на создание комплексной и взаимосвязанной системы технологического, регуляторного и финансового обеспечения.

Библиографический список

1. Гафурова А.Р., Александров Д.В., Нафикова Э.В. Оценка и прогнозирование миграции нефти и нефтепродуктов в окружающей среде // Современные проблемы охраны труда и окружающей среды: сб. трудов XXXV Междунар. науч.-практ. конф., Химки, 26 февр. 2025 г. Химки: Акад. граждан. защиты МЧС России им. ген.-лейт. Д. И. Михайлика, 2025. С. 78-86.
2. Elsevier Guide to Carbon Capture, Utilization and Storage [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.elsevier.com/en-in/industry/guide-to-carbon-capture-utilization-and-storage>. Дата обращения: 28.10.2025.
3. CCUS: сглаживание энергоперехода и возможность удаления углерода [Электронный ресурс] // Ecoindustry.ru. 2022. Режим доступа: <https://www.ecoindustry.ru/i/news/59983/ccus-skolteh-2022-11-10.pdf>. Дата обращения: 28.10.2025.
4. Скуратова П.Н., Нафикова Э.В. Обзор законодательной базы и методических разработок по инвентаризации парниковых газов при различных операциях с твердыми коммунальными и производственными отходами // Междунар. журнал гуманитарных и естественных наук. 2025. № 1-1(100).

С. 14–18.

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023617236 Российская Федерация. Размер вреда в результате загрязнения почв, возникшего при поступлении в почву загрязняющих веществ: № 2023616038: заявл. 28.03.2023: опубл. 06.04.2023 / Э.В. Нафикова, Д.В. Александров, А.Ф. Шаниязова, А.Н. Сидорова; заявитель ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий».

6. Технологии CCUS для тепловых электростанций [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ek-top.ru/articles/elektrotehnika/ccus-technologies-for-thermal-power-plants/>. Дата обращения: 28.10.2025.

7. Проект будущего CCUS: улавливание и хранение углекислого газа [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://46.vtorproekt.com/article/proekt-budushchego-ccus-ulavlivanie-i-khranenie-uglekislogo-gaza-ponadeemsysa-ili-sami-ne-oploshaem.html>. Дата обращения: 28.10.2025.

8. Янушанец С.Н., Ветрова М.А. CCUS-технологии: мировой опыт и перспективы для Российской Федерации. // Креативная экономика. 2023. Т. 17, № 6. С. 2205-2222.

9. Ванчугов И.М. Перспективы развития индустрии улавливания, использования и хранения углерода в России // Экология и промышленность России. 2023. Т. 27, № 8. С. 42-49.

© Ахияров И.И., Сидорова А.Н., 2025

УДК 632.15

П.Р. АХТЯМОВА, Н.В. КОСТРЮКОВА

Уфимский университет науки и технологий

АНАЛИЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЛОКОМОТИВНОГО ДЕПО КАК ИСТОЧНИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Аннотация: в работе исследованы структура и география ж/д транспорта, влияние объекта на экологию. Разобрано локомотивное депо, технологические процессы, источники загрязнений (атмосфера, гидросфера, литосфера). Проведены расчеты выбросов (котельная, рельсосварочное предприятие, щебеночный завод) и расчет платы за негативное воздействие на окружающую среду.

Ключевые слова: локомотивное депо; атмосферный воздух; сточные воды; отходы; источники загрязнения

Железные дороги – важнейшая транспортная система, отличающаяся высокой энергоэффективностью и экологичностью. Они обеспечивают массовые грузовые и пассажирские перевозки, оказывая меньшее воздействие на окружающую среду, чем автомобильный транспорт. Железнодорожный

транспорт включает в себя: инфраструктуру; обслуживающие предприятия; управленческие, социальные и образовательные учреждения [1]. Он является ключевым звеном транспортной системы из-за огромных расстояний, отсутствия круглогодичных водных маршрутов и удалённости промышленных центров от портов. На его долю приходится 50 % грузооборота и 46 % пассажиропотока страны. Основная сеть сосредоточена в трёх регионах: Центральном (12,6 тыс. км), Уральском (11,3 тыс. км) и Поволжском (8,5 тыс. км) [2].

Железнодорожная отрасль оказывает комплексное воздействие на окружающую среду, формируя ежегодно около 1,65 млн. тонн вредных выбросов. Основными источниками загрязнения выступают подвижной состав (тепловозы, магистральные и маневровые локомотивы, грузовые вагоны с пылящими и токсичными материалами) и производственные объекты (ремонтные заводы, щебёночные предприятия, отопительные системы) [3].

Локомотивное депо представляет собой специализированное предприятие железнодорожного транспорта, оснащенное приписным парком электровозов или электропоездов. В его основные функции входят: проведение технического обслуживания и текущего ремонта подвижного состава [4]. Технологические процессы локомотивного депо (рис. 1).

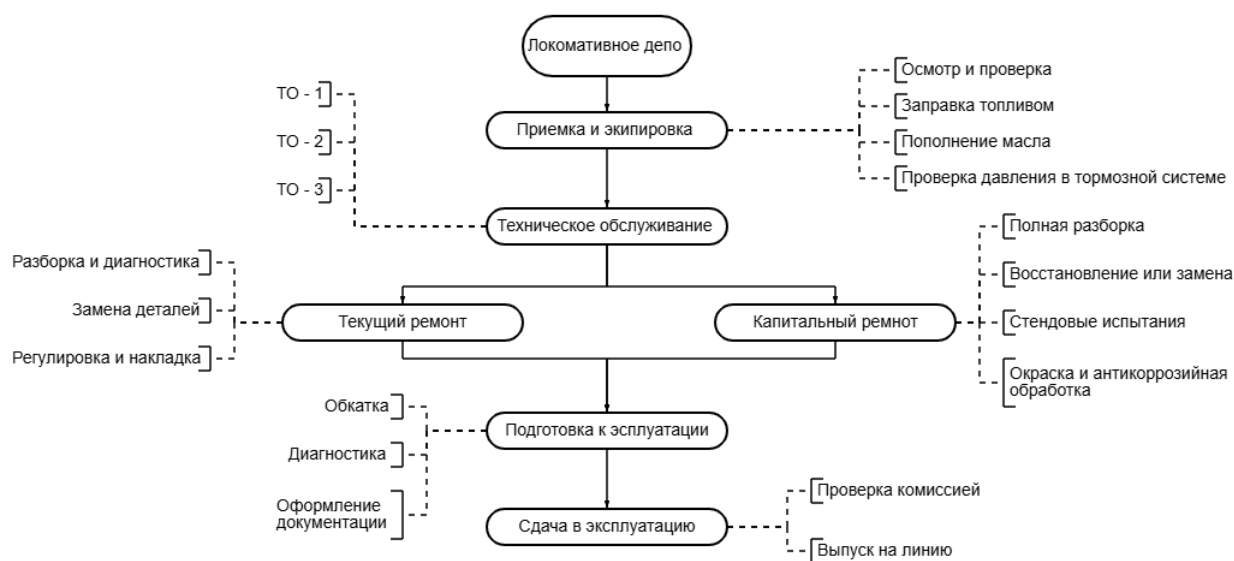


Рис. 1. Блок-схема технологических операций

Железнодорожный транспорт представляет собой комплексный источник загрязнения атмосферного воздуха, включающий как стационарные, так и передвижные объекты. К стационарным источникам относятся: котельные установки, выбрасывающие продукты сгорания топлива; шпалопропиточные заводы; сушильные камеры для песка; а также сварочные работы [5].

Вода активно используется в технологических процессах железнодорожных предприятий, после чего она, загрязняясь примесями, становится производственными сточными водами. Основные загрязнённые

стоки образуются при мойке подвижного состава и деталей, технологических процессах, а также от хозяйственно-бытовой деятельности. Дополнительно поступают ливневые воды с территории, содержащие масла и механические примеси. Характерные загрязнители: нефтепродукты, тяжёлые металлы, моющие средства и взвешенные вещества [6].

Железнодорожный транспорт преимущественно производит нетоксичные ТБО (70-90 % от общего объёма отходов), но также образует опасные жидкие/газообразные отходы и энергетические загрязнения. Локомотивное депо образует твердые (металлолом, резинотехнические отходы, бытовой мусор), жидкие (отработанные масла, гальваностоки) и опасные отходы (аккумуляторы, нефтешламы) [7].

Расчеты проведены в соответствии с методикой проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на предприятиях железнодорожного транспорта [8].

Расчет выброса загрязняющих веществ при сжигании газа в котлоагрегатах котельной производился при следующих исходных данных: количество израсходованного топлива за год – 601,7 т; эффективность золоуловителей – 98 %; потери теплоты вследствие механической неполноты сгорания – 0,5 %; выход окиси углерода при сжигании топлива – 8,95 кг/т; количество окислов азота – 0,108 кг/ГДж. В результате расчетов было выявлено (рис. 2), что при сжигании газа в котлоагрегатах котельной наибольший вклад в загрязнение окружающей среды несут твердые частицы, $M_T = 12,034$ т/год.

На рельсосварочном предприятии основными загрязняющими веществами являются пыль и сварочный аэрозоль. Для расчета были использованы следующие исходные данные: удельное выделение пыли – 220 г/с; число обрабатываемых сварочных стыков в год – 40500; эффективность очистки пылеулавливающего оборудования – 85 %; удельное выделение сварочного аэрозоля – 30 г/кг. В результате расчетов было выявлено (рис. 2), что на рельсосварочном предприятии наибольший вклад в загрязнение окружающей среды твердыми частицами несет процесс шлифовки, $M = 4860$ кг/год и наибольший вклад в загрязнение окружающей среды сварочным аэрозолем несет процесс сварки стыков рельс, $M = 792$ кг/год.

Предприятие по переработке щебня включает в себя несколько этапов: первичное, среднее и мелкое дробление, сортировка и транспорт материалов. Для расчета использовались такие исходные данные, как: производительность аспирационной установки, концентрация пыли в отходящем воздухе и эффективность очистной установки. В результате расчетов было выявлено (рис. 2), что на предприятии по переработке щебня наибольший вклад в загрязнение окружающей среды твердыми частицами несет процесс мелкого дробления $M = 20,5$ т/год.

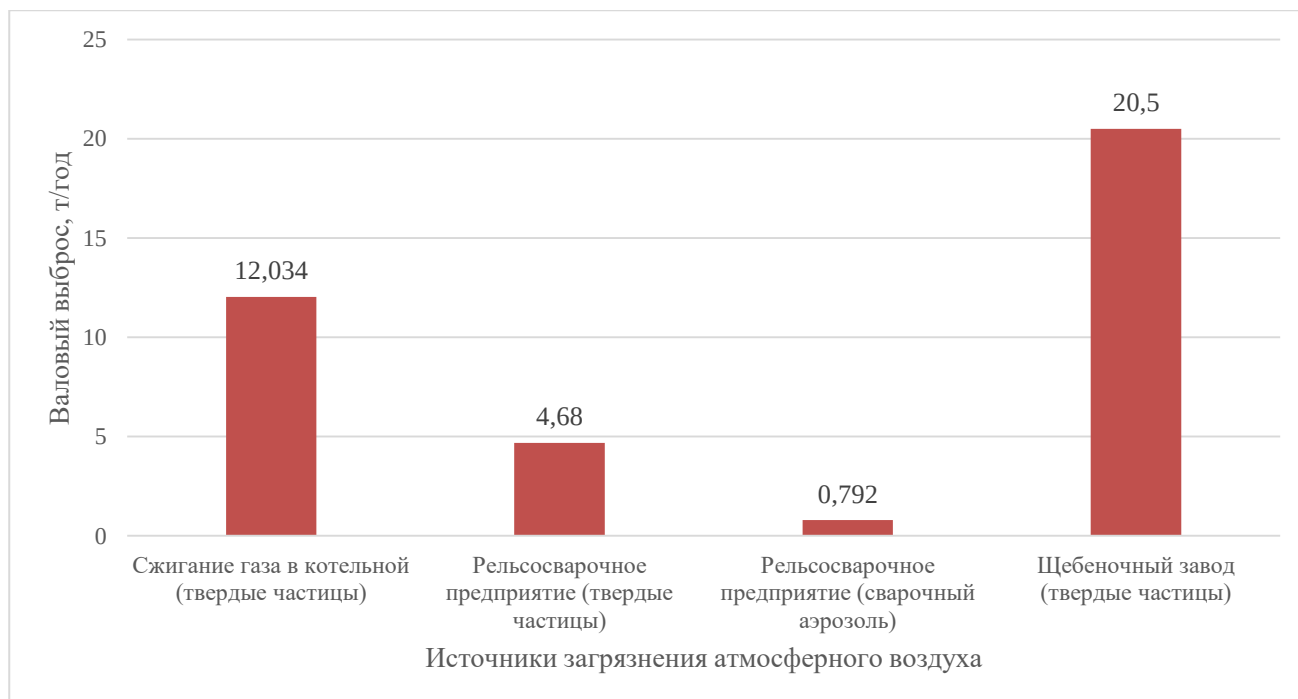


Рис. 2. Результаты расчета выбросов загрязняющего вещества

Расчет суммы платы производился согласно Постановлению Правительства РФ № 881 от 3.05.2023. В результате расчетов суммарной платы за выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух было выявлено, что наибольшую сумму платы имеет метан $P_{CH_4} = 58707,94$ руб. (рис. 3).



Рис. 3. Результат расчета суммарной платы за выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух

Таким образом, исследование выявило значительное экологическое влияние локомотивного депо, где основными источниками загрязнения

выступают: литейное производство (60%), котельные (25%) и другие объекты (15%). Основные загрязнители: пыль от котельной (12 т/год), частицы от шлифовки рельс (4,86 т/год), аэрозоли сварки (0,79 т/год) и дробления щебня (20,5 т/год). Наибольшие экологические платежи связаны с выбросами метана (58,7 тыс. руб/год), что подтверждает необходимость усиления природоохранных мер.

Библиографический список

1. Курдюкова В.М. Структура железнодорожного транспорта [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://nsportal.ru/blog/nachalnoe-i-srednee-professionalnoe-obrazovanie/2022/05/24/struktura-zheleznodorozhnogo>. Дата обращения: 01.11.2025.
2. География деятельности ОАО «РЖД» в России. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://sr2021.rzd.ru/ru/about-company/geography> Дата обращения: 01.11.2025
3. Казанцева М.Ю., Зибарева Д.А. Железнодорожный транспорт как источник загрязнения окружающей среды // Самарский научный вестник. 2014. С 57-58.
4. Айзинбуд С.Я. Локомотивное хозяйство: учебное пособие. Москва. 1986. 263 с.
5. Пашенко Л.В., Потапенко В.И. Загрязнение атмосферы предприятиями железнодорожного транспорта // Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта. 2017. №. 47. С. 40-58.
6. Водные ресурсы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sr2022.rzd.ru/ru/environmental-aspect/water-resources>. Дата обращения: 11.01.2025.
7. Самофалова А.С., Звягинцева А.В. Проблемы отходов на железнодорожном транспорте // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2016. Т. 2. №. 1 (7). С. 333-336.
8. Донченко В.В. Методика проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на предприятиях железнодорожного транспорта. 1992.

© Ахтямова П.Р., Кострюкова Н.В., 2025

Н.Б. БАЙГУЖИНА, В.И. НАФИКОВА, А.С. ШАПОШНИКОВ

Cocosik1418@mail.ru

Науч. руковод. – ст. препод. **Дм.А. ТАРАКАНОВ**

Уфимский университет науки и технологий

АНАЛИЗ ПОСЛЕДСТВИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ КАТАСТРОФЫ В Г. АША (1989 Г.)

Аннотация: в работе рассмотрена Ашинская катастрофа 1989 года, одна из самых трагических в истории железнодорожного транспорта России. Её последствия оказали влияние на здоровье населения, экологическую обстановку и социально-экономическое развитие региона. Масштаб трагедии показал необходимость реформирования системы транспортной безопасности и совершенствования мер реагирования на чрезвычайные ситуации.

Ключевые слова: Ашинская катастрофа; железнодорожная авария; взрыв; чрезвычайные ситуации; пострадавшие; экологические последствия; транспортная безопасность

Аша – город в Челябинской области, ставший местом одной из крупнейших железнодорожных катастроф в истории СССР и России. В 1989 году два пассажирских поезда столкнулись из-за утечки газа, что привело к мощному взрыву и пожару. По количеству жертв Челябинская область оказалась самым пострадавшим регионом – 122 человека погибли.

Ашинская катастрофа оказала глубокое воздействие на все аспекты жизни в Челябинской области и за её пределами. Число жертв и пострадавших стало показателем масштабности трагедии, а её последствия были ощутимы в долгосрочной перспективе, включая здоровье людей, экологическую обстановку и социально-экономическую ситуацию региона.

Результаты анализа литературных источников [1, 2], в том числе связанных с анализом последствий этой катастрофы, позволили выделить следующие последствия (таблица 1).

Таблица 1

Последствия Ашинской катастрофы

Сфера	Характер	Последствия
1	2	3
Здоровье людей	Краткосрочные и долгосрочные последствия для жертв	Более 575 погибших и 600 раненых; тяжелые ожоги и травмы; хронические заболевания дыхательных путей; повышение онкологических рисков
Экологические	Загрязнение окружающей среды	Выброс пропан-бутана и продуктов горения; загрязнение воды, воздуха, почвы; гибель флоры и фауны

1	2	3
Социально-экономические	Разрушение инфраструктуры и принятие мер по обеспечению безопасности	Уничтожение жилых домов и железнодорожных путей; финансовые потери региона; ужесточение правил перевозки грузов; разработка новых правил транспортной безопасности

Влияние на здоровье людей. Ожоги, травмы от ударной волны и отравления продуктами горения стали наиболее характерными последствиями для тех, кто оказался в эпицентре трагедии. Количество жертв и пострадавших составило: более 575 человек погибли; более 600 человек получили травмы, среди которых многие остались инвалидами.

Долгосрочные медицинские последствия проявились: в хронических заболеваниях дыхательных путей у выживших из-за вдыхания токсичных газов; в увеличении онкологических рисков (пропан-бутан и продукты его горения – канцерогены); в инвалидности у многих пострадавших из-за тяжелых ожогов и травм, в наличии психологических последствий.

Экологические последствия. Экологический ущерб также был колоссальным. После взрыва в атмосферу выбросились токсичные вещества, загрязнившие воздух, почву и воду (угарный газ, диоксиды азота и серы, сажа). В результате пожара загорелись цистерны, которые, помимо разрушений, оставили за собой химическое загрязнение. Катастрофа так же повлияла на флору и фауну: в радиусе взрыва погибли деревья и животные. Местные водоёмы, включая реку Сим, были загрязнены нефтепродуктами, что привело к массовой гибели рыбы. Сильное загрязнение почвы тяжёлыми металлами и канцерогенами также оказало влияние на экосистему региона [3, 4].

Социально-экономические последствия. Челябинская область понесла огромные экономические потери. Разрушение железнодорожной инфраструктуры, сгоревшие дома, повреждённые линии электропередач – всё это потребовало значительных финансовых затрат на восстановление. Уничтожение жилья и промышленного имущества вызвало миграцию, кризис доверия к власти и психосоциальные потрясения. Ужесточились правила перевозки опасных грузов (новые стандарты, проверки цистерн), были созданы системы экстренного реагирования на чрезвычайные ситуации и приняты законы, касающиеся санитарной безопасности жилых зон, а также запрет на застройку вблизи железнодорожных путей [5].

Таким образом, последствия катастрофы затронули не только непосредственно пострадавших, но и оказали значительное влияние на социально-экономическое положение региона. Последствия аварии вышли далеко за рамки локальной трагедии, повлияв на социальную, экономическую и экологическую сферы, а также став отправной точкой для реформ в транспортной безопасности не только в Челябинской области, но и во всей стране. Результаты анализа последствий этой катастрофы свидетельствуют о

важности комплексного подхода к безопасности, учете рисков и готовности к чрезвычайным ситуациям в масштабах государства и региона.

Библиографический список

1. Сотни людей погибли в крупнейшей железнодорожной катастрофе на Транссибе [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://lenta.ru/articles/2019/06/04/ascha/>. Дата обращения: 29.10.2025.

2. Максютов А.М., Тараканов Д.А. Анализ современного состояния проблемы обеспечения безопасности в поездах // Наука, образование, производство для противодействия техногенным угрозам и решения экологических проблем (Техносферная безопасность-2025): материалы XXII Международной научно-практической конференции, Уфа, 06 мая 2025 года. Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2025. С. 100-104.

3. 35 лет назад взрыв на Транссибе унес несколько сотен жизней / КП-Новосибирск, 03.06.2024 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.nsk.kp.ru/daily/27589/4940611/>. Дата обращения: 30.10.2025.

4. Тараканов Д.А., Максютов А.М., Байрамгулова К.Р. Анализ визуальных симуляторов для обеспечения пожарной безопасности при железнодорожных перевозках // Полимерные материалы пониженной горючести: сборник тезисов XII Международной конференции, Балашиха, 09-12 сентября 2025 года. Балашиха: Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС РФ, 2025. С. 141-146.

5. «Ашинский синдром» – очерк и воспоминания очевидцев (публикация в блоге/региональном издании), 04.06.2019 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://krasnov74.ru/2019/06/04/asha-train-crash/>. Дата обращения: 30.10.2025.

© Байгужина Н.Б., Нафикова В.И., Шапошников А.С., 2025

Д.Н. БИКБУЛАТОВА

bdn200405@mail.ru

Науч. руковод. – канд. биол. наук, доц. **Г.Ф. ГАБИДУЛЛИНА**

Уфимский университет науки и технологий

ПРОФИЛАКТИКА ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ В РАБОТЕ КИСЛОТЧИКА

Аннотация: в статье рассматриваются комплексные меры по обеспечению безопасности труда профессии кислотчика в целлюлозно-бумажной промышленности. Проанализированы основные вредные и опасные производственные факторы, предложены современные подходы к средствам коллективной и индивидуальной защиты, организационным мероприятиям. Особое внимание уделено вопросам обучения и нормативному регулированию в данной области.

Ключевые слова: кислотчик; охрана труда; безопасность; химические факторы

Профессия «Кислотчик» является важной в таких отраслях, как целлюлозно-бумажная, химическая, металлургическая промышленность, водоочистка и многих других. Специалисты данной профессии занимаются приготовлением рабочих растворов кислот, щелочей, реагентов и других химикатов строго заданной концентрации для технологических нужд согласно профессиональному стандарту 23.016 «Кислотчик» утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 28.02.2023 № 106н. Рабочий процесс связан с постоянным взаимодействием с опасными веществами и оборудованием под давлением, что создает высокий риск возникновения аварийных ситуаций и профессиональных заболеваний. В связи с этим, комплексная система обеспечения безопасности труда для представителей этой профессии является не просто рекомендацией, а строгой необходимостью, основанной на законодательных требованиях и направленной на сохранение жизни и здоровья работника [1].

Деятельность кислотчика характеризуется воздействием широкого спектра вредных и опасных производственных факторов, которые идентифицируются в процессе специальной оценки условий труда в соответствии с Руководством Р 2.2.2006-05 [2].

Химический фактор: наиболее значимый риск. При работе с кислотами (серной, соляной, азотной) и щелочами (едкий натр) возможно воздействие их паров, аэрозолей и газов (например, SO_2 , Cl_2). Попадание даже малых количеств этих веществ в организм ингаляционным путем или на кожу может привести к острым отравлениям, химическим ожогам, хроническим заболеваниям дыхательной системы и кожи [3].

Физические факторы: повышенный уровень шума от работы насосов, центрифуг и вентиляционного оборудования.

Неблагоприятные параметры микроклимата: повышенная температура воздуха в производственных помещениях, особенно вблизи реакторов и паропроводов. Опасность взрыва и пожара при нарушении правил хранения и обращения с химикатами. Повышенное давление в коммуникациях и аппаратах.

Факторами трудового процесса являются тяжесть и напряженность труда. Физические динамические и статические нагрузки, связанные с переносом барабанов с реагентами, канистр, ручными операциями по открыванию задвижек. Высокая ответственность за качество раствора и безаварийную работу оборудования, необходимость постоянного сосредоточенного наблюдения за приборами, риск возникновения аварийных ситуаций, что создает значительную эмоциональную нагрузку [4].

По результатам специальной оценки условия труда кислотчика, как правило, относятся к вредному классу 3.1-3.2, что требует предоставления компенсаций и разработки комплекса защитных мероприятий.

Эффективная система охраны труда для кислотчика базируется на трех ключевых принципах: исключение или снижение уровня вредных факторов, защита работника и грамотная организация процесса.

Средства коллективной защиты направлены на минимизацию воздействия опасных факторов на всех работников в зоне их присутствия: герметизация оборудования минимизирует риск утечки химических веществ; местная вытяжная вентиляция (бортовые отсосы, зонты) в местах загрузки реагентов, отбора проб и возможного выделения паров; внедрение автоматических дозаторов, систем контроля уровня и температуры, а также датчиков загазованности воздуха рабочей зоны с сигнализацией о превышении ПДК. Так же требуется аварийное оборудование в быстрой доступности для локализации и ликвидации аварий: души и фонтанчики для промывки глаз (ASG-установки), емкости с нейтрализующими растворами (сода, кислота), песок, инвентарь для уборки проливов. Средства индивидуальной защиты подбираются на основе результатов специальной оценки условий труда, как правило включают в себя противогазы (фильтрующие и изолирующие); защитные очки, перчатки, костюмы, устойчивые действию кислот и щелочи.

Организационные мероприятия обеспечивают культура безопасности на предприятии целлюлозно-бумажной промышленности. Отдел охраны труда проводит для работников вводный, первичный на рабочем месте, повторный, внеплановый и целевой инструктажи. Обязательно обучение безопасным методам и приемам выполнения работ, правилам оказания первой помощи пострадавшим [5]. Проводятся медицинские осмотры: проведение предварительных (при поступлении на работу) и периодических медицинских осмотров в соответствии с Приказом Минздрава № 29н [6] для выявления противопоказаний и ранних признаков профессиональных заболеваний. Осуществляется допуск к работе в виде оформления нарядов-допусков на выполнение работ повышенной опасности (например, ремонтные работы

внутри аппаратов).

Основополагающими документами, регламентирующими деятельность кислотчика, являются:

Трудовой кодекс РФ (Раздел X «Охрана труда»).

Приказ Минтруда России от 04.12.2020 № 859н (ред. от 29.04.2025) «Об утверждении Правил по охране труда в целлюлозно-бумажной и лесохимической промышленности» [7] или другие отраслевые правила.

Единый тарифно-квалификационный справочник – определяет трудовые функции и необходимые знания, в том числе по безопасности.

ГОСТы и ТР ТС, например, ТР ТС 019/2011 «О безопасности средств индивидуальной защиты».

Обучение не должно сводиться к формальному прослушиванию инструкций. Эффективными являются практические тренинги, отработка действий аварийных (имитационных) ситуациях, использование тренажеров для оказания первой помощи. Постоянное поддержание высокой квалификации работника и его грамотности в вопросах охраны труда – залог предотвращения несчастных случаев. Комплексный подход, основанный на строгом соблюдении требований нормативно-правовых актов обеспечит безопасность труда кислотчика и позволит минимизировать профессиональные риски, сохранить здоровье работников и обеспечить безаварийную работу производства.

Библиографический список

1. Трудовой кодекс Российской Федерации (с изм. и доп.).
2. Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.
3. ГН 2.2.5.3532-18 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны».
4. Единый тарифно-квалификационный справочник (ЕТКС). Часть №1 выпуска №41 Раздел ЕТКС «Производство целлюлозы, бумаги, картона и изделий из них».
5. Приказ Минтруда России от 29.10.2021 № 772н (с изм. от 17.03.2022) «Об утверждении основных требований к порядку разработки и содержанию правил и инструкций по охране труда, разрабатываемых работодателем».
6. Приказ Минтруда России N 988н, Минздрава России № 1420н от 31.12.2020 «Об утверждении перечня вредных и (или) опасных производственных факторов и работ, при выполнении которых проводятся обязательные предварительные медицинские осмотры при поступлении на работу и периодические медицинские осмотры».
7. Приказ Минтруда России от 04.12.2020 № 859н (ред. от 29.04.2025) «Об утверждении Правил по охране труда в целлюлозно-бумажной и лесохимической промышленности».

© Бикбулатова Д.Н., 2025

К.А. БИКТУБАЕВ

ker4ik3012@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **Е.Н. ЕЛИЗАРЬЕВА**

Уфимский университет науки и технологий

ФИТОРЕМЕДИАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ПОЧВ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Аннотация: в статье рассматриваются современные подходы к фиторемедиации – биотехнологии очистки нефтезагрязнённых почв с использованием растений и ассоциированных микроорганизмов. Описаны основные механизмы и методы фиторемедиации (фитоэкстракция, фитодеградация, фитофильтрация, фитостабилизация), а также особенности подбора эффективных фиторемедиантов среди бобовых и злаковых культур.

Ключевые слова: фиторемедиация; нефтепродукты; загрязнение почв; биологическая рекультивация; растения-фиторемедианты; бобовые; злаковые культуры; устойчивое землепользование; экотехнологии

В результате добычи и транспортировки нефти почвы нередко становятся серьёзно загрязнёнными углеводородами, теряя своё плодородие [1]. Фиторемедиация, т.е. комплекс методов очистки грунтов и вод с помощью растений, предлагает экологически чистое решение этой проблемы. Тот подход основан на природных процессах, с помощью которых растения и корневые микроорганизмы разрушают или аккумулируют загрязнители [2]. Высокий адаптационный потенциал растений и взаимовыгодные отношения растений и микроорганизмов делают фиторемедиацию устойчивой технологией очистки, не требующей внешней энергии, а только солнечной энергии при фотосинтезе [3].

Фиторемедиация включает несколько основных методов. Так, фитоэкстракция предполагает накапливание загрязнителей (преимущественно металлов) в надземных частях растений и последующую утилизацию их биомассы. Фитодеградация (или фитотрансформация) использует ферментные системы растений и ризосферных микроорганизмов для разрушения органических соединений, включая углеводороды нефти. Для фильтрации загрязнённой воды применяют фитофильтрацию, а фитостабилизация направлена на перевод тяжёлых металлов в менее подвижные формы [4, 5]. Хотя нефть и нефтепродукты – гидрофобные органические загрязнители, для них также эффективны фиторемедиационные подходы: корневая зона растений может стимулировать биодеструкцию углеводородов, а некоторые травянистые культуры способны разлагать сложные поликомпонентные загрязнители (бензол, толуол, ПАУ и др.) или предотвращать их миграцию в глубь грунта [6].

При проектировании фиторемедиационных систем особое внимание уделяют выбору растений. В идеале применяют быстрорастущие, высокобиомассные культуры с мощной корневой системой и устойчивостью к нефтяным токсикантам. Как правило, используется смесь бобовых и злаковых культур. Бобовые (люцерна, донник, эспарцет) не только наращивают биомассу, но и фиксируют азот, повышая активность углеводородоокисляющей микрофлоры в почве. Злаки (рожь, райграс, злаки семейства злаков) быстро развивают корневую систему, улучшая аэрацию ризосферы и тем самым ускоряя разложение нефти [7].

Например, в Среднем и Нижнем Поволжье при фиторемедиации используют люцерну посевную (*Medicago sativa*), эспарцет песчаный (*Onobrychis arenaria*), донник лекарственный (*Melilotus officinalis*), костёр растопыренный (*Bromus squarrosus*), овсяницу красную (*Festuca rubra*), райграс пастбищный (*Lolium perenne*), мятлик луговой (*Poa pratensis*), пырей ползучий (*Elytrigia repens*), суданскую траву (*Sorghum bicolor*), овёс посевной (*Avena sativa*) и рожь озимую (*Secale cereale*). В научных исследованиях на нефтезагрязнённых почвах также испытаны подсолнечник, люцерна и рожь в определённой последовательности, что позволяет создать «фиторемедиационный конвейер» – многоэтапную очистку разными растениями [8]. Перед посевом почву рыхлят и, при необходимости, привносят органоминеральные удобрения для улучшения плодородия, особенно если планируется выращивание требовательных культур (люцерны и др.).

Собранную после фиторемедиации биомассу важно правильно утилизировать. Растение должно накапливать загрязняющие вещества преимущественно в надземной части, которая легко подлежит удалению и обезвреживанию. На практике это означает, что растения после уборки направляют на высокотемпературное сжигание или термическую переработку (пиролиз, газификация) для полного разрушения нефтяных углеводородов. Недостаточная проработанность вопросов утилизации биомассы является одним из слабых мест фиторемедиации, так как несвоевременное или неправильное удаление загрязнённой растительности может привести к обратному загрязнению среды [6,8].

Применение фиторемедиации в проекте очистки нефтезагрязнённых грунтов имеет свои преимущества и ограничения. Сильной стороной является отсутствие потребности в энергоёмкой технике и химических реагентах: процесс управляется солнечным излучением и естественными ритмами растений, что делает технологию экономичной и устойчивой [3]. Кроме того, зелёный покров растений частично улучшает структуру почвы и возвращает её экологические функции. При оптимальной агротехнике за один вегетационный сезон удаётся снизить концентрацию нефтепродуктов примерно на 70 %, что в сочетании с микробиологической доочисткой даёт ощутимый эффект. К слабостям относится длительность процесса (полная рекультивация может занимать несколько сезонов) и ограниченная глубина очистки (корни большинства трав проникают лишь в верхние слои). Небольшая биомасса и

скорость роста некоторых фиторемедиантов также ограничивают эффективность очистки, особенно при высоких уровнях загрязнения. Следовательно, фиторемедиация целесообразна в комплексе с улучшением условий почвы и биопрепаратами-стимуляторами микробных сообществ, что позволяет компенсировать эти недостатки [6,7].

Таким образом, фиторемедиация нефтезагрязнённых почв представляет собой экологически безопасную и сравнительно экономичную технологию. Она базируется на отборе специализированных растений-фиторемедиантов, способных совместно с корневыми микроорганизмами разрушать нефть. Основные этапы включают предпосадочную подготовку почвы, посев или посадку адаптированных культур (обычно сочетание бобовых и злаковых), уход за ними и последующую утилизацию загрязнённой биомассы. Реализация проекта требует тщательного научного подхода при выборе видов и анализе их поведения в конкретных почвенно-климатических условиях. При правильном комплексе мер фиторемедиация позволяет значительно снизить содержание нефтепродуктов в почве и способствовать восстановлению её плодородия, однако успех проекта во многом зависит от преодоления технических трудностей – долгого срока очистки и выбора способа надёжной утилизации биомассы.

Библиографический список

1. Нафикова Э.В., Шаниязова А.Ф., Александров Д.В., Хужина Р.Р. Геоэкологическая оценка нефтезагрязнённых ландшафтов Республики Башкортостан // Геоинформатика. 2024. № 4. С. 57-69.
2. Fedeli R., Celletti S., Alexandrov D. Biochar-mediated bioremediation: a sustainable strategy to increase *Avena sativa* L. tolerance to crude oil soil contamination // Environmental Science and Pollution Research. 2024. Vol. 31, №. 40. P. 52774-52783.
3. Патент РФ 2403102. Способ фиторемедиации грунта, загрязнённого углеводородами (варианты) / Муратова А.Ю., Бондаренкова А.Д., Голубев С.Н., Панченко Л.В., Турковская О.В. 2010.
4. Быковский Н.А., Пучкова Л.Н., Фанакова Н.Н. Очистка сточных вод от нефтепродуктов отстаиванием // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2022. № 3(137). С. 192-199.
5. Bykovsky N.A., Puchkova L.N., Fanakova N.N. Waste water treatment from oil products by precipitation // Journal of Physics: Conference Series. 2022. Vol. 2388, No. 1. P. 012148.
6. Быковский Н.А., Пучкова Л.Н., Фанакова Н.Н. Очистка сточных вод от нефтепродуктов отстаиванием // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2022. № 3(137). С. 192-199.
7. Филиппов В.В., Семёнова О.Ю. Технология биологической рекультивации нефтезагрязнённого грунта // Альманах современной науки и образования. 2010. № 9 (40). С. 89–91.

8. Растения помогут очистить почву от нефтепродуктов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://xn--80aa3ak5a.xn--p1ai/news/rasteniya-pomogut-ochistit-pochvu-ot-nefteproduktov/>. Дата обращения: 11.11.2025.

© Биктубаев К.А., 2025

УДК 628.3.054

К.А. БИКТУБАЕВ

ker4ik3012@mail.ru

Науч. руковод. – ст. препод. **С.А. МУСИНА**

Уфимский университет науки и технологий

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА РЕШЕНИЙ ПО ОЧИСТКЕ ВОДНОЙ СРЕДЫ ОТ МИКРОПЛАСТИКА: ОТ МОНИТОРИНГА ДО ОЦЕНКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация: в статье рассмотрены подходы к экологической экспертизе технологий очистки водной среды от микропластика. Проанализированы подходы к мониторингу загрязнений, включая источники (очистные сооружения, промышленные сбросы), методы детекции (фильтры НЕРА, спектроскопия) и оценка жизненного цикла технологий (от производства до утилизации), с рекомендациями по снижению вторичного загрязнения. Результаты подчеркивают необходимость интегрированных мер для устойчивого водопользования.

Ключевые слова: микропластик; очистка воды; экологическая экспертиза; мониторинг загрязнений; жизненный цикл технологий; водная среда; устойчивость

Микропластик – это мельчайшие фрагменты пластика (<5 мм), образующиеся при механическом износе и химическом разрушении пластиковых изделий. Эти частицы практически не поддаются биологическому разложению и накапливаются во всех средах: в пресной и морской воде, почве и даже в атмосферном воздухе [1]. Благодаря малым размерам микропластик легко переносится течениями и ветрами, а его поверхность адсорбирует органические и неорганические загрязнители. Исследования показывают, что химические добавки, выщелачивающиеся из микропластика (например, связующие и пластификаторы), могут вызывать нарушения эндокринной системы у рыб и других водных организмов [2].

Ключевым элементом управления микропластиком является его мониторинг и количественная оценка в природе. Оценка загрязнения частицами микропластика включает методологических этапов: отбор проб, экстракцию частиц, химическую идентификацию и количественную оценку. На практике эти процессы выполняются разными способами, что затрудняет

сравнение данных между исследованиями [3]. Ученые применяют комбинацию методов: визуальное сортирование взвесей и донных отложений позволяет быстро выделить крупные частицы, а спектроскопические методы (ИК-спектроскопия, рамановская спектроскопия) или масс-спектрометрия служат для идентификации полимеров в частицах. Каждый из подходов имеет ограничения: визуальный отбор подвержен человеческим ошибкам и затруднён при мелких фракциях, спектроскопия требует дорогостоящего оборудования и много времени на анализ, а наноразмерные частицы зачастую остаются незамеченными стандартными методиками. В экспертных заключениях подчёркивается необходимость открытого описания этих ограничений и диапазонов неопределённости измерений, поскольку они непосредственно влияют на выбор эффективных технологий очистки и интерпретацию результатов.

Источники микропластика в природных экосистемах многочисленны и разнообразны. Различают первичный микропластик, изначально произведённый в виде гранул или волокон, и вторичный, образующийся при разрушении крупных пластиковых изделий. Первичный микропластик включает микрогранулы в косметике и моющих средствах, пластиковые бисеры для пескоструйной обработки, синтетические текстильные волокна и др., которые попадают в окружающую среду напрямую (при стирке, стоке, утечках при производстве). Вторичный микропластик образуется в ходе фрагментации пластикового мусора под воздействием волн, ветра, ультрафиолета и механического трения, когда пакеты, бутылки, одноразовая посуда постепенно распадаются на всё более мелкие частицы [1]. Отдельно выделяют пути поступления через системы водоотведения: несмотря на то, что современные очистные сооружения улавливают значительную часть загрязнений, они не способны полностью удалить микрочастицы из стоков. Например, исследования показали: ниже по течению от сбросов очистных сооружений концентрация микропластика выше, чем выше по течению. Это значит, что очищенные сточные воды — значительный источник микропластика в реках. Для снижения такого воздействия предлагаются мероприятия по улучшению очистки сточных вод, урбанизированных территории, включая оптимизированные схемы [4]. Кроме того, часть микропластика задерживается в осадках сточных вод, которые часто применяются как сельскохозяйственные удобрения, что приводит к его повторному возвращению в почву и водоемы [3].

Очистка воды и воздуха от микропластика требует применения как традиционных, так и новых технологий. В водоочистке наибольшее распространение получили механические методы: решётки и песколовки эффективно задерживают только более крупные частицы, тогда как мелкие частицы проходят дальше по системе. Добавление химических реагентов — коагулянтов и флокулянтов — способствует связыванию более мелких фрагментов в хлопья (коагулянт, но и эта мера далеко не всегда обеспечивает полное удаление микропластика. Наиболее радикальными считаются мембранные процессы (ультрафильтрация, нанофильтрация, обратный осмос),

которые способны отсеивать частицы микропластика практически любого размера. Однако такие технологии критически энергоёмки и образуют концентрат с накопленными загрязнениями, требующий последующей утилизации или обезвреживания. В питьевом водоснабжении в качестве практической меры широко используют системы обратного осмоса: они показывают удаление порядка 99,9 % микропластика и являются «золотым стандартом» для глубокой очистки воды [5]. В технологии очистки воздуха микропластик представляет собой главным образом микроволокна и мелкие частицы, переносимые потоками или оседающие из атмосферы. Очистка воздуха на промышленных объектах традиционно осуществляется с помощью фильтров высокоэффективной очистки (HEPA) и устройств удаления пыли, которые способны задерживать волокнистые частицы микропластика [6]. Таким образом, спектр методов очистки включает как физические барьеры, так и химико-физические подходы, и выбор конкретного решения должен базироваться на оценке эффективности и побочных эффектов (в частности, требований к энергии и обработке осадков). При этом на уровне нормативов и рекомендаций по чистым технологиям (НДТ) отдается предпочтение тем решениям, которые минимизируют общий экологический след очистки (например, комбинированные фильтрационные системы, внедрение возобновляемых источников энергии для насосов и т.д.).

Роль экологической экспертизы в этой системе заключается в проведении комплексной оценки предлагаемых технических решений. Экспертиза должна начинаться с критического анализа методической базы: эксперты описывают не только саму технологию очистки, но и методы мониторинга микропластика, используемые при её обосновании, указывая на диапазон детектируемых размеров частиц и другие ограничения. Затем оцениваются ресурсоёмкость технологии: анализируются энергозатраты, расход реагентов, образование вторичных потоков (осадков, концентратов) и потенциальное загрязнение других сред. Важной частью является анализ жизненного цикла (LCA) – он выявляет «скрытые» нагрузки (например, углеродный след производства оборудования, энергопотребление в эксплуатации, долговременную экотоксичность удаляемых осадков). Также учитываются социально-экономические факторы – стоимость внедрения и обслуживания системы, её надёжность и приемлемость для коммунального предприятия. Все собранные данные обобщаются в выводах экспертизы с чётким указанием областей неопределённости и риска. Пропуск любого из этапов экспертизы может привести к выбору технически эффективной на первый взгляд технологии, которая при масштабировании окажется экономически неустойчивой или экологически необоснованной.

Библиографический список

1. Центр экологических решений. Загрязнение окружающей среды микропластиком [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://eco.peipsi.org/mikroplastik/>. Дата обращения: 11.11.2025.
2. Программа ООН по окружающей среде. Очистные сооружения – неожиданный источник загрязнения микропластиком [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.unep.org/ru/novosti-i-istorii/story/ochistnye-sooruzheniya-neozhidannyu-istochnik-zagryazneniya-mikroplastikom>. Дата обращения: 11.11.2025.
3. Пахомова С.В. Методы исследования загрязнения микропластиком природных вод: современное состояние и рекомендации // Журнал океанологии и лимнологии. 2024. Т. 52, № 1. С. 5–14.
4. Мусина С.А., Зубаиров Н.Р. Разработка мероприятий по снижению воздействия сточных вод урбанизированной территории на окружающую среду // Наука, образование, производство в решении экологических проблем (Экология-2020): материалы XVI Международной научно-технической конференции, в 2-х томах, посвящается 75-летию Победы в Великой Отечественной войне, Уфа, 22 апреля 2020 года. Том 1. Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2020. – С. 333-337.
5. Экодар. Микропластик в питьевой воде [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ekodar.ru/kvartiry/water-wiki/o-filtrah/mikroplastik-v-pitevoy-vode/>. Дата обращения: 11.11.2025.
6. Sustainability Directory. Какие технологии могут обнаруживать микропластик? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pollution.sustainability-directory.com/question/what-technologies-can-detect-microplastics/>. Дата обращения: 11.11.2025.

© Биктубаев К.А., 2025

И.А. БИЛАЛОВ

bilalovilnaz790@gmail.com

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **К.Е. БОНДАРЬ**

Уфимский университет науки и технологий

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНЫХ УСЛОВИЙ ТРУДА НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ ЭЛЕКТРОГАЗОСВАРЩИКА

Аннотация: в статье рассматриваются вопросы обеспечения безопасных условий труда на рабочем месте электрогазосварщика в строительной организации ООО «СтройГазМонтаж». Проведен анализ системы управления охраной труда, идентифицированы основные опасные и вредные производственные факторы, разработан комплекс мероприятий, направленных на снижение уровней воздействия вредных факторов.

Ключевые слова: охрана труда; электрогазосварщик; условия труда; опасные производственные факторы; вредные производственные факторы; специальная оценка условия труда; сварочный аэрозоль; шум; средства индивидуальной защиты

Современная строительная отрасль характеризуется широким применением технологических процессов, связанных с монтажом и сваркой металлоконструкций. Профессия электрогазосварщика является одной из ключевых в этой сфере, однако ее деятельность сопряжена с воздействием комплекса опасных и вредных производственных факторов, создающих повышенные профессиональные риски. К ним относятся интенсивное световое и тепловое излучение сварочной дуги, выделение сварочного аэрозоля и газов, повышенный уровень шума, вибрация, риск поражения электрическим током и получения ожогов, а также значительные физические нагрузки. Обеспечение условий труда для данной категории работников является не только требованием законодательства [1], но и ключевым фактором в предотвращении производственного травматизма и профессиональных заболеваний.

Производственный травматизм представляет собой совокупность травм и повреждений, полученных работниками в процессе трудовой деятельности в результате несоблюдения требований охраны труда, нарушения технологических регламентов или неосторожных действий. Анализ производственного травматизма позволяет обоснованно разрабатывать мероприятия по устранению причин несчастных случаев и определять приоритетные направления работы по повышению уровня безопасности и улучшению условий труда.

В ООО «СтройГазМонтаж» проводится систематический учёт и анализ всех несчастных случаев, связанных с производственной деятельностью. На

рис. 1 приведена сводная информация о динамике производственного травматизма на предприятии за 2016-2023 годы.



Рис. 1. Статистика производственного травматизма в ООО «СтройГазМонтаж» за 2016-2023 годы

Из данных видно, что в отдельные годы, такие как 2018 и 2022, травматизм отсутствовал, что свидетельствует о положительной тенденции в сфере обеспечения безопасности труда. В то же время в 2017 году наблюдалось увеличение числа травм средней тяжести, связанных в основном с нарушением правил техники безопасности и неиспользованием средств индивидуальной защиты. В 2016 и 2020 годах были зафиксированы случаи тяжёлого травматизма, один из которых завершился летальным исходом. Это подчёркивает, что даже при наличии системы охраны труда необходим постоянный контроль и профилактическая работа среди работников.

На рис. 2 представлены основные причины возникновения производственных травм на предприятии.



Рис. 2. Основные причины производственного травматизма на предприятии

Проведённый анализ показывает, что основной причиной несчастных случаев остаётся личная неосторожность работников, пренебрежение мерами безопасности и нарушение технологической дисциплины. Дополнительными факторами являются износ оборудования, недостаточная освещённость рабочих зон, а также несвоевременное проведение инструктажей и проверок знаний по охране труда.

Для профессии электрогазосварщика характерны такие виды травм, как ожоги различной степени тяжести, поражения электрическим током, травмы глаз от воздействия яркого излучения сварочной дуги, а также повреждения рук и ног при работе с металлическими конструкциями. Кроме того, при длительной работе в неудобных позах возможно перенапряжение опорно-двигательного аппарата, что также относится к числу профессиональных рисков.

Рабочее место электрогазосварщика оснащено основным и вспомогательным оборудованием, обеспечивающим выполнение технологического процесса. Основное оборудование: сварочный аппарат (инверторный/ трансформаторный), газовые баллоны (кислородный, ацетиленовый или пропановый) и редукторы, горелка или сварочный держатель, кабели питания и заземления, защитные экраны и щиты, передвижной стол или рабочая платформа для сварочных операций и т.д.

В процессе сварки работник подвергается воздействию повышенной температуры, яркого светового излучения, аэрозолей сварочного дыма, шума, искр и открытого пламени, что при отсутствии мер защиты может негативно влиять на здоровье и безопасность [1]. Шум – это совокупность звуков различной интенсивности и частоты, возникающих в производственной среде и оказывающих негативное влияние на организм человека. Длительное воздействие производственного шума приводит к снижению работоспособности, развитию профессиональных заболеваний слухового

аппарата, повышенной утомляемости и увеличению риска травматизма.

Основными источниками шума на рабочем месте электрогазосварщика являются: аппараты дуговой сварки; газорезательное оборудование; углошлифовальные машины (болгарки); компрессоры и вентиляционные установки производственного цеха; околостapelные металлические конструкции, усиливающие виброшум [2]. В таблице 1 приведены результаты измерения уровня шума на рабочем месте электрогазосварщика по данным проведения специальной оценки условий труда.

Таблица 1

Уровень шума на рабочем месте электрогазосварщика

Параметр	Значение
Характер шума	Постоянный
Значение эквивалентного уровня звука, дБА	92
ПДУ, дБА	85
Превышение ПДУ	7
Класс условий труда	3.1

Согласно данным таблицы 1, условия труда по фактору шума относятся к классу 3.1 – вредные. Эквивалентный уровень звука превышает допустимые значения на 7 дБА. Это соответствует требованиям СанПиН 1.2.3685-21 и ФЗ-426 «О специальной оценке условий труда».

В соответствии со статьёй 221 Трудового кодекса Российской Федерации работодатель обязан обеспечивать работников, занятых на работах с вредными и опасными условиями труда, сертифицированными средствами индивидуальной защиты (СИЗ). Выдача средств защиты, их чистка, ремонт и замена выполняются за счёт работодателя. Электрогазосварщик относится к категории работников с воздействием вредных производственных факторов (сварочный аэрозоль, повышенная температура, брызги металла, ультрафиолетовое излучение, шум), поэтому обеспечение соответствующими СИЗ является обязательным условием безопасной работы. Средства индивидуальной защиты должны соответствовать требованиям охраны труда, иметь сертификаты соответствия и подвергаться регулярному осмотру. Спецодежда и СИЗ подлежат централизованной стирке, сушке, ремонту и, при необходимости, замене.

Таким образом, проведенное исследование условий труда электрогазосварщика в ООО «СтройГазМонтаж» позволило выявить комплекс вредных и опасных производственных факторов, формирующих профессиональные риски для работников данной профессии. Анализ данных специальной оценки условий труда показал, что рабочее место электрогазосварщика характеризуется:

Превышение допустимых уровней шума (92 дБА при норме 85 дБА).

Значительным физическим нагрузками и вынужденными рабочими позами.

Статистика произведенного травматизма предприятия демонстрирует необходимость постоянного контроля и совершенствования системы охраны

труда, поскольку основными причинами несчастных случаев остаются нарушения требований безопасности и недостаточное использование средств индивидуальной защиты.

Библиографический список

1. ГОСТ 12.1.003-2014 «Шум. Требования безопасности».
2. Кондратьев В.С., Умаралиев С.А., Лапонов С.В. Исследование рабочих характеристик центробежных насосов // Естественные и технические науки. 2024. № 7(194). С. 152-154

© Билалов И.А., 2025

УДК 331.45

К.Е. БОНДАРЬ

Kristina88_08@mail.ru

Уфимский университет науки и технологий

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ РОТОРНО-ДИСКОВЫХ СМЕСИТЕЛЕЙ

Аннотация: в статье проведен анализ специфических опасностей, возникающих при эксплуатации роторно-дисковых смесителей в условиях нефтегазового и химического производств. На основе анализа последних научных исследований в области конструктивных особенностей и рабочих характеристик оборудования предложена комплексная многоуровневая модель безопасности. Особое внимание уделено взаимосвязи параметров технологического процесса и рисков возникновения аварийных ситуаций.

Ключевые слова: роторно-дисковый смеситель; промышленная безопасность; функциональная безопасность; взрывозащита; блокировочные устройства; риск-ориентированный подход; дисперсный состав; технологическая интенсификация

Роторно-дисковые смесители (РДС) являются критически важным оборудованием в технологических цепочках приготовления буровых растворов, нефтесодержащих эмульсий и модифицированных химических реагентов. Их работа сопряжена с комплексом высоких рисков, обусловленных сочетанным воздействием механических, химических и энергетических факторов. Традиционные подходы к охране труда, фокусирующиеся лишь на механическом травматизме, являются недостаточными. Требуется интеграция принципов функциональной безопасности, учитывающих влияние конструктивных и технологических параметров на потенциальную опасность

оборудования.

Выбор конструкции смесителя напрямую определяет не только его эффективность, но и профиль рисков [1]. Помимо общеизвестных опасностей (механическое травмирование от ротора, выброс материалов), ключевыми являются риски, связанные с дисперсным составом продукта. Исследования показали, что геометрия ротора, зазор между дисками и статором, а также окружная скорость напрямую влияют на дисперсный состав создаваемой эмульсии [2-4]. Формирование высокодисперсных фаз (капель жидкости или твердых частиц) с большой удельной поверхностью значительно повышает пожаровзрывоопасность смеси, особенно при работе с легковоспламеняющимися жидкостями. Следовательно, сам технологический режим, направленный на интенсификацию процесса, может являться источником риска, что требует соответствующего контроля.

Также имеют значение динамические нагрузки и риск механического разрушения. Высокие окружные скорости ротора, необходимые для эффективного диспергирования, создают значительные динамические и циклические нагрузки на элементы конструкции. Это повышает риск усталостного разрушения вала, дисков или крепежных элементов, что может привести к катастрофическому выходу оборудования из строя и разгерметизации корпуса [5].

Интенсификация процесса смешивания за счет перевода значительной части механической энергии в тепловую, особенно при использовании дополнительных методов, таких как ультразвуковая кавитация [3], может привести к перегреву продукта, его термическому разложению или воспламенению.

С учетом выявленных рисков, система инженерной защиты должна быть расширена. Для смесителей, работающих с взрывоопасными средами, обязательным становится не только использование взрывозащищенных электродвигателей, но и оснащение корпуса взрывными клапанами сброса давления, системами подачи инертного газа (азота) и искробезопасным исполнением всего контрольно-измерительного оборудования.

Система безопасности должна включать датчики контроля температуры подшипниковых узлов и продукта, давления внутри камеры, уровня вибрации и силы тока электродвигателя. Превышение установленных пороговых значений должно не просто сигнализировать, а инициировать автоматический останов по алгоритмам, основанным на анализе зависимостей «параметр-время».

Механические блокировки люков должны быть дополнены датчиками положения с дублирующими каналами, интегрированными в систему управления, относящуюся к категории функциональной безопасности. Это исключает возможность несанкционированного доступа при наличии остаточной энергии или давления в системе.

Технологические инструкции должны содержать не только последовательность операций, но и жестко регламентированные параметры (скорость вращения, температура, длительность цикла) для различных

процессов [3]. Это позволяет минимизировать вероятность возникновения рисков.

Помимо обесточивания электропривода, процедура должна включать сброс давления в технологических линиях, отключение и дренирование систем парового обогрева/охлаждения, а также блокировку задвижек на подводящих коммуникациях.

Одним из важных параметров обеспечения безопасности при работе роторно-дисковых смесителей является целевое обучение персонала. Операторы и ремонтный персонал должны понимать физико-химические основы процессов, происходящих в РДС, и осознавать последствия отклонения от регламентов, а не просто механически выполнять инструкции.

Таким образом, обеспечение безопасности роторно-дисковых смесителей в современных промышленных условиях требует перехода от реактивного к проактивному, риск-ориентированному подходу. Как показывают исследования в смежных областях [1, 2, 7, 8], безопасность неотделима от эффективности и надежности технологического процесса. Перспективным направлением является разработка цифровых двойников РДС, которые позволят проводить виртуальные испытания новых режимов работы, прогнозировать износ и моделировать развитие аварийных ситуаций, что в конечном итоге позволит перейти к предиктивной системе управления безопасностью.

Библиографический список

1. Ишбулдин Р.И., Лапонов С.В., Ерушонков А.Н., Иванов С.П. Анализ конструкций смесителей для нефтегазовой промышленности // Естественные и технические науки. 2024. № 7(194). С. 159-161.
2. Шулаева Т.В., Лапонов С.В., Шулаев Н.С., Иванов С.П. Интенсификация экструзионных процессов ультразвуковыми колебаниями // Башкирский химический журнал. 2023. Т. 30, № 4. С. 107-110. DOI 10.17122/bcj-2023-4-107-110.
3. Лапонов С.В., Шулаев Н.С., Ибрагимов И.Г., Иванов С.П. Влияние конструктивных особенностей роторно-дисковых смесителей на дисперсный состав эмульсий // Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина. 2018. № 1(290). С. 72-81.
4. Laponov S., Erushonkov A. Submersible rotor disc mixers // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2023. Vol. 1231, No. 1. P. 012082. DOI 10.1088/1755-1315/1231/1/012082.
5. Кондратьев В.С., Умаралиев С.А., Лапонов С.В. Исследование рабочих характеристик центробежных насосов // Естественные и технические науки. 2024. № 7(194). С. 152-154.
6. Лапонов С.В., Шулаев Н.С., Ибрагимов И.Г., Иванов С.П. Особенности эмульгирования в роторно-дисковых смесителях // Нефтегазовое дело. 2016. Т. 14, № 4. С. 126-129.
7. Лапонов С.В., Шулаев Н.С., Ибрагимов И.Г., Иванов С.П.

Карбонизация содового раствора в роторно-дисковых реакторах // Бутлеровские сообщения. 2018. Т. 53, № 3. С. 118-123.

8. Шулаев Н.С., Лапонов С.В., Ибрагимов И.Г., Иванов С.П. Энергопотребление процессов эмульгирования в малообъемных перемешивающих аппаратах // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. 2025. № 5. С. 254-268. DOI 10.17122/ogbus-2025-5-254-268.

© Бондарь К.Е., 2025

УДК 631.427.2

И.И. ВАЛЕЕВ

azumitoy@gmail.com

Науч. руковод. – асс. **Д.В. АЛЕКСАНДРОВ**

Уфимский университет науки и технологий

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ И ДИАГНОСТИКА НЕФТЕЗАГРЯЗНЁННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Аннотация: в статье рассмотрены современные подходы к геоэкологическому мониторингу нефтезагрязнённых земель. Приведены индикаторные признаки загрязнения, методы дистанционного и лабораторного контроля, структура системы мониторинга и примеры расчёта интегральных показателей. Особое внимание уделено применению ГИС и дистанционного зондирования для пространственного анализа и прогнозирования экологического состояния территорий.

Ключевые слова: нефтезагрязнение; геоэкологический мониторинг; фитоиндикация; интегральный индекс; дистанционное зондирование; ГИС; экологическая диагностика

Развитие нефтедобычи и транспортировки нефти сопровождается регулярным риском аварийных проливов, приводящих к загрязнению почвенно-растительного покрова и деградации экосистем. Устойчивое восстановление нарушенных территорий невозможно без системного геоэкологического мониторинга, направленного на выявление динамики нефтяного загрязнения, определение степени трансформации природных компонентов и оценку эффективности восстановительных мероприятий.

Современный мониторинг требует перехода от локальных лабораторных измерений к интегрированным технологиям, объединяющим биоиндикационные, геофизические и дистанционные методы, что позволяет проводить пространственно-временной анализ состояния территорий и прогнозировать тенденции их изменений [1,2].

Попадание нефти в почву вызывает цепочку геоэкологических изменений, затрагивающих физические, химические и биологические свойства

природных компонентов.

Основные последствия:

нарушение структуры почвенного профиля и снижение водопроницаемости;

формирование токсичных пленок, препятствующих аэрации и инфильтрации;

угнетение микробиоты и снижение ферментативной активности;

деградация растительного покрова и изменение биоценоотического состава.

Эти процессы (таблица 1) носят пространственно неравномерный характер, что требует использования геоинформационных и дистанционных технологий для построения карт загрязнения и оценки риска деградации территорий.

Таблица 1

Основные геоэкологические последствия нефтяного загрязнения почв

Компонент среды	Изменения	Экологические последствия
Почва	Повышение плотности, гидрофобизация, изменение pH	Снижение влагоёмкости, деградация структуры
Растительность	Угнетение роста, хлороз листьев, гибель корней	Снижение продуктивности и биоразнообразия
Воды	Загрязнение нефтепродуктами, нарушение самоочищения	Эвтрофикация, токсическое воздействие на гидробионтов
Атмосфера	Испарение углеводородов, выброс паров нефти	Загрязнение воздуха, формирование токсичных аэрозолей

Для экспресс-диагностики нефтезагрязнённых земель используются фитоиндикационные, микробиологические и физико-химические показатели.

Фитоиндикационные признаки:

снижение густоты и высоты травостоя;

побурение и некроз листьев;

уменьшение содержания хлорофиллов а и b;

изменение индексов вегетации (NDVI, GNDVI, SIPI).

Микробиологические индикаторы:

сокращение численности сапротрофной микрофлоры;

повышение доли углеводородокисляющих бактерий;

снижение активности дегидрогеназ и каталазы.

Физико-химические индикаторы:

повышение содержания нефтепродуктов, хлоридов, фенолов;

отклонение pH от нейтрального значения;

увеличение электропроводности почвенного раствора.

В совокупности эти показатели формируют систему интегральной оценки степени загрязнения, используемую в полевых и лабораторных исследованиях.

Одним из наиболее эффективных направлений современного

геоэкологического мониторинга является использование дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и геоинформационных систем (ГИС) [3].

Методы ДЗЗ позволяют выявлять нефтяные загрязнения по спектральным признакам отражения растительного покрова и поверхности почвы. Наиболее информативными считаются:

индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) — оценивает фотосинтетическую активность;

индекс NBR (Normalized Burn Ratio) — отражает деградацию растительности;

индекс GCI (Green Chlorophyll Index) — чувствителен к изменениям содержания хлорофилла.

На основе ГИС-технологий осуществляется:

пространственное моделирование распределения загрязнения;

построение карт концентраций нефтепродуктов;

выделение зон высокого и умеренного риска деградации;

анализ зависимости загрязнения от рельефа, почвенного типа и антропогенной нагрузки.

Для количественного анализа состояния нефтезагрязнённых земель применяются интегральные геоэкологические индексы, объединяющие разнородные показатели в единую оценочную шкалу.

Примеры индексов:

ИЗН (индекс загрязнения нефтью) — отношение содержания нефтепродуктов к пороговому значению;

ИФП (интегральный фитотоксический показатель) — среднее значение отклонений морфометрических параметров растений от контроля;

ИЭГ (интегральный экологический градиент) — учитывает химические и биологические факторы, влияющие на восстановление почв.

Дальнейшее совершенствование мониторинга нефтезагрязнённых территорий связано с:

использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с мультиспектральными камерами;

внедрением спутников Sentinel, Landsat, PlanetScope для регулярного контроля состояния растительности;

интеграцией наземных сенсоров (влажность, электропроводность, газоанализаторы);

созданием интеллектуальных систем прогнозирования на основе нейросетевого анализа и машинного обучения.

Такие решения обеспечивают оперативное выявление новых очагов загрязнения и оптимизацию мероприятий по биологической рекультивации.

Геоэкологический мониторинг нефтезагрязнённых земель представляет собой комплексную систему наблюдения, включающую физико-химические, биологические и дистанционные методы диагностики. Интеграция ГИС, фитоиндикации и инструментальных данных позволяет получать пространственно распределённые оценки загрязнения и отслеживать

эффективность рекультивации. Развитие автоматизированных систем наблюдения и прогнозирования создаёт предпосылки для перехода к экологически ориентированному управлению территориальными ресурсами.

Библиографический список

1. Геоэкологическая оценка особенностей фиторемедиации при использовании *Falloria sachalinensis* в условиях антропогенного загрязнения тяжелыми металлами почв Башкирского Зауралья / Е.Н. Елизарьева, А.А. Фахертдинова, А.Н. Елизарьев [и др.] // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2022. Т. 42. С. 41-57. DOI 10.26516/2073-3402.2022.42.41.

2. Анализ аварий на объектах нефтепереработки и нефтепродуктообеспечения / Д. А. Тараканов, Д. А. Тараканов, А. Н. Елизарьев, П. А. Михайлов // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2018. Т. 1. С. 637-640.

3. Системный подход к рекультивации нефтезагрязненных территорий с учетом геоэкологической дифференциации (на примере Республики Башкортостан) / Д. В. Александров // Экология промышленного производства. 2025. № 3(131). С. 20-26. DOI 10.52190/2073-2589_2025_3_20.

© Валеев И.И., 2025

УДК 331.45

А.Р. ВАЛИЕВ

aidar.2002@internet.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **Э.С. НАСЫРОВА**

Уфимский университет науки и технологий

ОХРАНА ТРУДА БУРИЛЬЩИКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО БУРЕНИЯ СКВАЖИН НА НЕФТЬ И ГАЗ

Аннотация: в данной статье рассмотрены особенности работы бурильщика, опасные и вредные производственные факторы, воздействующие на него.

Ключевые слова: бурение; нефть; газ; скважина.

В современном мире, где добыча нефти и газа играет ключевую роль в экономике многих стран, вопросы охраны труда становятся особенно актуальными. Бурение скважин – это сложный и опасный процесс, требующий высокой квалификации и строгого соблюдения норм безопасности. На бурильщика буровой установки в процессе деятельности воздействуют различные производственные факторы: химические вещества, шум, вибрация,

неблагоприятный микроклимат и т.д. Значения этих факторов изменяются в течении смены и могут превышать предельно допустимые величины.

Условия труда и состояние здоровья бурильщиков оценивается по производственному травматизму и профессиональной заболеваемости по которым проводится оценка профессионального риска. Профессиональные заболевания у бурильщиков проявляются по истечении нескольких лет и чаще десятилетий, основные из них заболевания опорно-двигательного аппарата, бронхолегочной системы, патологии периферической нервной системы. Уровень производственного травматизма определяется текущим состоянием условий и безопасности труда, характером выполняемой работы и организацией трудового процесса.

Наибольшую опасность для персонала представляют:

- опасность травмирования, в том числе в результате выброса подвижной обрабатываемой детали, а также падающими или выбрасываемыми предметами, движущимися частями оборудования. Например, 24 марта 2014 года на Новошешминском месторождении нефти в процессе бурения скважины произошла авария на буровой установке. При подъеме с подсвечника утяжеленной бурильной трубы произошло падение вышки буровой установки. Технической причиной является установка якорей ветровых оттяжек с нарушением требований руководства по эксплуатации.

- опасность раздавливания, в том числе из-за попадания под движущиеся части механизмов;

- затягивание, защемление, сдавливание, удары, разрывание;

- проскальзывание, спотыкание.

Данные по смертельным травмам на объектах нефтегазодобычи приведены на рис. 1.

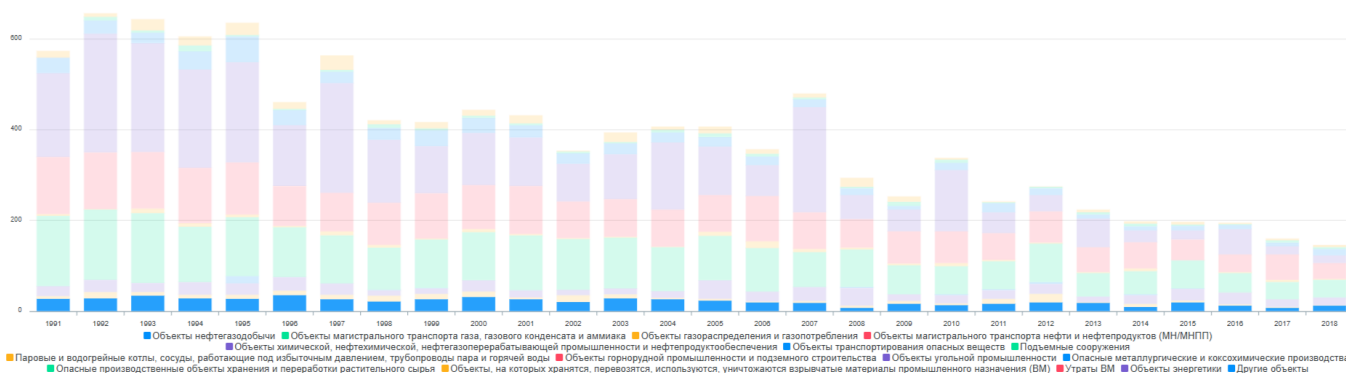


Рис. 1. Динамика смертельных травм на промышленных объектах [3]

Как видно из рис. 1, на объектах нефтегазодобычи ежегодно случаются смертельные травмы.

Бурильщик – это специалист, занимающийся бурением скважин на различных глубинах с целью добычи полезных ископаемых (нефть, газ), изучения геологического строения недр, добычи воды или проведения других геологических и инженерных работ, что определяет специализацию

бурильщиков. Бурильщики могут специализироваться в разных областях в зависимости от типа бурения, используемого оборудования и целей добычи, например, бурильщик нефтяных, газовых, артезианских, геологических разведочных и геотермальных скважин, морских и океанических платформ.

Бурильщик управляет и обслуживает буровое оборудование, контролирует процесс бурения и гарантирует его безопасное выполнение. Рабочие места бурильщика обычно располагаются в кабине и на роторной площадке буровой установки. В кабине бурильщик управляет буровой установкой, кроме того она защищает его от воздействия окружающей среды. В кабине размещаются органы управления и контрольно-измерительные приборы для оперативного дистанционного управления механизмами и агрегатами буровой установки, а также аппаратура видео наблюдения и связи.

По результатам аттестации рабочих мест бурильщику эксплуатационного бурения скважин на нефть и газ 6 разряда выявлены превышения по уровню шума, общей вибрации и установлен класс условий труда – вредный 3.2.

Кроме опасных и вредных производственных факторов, воздействующих на бурильщика в штатном режиме, на него могут воздействовать и поражающие факторы аварийных ситуаций. На объектах нефтегазодобычи ежегодно возникают аварии [4,5].

Аварии, возникающие при бурении, условно объединяют в несколько групп: аварии с долотами; аварии с бурильными трубами; аварии с забойными двигателями и аварии с обсадными колоннами. Как правило, аварийные ситуации на объектах нефтегазодобычи сопровождаются взрывом, пожаром, выбросом опасных веществ и фонтанированием нефти или газа с последующим воспламенением. Например, 10 августа 2018 года на Ван-Еганском месторождении при производстве работ по бурению скважины произошло нефтегазоводопроявление, с последующим возгоранием, в результате аварии пострадало 8 человек из них 1 смертельно. Техническими причинами аварий явились – уменьшение гидростатического давления столба раствора из-за падения уровня в скважине в результате недостаточного долива бурового раствора в скважину; несоблюдение требований промышленной безопасности, предъявляемых к подъему бурильной колонны, кроме того противовыбросовое оборудование не обеспечило герметизацию затрубного пространства.

Таким образом, деятельность бурильщика эксплуатационного бурения скважин на нефть и газ как в штатном, так и в аварийной режиме функционирования буровой вышки сопряжена с опасностями. В связи с этим обеспечение безопасных условий труда является не только обязанностью работодателя, но и важной составляющей эффективной работы всей нефтегазодобывающей отрасли.

Библиографический список

1. Амангильдин М.А., Насырова Э.С. Аварийные ситуации в нефтеперерабатывающей отрасли // Гражданская оборона и природно-

технические системы: Сборник статей по материалам XX Международной научно-практической конференции, Воронеж, 21 марта 2024 года. Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2024. С. 46-48.

2. Кальсин Н.А., Насырова Э.С. Мероприятия по ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации: материалы IX международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Москва, 19–20 марта 2024 года. Москва: Академия Государственной противопожарной службы, 2024. С. 95-97.

3. Реестр аварий и несчастных случаев [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.safety.ru/accidents/#/>. Дата обращения: 09.11.2025.

4. Мухаметзянов М.М., Ерушонков А.Н., Лапонов С.В. Техническое диагностирование и расчёт остаточного ресурса оборудования // Естественные и технические науки. 2025. № 9(208). С. 149-152.

5. Ишбулдин Р.И., Лапонов С.В., Ерушонков А.Н., Иванов С.П. Анализ конструкций смесителей для нефтегазовой промышленности // Естественные и технические науки. 2024. № 7(194). С. 159-161.

© Валиев А.Р., 2025

УДК 614.777

А.Р. ГАФУРОВА

alinagafurova00@mail.ru

Науч. руковод. – канд. геогр. наук, доцент **Э.В. НАФИКОВА**

Уфимский университет науки и технологий

ГЕОТУБЫ КАК ЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ И УТИЛИЗАЦИИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ: ОБЗОР РОССИЙСКОГО И ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА

Аннотация: в статье представлен комплексный анализ применения технологии геотубов для обезвоживания и утилизации донных отложений. Рассмотрены принципы работы технологии, ее ключевые преимущества перед традиционными методами. Проведен обзор международного опыта использования геотубов в проектах очистки водоемов, портовых акваторий и рекультивации земель. Особое внимание уделено особенностям и перспективам внедрения данной технологии в Российской Федерации, включая анализ нормативно-технической базы и наиболее значимых проектов. Сделан вывод о высокой эффективности, экономической и экологической целесообразности технологии геотубов для решения задач водоочистки.

Ключевые слова: геотубы; обезвоживание; донные отложения; утилизация; очистка водоемов; геосинтетические материалы

Актуальность проблемы очистки водоемов от донных отложений не

вызывает сомнений. Накопление донных осадков, часто загрязненных тяжелыми металлами, нефтепродуктами и другими поллютантами, приводит к деградации водных экосистем, ухудшению качества воды и заиливанию судоходных путей [1]. Особую остроту эта проблема приобретает в контексте ликвидации накопленного экологического ущерба, что подтверждается региональными исследованиями состояния водных ресурсов [8], в таких объектах, где донные отложения характеризуются экстремально высоким уровнем загрязнения.

Традиционные методы обезвоживания, такие как использование иловых карт, обладают рядом существенных недостатков: большие площади отчуждаемых земель, длительные сроки обезвоживания, риски фильтрации загрязняющих веществ в грунтовые воды. В этом контексте технология геотубов предлагает инновационное, компактное и эффективное решение [2].

Цель данного обзора – систематизировать российский и зарубежный опыт применения технологии геотубов для обезвоживания донных отложений, оценить ее эффективность, экологические и экономические аспекты.

Технология геотубов основана на принципе фильтрационного обезвоживания под давлением. Геотубы представляют собой контейнеры из высокопрочного геотекстиля, который выполняет роль фильтрующей и армирующей конструкции [3]. Технологический процесс включает следующие этапы:

Подготовка пульпы: Донные отложения разрабатываются земснарядом и превращаются в гидросмесь с концентрацией твердого вещества 5-15%.

Обработка флокулянтами: для повышения эффективности обезвоживания применяются катионные полиэлектролиты (полиакриламиды) в дозировке 0,2-1,0 кг на тонну сухого вещества.

Наполнение геотубов: пульпа извлеченного донного грунта подается в геотубы под давлением 0,5-0,7 бар. Происходит многоточечный ввод для равномерного распределения [2].

Многостадийное обезвоживание: первичная стадия - гравитационный сток (1-7 дней); вторичная стадия – консолидация под собственным весом (2-4 недели); третичная стадия – естественное испарение и биологическая нейтрализация.

Утилизация осадка: Обезвоженный материал (с содержанием сухого вещества 40-60%) используется для технической рекультивации или размещается на полигонах [4].

Ключевые требования к геотекстилю:

Прочность на растяжение: 50-100 кН/м.

Размер пор (AOS): 50-150 микрон.

Стойкость к УФ-излучению и химическая инертность.

Технология геотубов успешно применяется worldwide более 30 лет. Наиболее значимые проекты:

Северная Америка: проекты «Great Lakes Restoration Initiative» (США/Канада): очистка донных отложений, загрязненных ПХБ. Объем

обработанных осадков – свыше 500,000 м³; Порт Сиэтла (США): регулярное использование геотубов для обслуживания портовых акваторий привело к снижению затрат на утилизацию на 60%.

Европа: проект «Room for the River» (Нидерланды): Комплексное использование геотубов при углублении русел рек. Обезвоженный материал применяется для укрепления дамб; порт Гамбурга (Германия): была введена инновационная система замкнутого цикла с рециркуляцией фильтрата.

Азия: проект «Four Major Rivers Restoration» (Южная Корея): национальная программа, где проводилась обработка более 2 млн м³ донных отложений.

В России технология геотубов находит все более широкое применение, особенно в рамках реализации национального проекта «Экология». Ключевые реализованные проекты:

1. Очистка озер в ХМАО-Югра (2013-2015 гг.): обработано 44 геотуба объемом 1000 м³ каждый, исходная концентрация нефтепродуктов: 1,121-300,000 мг/кг, снижение содержания нефтепродуктов на 80,6-97,5%. Площадь технологической площадки 1 га (против 10-15 га для иловых карт) [5].

2. Очистка водоемов Пермского края: удаление тяжелых металлов из донных отложений, использование обезвоженного материала для технической рекультивации.

3. Проекты в Москве и Санкт-Петербурге: очистка городских прудов и рек, применение мобильных комплексов в условиях плотной городской застройки.

Технология обезвоживания и нейтрализации донных грунтов (донных отложений) с использованием геосинтетических контейнеров (геотубов) представляет собой комплексный процесс, сочетающий механическое обезвоживание и биологическую нейтрализацию загрязняющих веществ [7].

Сравнительный анализ эффективности технологии обезвоживания с помощью геотубов по сравнению с традиционным методом в иловых картах представлен в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ эффективности технологии обезвоживания с помощью геотубов по сравнению с традиционным методом в иловых картах

Критерий	Традиционный метод (иловые карты)	Технология Геотубы
1	2	3
Площадь под обезвоживание	Очень большая (гектары)	В 3-10 раз меньше
Сроки обезвоживания	От 1 до 3 лет	От 3 до 12 месяцев
Экологическая безопасность	Риск фильтрации, запахи, пыление	Закрытая система, контролируемый сброс фильтрата
Затраты на эксплуатацию	Высокие (перекачка, содержание карт)	Ниже (меньше площади, ниже энергозатраты)

1	2	3
Универсальность	Привязана к месту расположения карт	Мобильность, можно разместить у уреза воды
Качество обезвоженного продукта	Зависит от времени выдержки	Более стабильный и предсказуемый результат
Капитальные затраты	От низких до средних. Не требуются дорогостоящие материалы (геотекстиль), только планировка территории и сооружение дамб.	От средних до высоких. Значительные затраты на закупку самих геотубы и систем подачи с флокулянтами.
Простота технологии	Высокая. Не требует глубоких специальных знаний для эксплуатации. Процесс понятен и визуально контролируем.	Средняя. Требуется точного расчета доз флокулянтов, подбора геотекстиля и контроля на этапе наполнения.
Применимость для разных типов грунтов	Широкая. Подходит для большинства типов мелкодисперсных грунтов, хотя для илистых частиц время обезвоживания резко возрастает.	Требуется подготовки. Высокоэффективна для грунтов с добавлением флокулянтов. Без них может быть неэффективна для очень мелких частиц (илы, глины).
Опыт применения и нормативная база	Очень высокий. Метод хорошо изучен, имеет длительную историю применения и устоявшиеся нормы проектирования.	Развивающийся. Технология новая для многих регионов, нормативная база находится в стадии формирования, что может затруднять согласование.

Традиционный метод (иловые карты) сохраняет свои позиции там, где есть в избытке свободная и дешевая земля, проект имеет неограниченные сроки, а капитальные инвестиции необходимо минимизировать. Его простота и предсказуемость в рамках устоявшихся норм также являются его сильной стороной для небольших или разовых проектов.

Технология геотубы демонстрирует свои ключевые преимущества в условиях ограниченного пространства (городские водоемы, порты), жестких экологических требований и сжатых сроков. Несмотря на более высокие первоначальные затраты, она часто оказывается экономически выгоднее в целом за счет снижения эксплуатационных расходов и стоимости утилизации.

Для широкого внедрения технологии геотубов в России необходимо:

Разработка нормативной базы:

отраслевых стандартов;

методик расчета и проектирования;

типовых технических решений.

Научно-исследовательские работы:

изучение эффективности различных флокулянтов для российских условий;

разработка реагентов для работы в соленой морской воде;

исследование долгосрочной прочности геосинтетических материалов.

Организационные мероприятия:

создание пилотных проектов в различных регионах;

подготовка специалистов;

развитие отечественного производства материалов и оборудования.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о высокой эффективности технологии геотубов для обезвоживания и утилизации донных отложений. Преимущества технологии – компактность, скорость, экологичность и экономическая целесообразность – делают ее предпочтительной альтернативой традиционным методам.

Зарубежный опыт демонстрирует успешность технологии в различных условиях. Российская практика подтверждает ее потенциал для решения задач национального проекта «Экология». Технология геотубов соответствует принципам наилучших доступных технологий и является перспективным инструментом для восстановления водных объектов России. Дальнейшее повышение эффективности технологии может быть связано с интеграцией систем мониторинга и управления на основе искусственного интеллекта для прогнозирования хода обезвоживания и оптимизации реагентного режима [6].

Библиографический список

1. Нафикова Э.В., Дорош И.В., Александров Д.В. Оценка геоэкологических процессов количественного истощения водных ресурсов Республики Башкортостан // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2020. № 9(188). С. 73-79.

2. Фахертдинова А.А., Елизарьева Е.Н., Мифтахова А.М., Тараканов Д.А. Оценка состояния водных ресурсов в Республике Башкортостан // Наука, образование, производство для противодействия техногенным угрозам и решения экологических проблем (Техносферная безопасность-2023): материалы XX Международной научно-практической конференции, Уфа, 30–31 мая 2023 года. 2023. С. 207-213.

3. Быковский Н.А., Пучкова Л.Н., Фанакова Н.Н. Очистка сточных вод от нефтепродуктов отстаиванием // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2022. № 3(137). С. 192-199. DOI 10.17122/ntj-oil-2022-3-192-199.

4. Bykovsky N.A., Puchkova L.N., Fanakova N.N. Waste water treatment from oil products by precipitation // Journal of Physics: Conference Series. 2022. Vol. 2388, No. 1. P. 012148. DOI 10.1088/1742-6596/2388/1/012148.

5. Семенов Д.А., Клевеко В.И. Использование геосинтетических оболочек

для очистки водоемов Пермского края от донных отложений // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2018. №. 2. С. 74-85.

6. АО «Экохим-проект». Проект ликвидации объекта накопленного вреда окружающей среде. Инженерная и транспортная инфраструктура системы удаления и обезвоживания донных отложений оз. Здохня и Верх-Исетского пруда. Проектная документация. Раздел 12.2 «Оценка воздействия на окружающую среду». 123/18-ОВОС. Том 12.2. Книга 1. Текстовая часть. Екатеринбург, 2018. 138 с.

7. Шаниязова, А. Ф., Нафикова, Э. В. Роль геохимических барьеров в защите окружающей среды// Мавлютовские чтения: материалы XVII Всероссийской молодежной научной конференции. В 9-ти томах, Уфа, 21–23 ноября 2023 года. 2024. С. 92-96.

8. Nafikova E., Aleksandrov D., Shaniyazova A., Bondar Ch. Hydroecological data recovery using artificial intelligence// E3S Web of Conferences : International Scientific and Practical Conference «Development and Modern Problems of Aquaculture» (AQUACULTURE 2022), Divnomorskoe village, Krasnodar region, Russia, 26 сентября – 02 2022 года. Vol. 381. – EDP Sciences: EDP Sciences, 2023. – P. 01036.

© Гафурова А.Р., 2025

УДК 631.8

А.Р. ГАФУРОВА

alinagafurova00@mail.ru

Науч. руковод. – канд. геогр. наук, доцент **Э.В. НАФИКОВА**

Уфимский университет науки и технологий

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ДОННЫХ ГРУНТОВ

Аннотация: в данной статье рассматриваются существующие технологии обращения с загрязненными донными отложениями, проведен сравнительный анализ их эффективности, экономической и экологической целесообразности. Проведен комплексный анализ современного состояния проблемы утилизации донных грунтов. На основе анализа сформулированы рекомендации по выбору оптимальных методов утилизации для различных условий.

Ключевые слова: донный грунт; донные отложения; дноуглубительные работы; утилизация донных грунтов; дампинг; оздоровление водных объектов

Интенсификация судоходства, развитие портовой инфраструктуры, строительство прибрежных сооружений и необходимость поддержания судоходных глубин обуславливают ежегодный объем дноуглубительных работ

в мире, исчисляемый сотнями миллионов кубометров. Извлечение донных грунтов (ДГ) порождает сложную экологическую, техническую и экономическую проблему их последующей утилизации. Исторически сложившимся и наиболее распространенным методом являлось размещение грунтов в специально отведенных морских полигонах. Однако по мере накопления данных о негативных последствиях этой практики, таких как вторичное загрязнение водной среды, деградация донных биоценозов и накопление токсичных веществ в трофических цепях, подход к утилизации ДГ претерпел значительные изменения [1]. Современное состояние проблемы характеризуется тремя взаимосвязанными тенденциями: ужесточением законодательства, развитием методов точной идентификации грунтов и активным поиском альтернативных, экологически безопасных и ресурсоэффективных технологий их переработки и использования.

Правовой статус донных грунтов в Российской Федерации определяется их планируемым способом использования. Согласно сложившейся правоприменительной практике, донный грунт не относится к отходам, если используется в порядке, определённом законодательством Российской Федерации. Однако при отсутствии возможности использования материал классифицируется как отход, что требует соблюдения строгих природоохранных норм. Таким образом, правовой режим обращения с донными грунтами определяется не их происхождением или составом, а планируемым способом использования [2].

Ключевым этапом в процессе утилизации ДГ является их правильная идентификация и классификация – таблица 1. От этого напрямую зависит выбор способа и места размещения, стоимость работ и оценка экологических рисков [3].

Таблица 1

Классификация методов утилизации донных грунтов

Метод	Преимущества	Недостатки	Область применения
1	2	3	4
Захоронение в морской среде (дампинг)	Наименьшая стоимость реализации. Отработанная технологическая схема. Минимальные требования к инфраструктуре.	Риск вторичного загрязнения акватории/ Ограничения международного и национального законодательства. Невозможность применения для загрязненных грунтов. Накопление экологического ущерба.	Незагрязненные донные грунты, соответствующие фоновым концентрациям в районе захоронения.

1	2	3	4
Изолирующие сооружения для отвала грунта (ИСОГ/CDF)	Полная изоляция загрязняющих веществ. Возможность обработки высокотоксичных грунтов. Долговременная экологическая безопасность.	Высокие капитальные затраты. Значительные площади отчуждаемых земель. Длительные сроки реализации проекта.	Сильно загрязненные донные грунты, требующие полной изоляции.
Технология геотубов	Сокращение площади обезвреживания в 3-10 раз. Снижение сроков обезвреживания до 3-12 месяцев. Возможность биологической нейтрализации загрязнений. Мобильность и гибкость применения.	Зависимость эффективности от гранулометрического состава. Необходимость использования реагентов-флокулянтов. Требовательность к квалификации персонала.	Загрязненные донные грунты с содержанием нефтепродуктов и тяжелых металлов.
Физико-химическая промывка	Высокая скорость обработки. Возможность утилизации всех компонентов. Апробированность технологии.	Образование вторичных отходов (промывные воды). Высокие эксплуатационные расходы. Сложность подбора реагентной схемы.	Нефтезагрязненные грунты с возможностью последующей утилизации промывных вод.
Биологическая очистка (биоремедиация)	Экологическая безопасность. Естественное разложение загрязнений. Относительно низкая стоимость.	Длительные сроки обработки. Зависимость от климатических условий. Ограниченная эффективность для стойких загрязнителей.	Органические загрязнения при благоприятных климатических условиях [4].

1	2	3	4
Термические методы	Полное уничтожение органических загрязнителей. Минимальные объемы конечного продукта. Высокая скорость обработки.	Высокие энергозатраты. Риск образования токсичных газов. Значительные капитальные вложения.	Высокотоксичные органические загрязнения.

Наивысшая экологическая безопасность у ИСОГ и геотубов с системой очистки фильтрата, наименьшая у захоронения в морской среде. Наивысшая экономическая эффективность у захоронения, наименьшая у термических методов и физико-химической промывки. Самый универсальный метод – геотубы и ИСОГ.

Для слабозагрязненных грунтов подойдет захоронение в утвержденных морских полигонах или использование в гидронамыве. Для среднезагрязненных грунтов технология геотубов с биологической нейтрализацией или физико-химическая промывка с доочисткой. Для высокотоксичных же грунтов – изолирующие сооружения (ИСОГ) или термические методы обезвреживания.

На международном уровне деятельность регламентируется Лондонской конвенцией 1972 года и Протоколом 1996 года к ней, которые устанавливают принцип предосторожности. В России ключевыми документами являются Федеральный закон № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» и Водный кодекс. Тенденция последних лет – ужесточение требований к получению разрешений на дампинг, особенно для донных отложений, отнесенных к категории отходов.

Исторически сложившейся практикой являлся дампинг – размещение грунтов в морских акваториях. В настоящее время осознание необходимости оздоровления водных объектов заставляет пересматривать устоявшиеся подходы. Современная парадигма управления донными грунтами смещается от их простого удаления к комплексной переработке и полезному использованию, что делает актуальным анализ текущего состояния проблемы, включая методы идентификации, правовые аспекты и перспективные технологии утилизации.

Перспективы решения проблемы видятся в интеграции нескольких направлений: гармонизация нормативно-правовой базы, стимулирование инвестиций в научные исследования и опытно-конструкторские разработки в области альтернативных технологий, а также создание экономических механизмов, делающих переработку и полезное применение донных грунтов финансово привлекательными. Только комплексный подход, рассматривающий донные грунты не как отходы, а как потенциальный ресурс, позволит

обеспечить устойчивое развитие прибрежных территорий и сохранение морских экосистем.

Библиографический список

1. Насырова Э.С. Загрязнение водного объекта асфальтобетонной смесью при ДТП / Э. С. Насырова, А. А. Шарафутдинова // География, экология, туризм: новые горизонты исследований : Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 90-летию создания факультета географии, геоэкологии и туризма ВГУ. В 3-х томах, Воронеж, 10–12 октября 2024 года. Воронеж: Воронежский государственный университет, 2024. С. 186-187.

2. Нафикова Э.В. Инженерная экология / Э.В. Нафикова, Д.В. Александров, К. Е. Бондарь. Уфа : Уфимский университет науки и технологий, 2024. 144 с.

3. Насырова Э.А. оценка безопасности грунтовых плотин / Э.А. Насырова, Э. С. Насырова // Наука, образование, производство для противодействия техногенным угрозам и решения экологических проблем (Техносферная безопасность-2023): материалы XX Международной научно-практической конференции, Уфа, 30–31 мая 2023 года. – Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2023. С. 40-43.

4. Природные нефтесорбенты растительного происхождения и их эффективность (обзор зарубежных работ) / Н.А. Кальсин, Э.С. Насырова, К.Е. Бондарь, Э.В. Нафикова // Вестник евразийской науки. 2024. Т. 16, № 2.

© Гафурова А.Р., 2025

З.В. ГИЛЕВА

gilyovazlata@yandex.ru

Науч. руковод. – ст. препод. **С.А. МУСИНА**

Уфимский университет науки и технологий

АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К УСТАНОВКЕ ПОСТОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ В НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ

Аннотация: в статье рассматривается проблема организации мониторинга качества атмосферного воздуха в населенных пунктах. Проведен анализ требований нормативно-технической документации, регламентирующей размещение стационарных постов автоматического контроля. Приведены данные о состоянии сети наблюдений в Российской Федерации и Ярославской области. Сформулированы основные проблемы и направления совершенствования системы экологического контроля.

Ключевые слова: атмосферный воздух; автоматический контроль; пост мониторинга; нормативные требования; экологическая безопасность; населенный пункт

Качество атмосферного воздуха является одним из ключевых факторов, определяющих уровень здоровья и благополучия населения. В условиях роста промышленного производства и увеличения числа автотранспорта антропогенная нагрузка на атмосферу в урбанизированных территориях непрерывно возрастает [1]. Особую остроту эта проблема приобретает в крупных промышленных центрах и городах с высокой плотностью населения.

Современные вызовы требуют внедрения эффективных систем оперативного экологического мониторинга. Одним из наиболее прогрессивных инструментов для этого являются автоматические стационарные посты контроля загрязнения атмосферного воздуха (АСКЗА). Они позволяют в режиме реального времени получать объективную информацию о концентрациях вредных веществ, что критически важно для принятия управленческих решений в области охраны окружающей среды и предупреждения чрезвычайных ситуаций.

Таким образом, актуальность определяется комплексной необходимостью решения задач экологической безопасности, находящейся на стыке социальных, правовых и управленческих аспектов. Обеспечение санитарно-эпидемиологического благополучия населения, выступающее ключевым приоритетом, напрямую зависит от выполнения законодательных требований в области охраны окружающей среды, что, в свою очередь, невозможно без получения объективных и оперативных данных для разработки эффективных природоохранных мероприятий.

Стационарный автоматический пост контроля (АСКЗА) представляет собой комплекс приборов и оборудования, установленных в специальном павильоне или контейнере, который обеспечивает непрерывный отбор проб воздуха и автоматический анализ содержания в нем заданных загрязняющих веществ (рис. 1).



Рис. 1. Стационарный автоматический пост контроля

Стационарные АСКЗА можно классифицировать по нескольким критериям:

1. По решаемым задачам и месту в системе мониторинга (городские (фоновые); промышленные (импактные), транспортные (автомагистральные), опорные посты.

2. По техническому исполнению и мобильности (стационарные в капитальном строении, стационарные в модульном павильоне/контейнере, передвижные (мобильные) лаборатории).

3. По принципу измерений и конструктивным особенностям (анализаторы с подогревом линии отбора пробы, анализаторы с охлаждением и конденсацией пробы, оптические и лазерные анализаторы);

4. По измерительным возможностям (базовые (стандартные) и специализированные (расширенные) комплектации).

Типовой состав поста включает:

Систему отбора проб воздуха;

Газоаналитическое оборудование (анализаторы для измерения концентраций специфических веществ: NO_x, SO₂, CO, O₃, H₂S, NH₃, взвешенных частиц PM_{2.5} и PM₁₀ и др.);

Метеорологический комплекс (датчики скорости и направления ветра, температуры, влажности, атмосферного давления);

Систему сбора, обработки и передачи данных (телеметрический комплекс);

Систему электропитания, включая источники бесперебойного питания.

Преимуществом АСКЗА перед ручным отбором проб является высокая частота измерений (от секунд до минут), что позволяет отслеживать динамику загрязнения, идентифицировать источники выбросов и оперативно реагировать на превышение предельно допустимых концентраций.

По данным Росгидромета, на территории Российской Федерации функционирует ограниченное количество постов АСКЗА, и их распределение по регионам крайне неравномерно. Наибольшая плотность наблюдений сосредоточена в наиболее промышленно развитых и густонаселенных субъектах, а также в городах-миллионниках. По данным на 2023 год, регулярные наблюдения Росгидромета выполнялись на 641 пункте в 222 городах России, включая пункты наблюдений в Донецкой и Луганской народных республиках [3]. Существующая сеть не в полной мере отвечает современным требованиям к мониторингу атмосферного воздуха.

В Ярославской области, являющейся регионом с развитой промышленностью и напряженной транспортной нагрузкой, проблема мониторинга также стоит остро. Основной объем наблюдений традиционно осуществляется на стационарных постах Росгидромета с ручным отбором проб. По информации на январь 2025 года, в Ярославской области установлено восемь стационарных постов, которые постоянно ведут наблюдение за состоянием атмосферного воздуха: в Ярославле, Рыбинске и Переславле-Залесском. Для создания репрезентативной картины качества атмосферного воздуха необходима установка дополнительных АСКЗА не только в областном центре, но и в других промышленных городах области.

Размещение постов автоматического контроля регламентируется рядом нормативных документов. Ключевыми из них являются:

Федеральный закон от 04.05.1999 № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха». Статья 23 обязывает органы государственной власти субъектов РФ организовывать и проводить государственный мониторинг атмосферного воздуха.

СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Устанавливает предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, что является целевым ориентиром для системы мониторинга.

РД 52.04.186-89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы». Этот основополагающий документ, несмотря на свой возраст, до сих пор определяет многие принципы организации наблюдений [4]. В нем регламентированы:

Требования к размещению постов: Посты должны располагаться в жилых районах, в зонах максимального загрязнения (с учетом розы ветров), вблизи автомагистралей с интенсивным движением, а также на фоновых территориях;

Требования к количеству постов: Рекомендуемое количество постов зависит от численности населения города и сложности рельефа местности. Например, для города с населением 500 тыс. – 1 млн. человек рекомендуется иметь 5-10 стационарных постов;

Требования к условиям размещения: Измерительная проба должна отбираться на высоте 1,5 – 3,5 м от поверхности земли. Пост не должен располагаться вблизи локальных источников загрязнения (аварийные выбросы, котельные, стоянки автомобилей);

ГОСТ Р ИСО 4220-2012 «Воздух атмосферный. Определение массовой концентрации монооксида углерода. Недисперсионный инфракрасный спектрометрический метод» и другие аналогичные стандарты, которые определяют методики измерений для конкретных загрязняющих веществ.

Проведенный анализ показывает, что существующая нормативная база требует актуализации в части, касающейся именно автоматических систем контроля. Требуется разработка новых национальных стандартов, которые бы детализировали требования к точности, поверке, валидации данных и метрологическому обеспечению АСКЗА.

Установка и эффективная эксплуатация постов автоматического контроля атмосферного воздуха являются неотъемлемым элементом системы обеспечения экологической безопасности населенных пунктов. Несмотря на наличие базовых нормативных требований к их размещению, существует значительный разрыв между предписываемыми нормами и реальным состоянием сети наблюдений в РФ и, в частности, в Ярославской области.

Для решения данной проблемы необходимы:

Ускоренное техническое переоснащение действующей сети наблюдений Росгидромета;

Разработка и утверждение современных нормативно-технических документов, регламентирующих использование АСКЗА.

Увеличение финансирования программ экологического мониторинга на региональном уровне;

Создание интегрированных систем мониторинга, объединяющих данные с постов АСКЗА, передвижных лабораторий и расчетных моделей рассеивания;

Реализация этих мер позволит перейти от констатации факта загрязнения к активной системе управления качеством атмосферного воздуха, что напрямую соответствует целям национального проекта «Экология».

Библиографический список

1. Хужина А.М. Разработка мероприятий по снижению негативного воздействия фанерного комбината N на атмосферный воздух / А. М. Хужина, С. А. Мусина // Наука, образование, производство для противодействия техногенным угрозам и решения экологических проблем (Техносферная безопасность-2023): материалы XX Международной научно-практической конференции, Уфа, 30–31 мая 2023 года. – Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2023. С. 388-393.
2. Федеральный закон от 04.05.1999 № 96-ФЗ (ред. от 26.07.2019) «Об охране атмосферного воздуха».
3. Ежегодник состояния загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2023 год / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). – М., 2024. – 120 с.
4. РД 52.04.186-89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы». – М.: Государственный комитет СССР по гидрометеорологии, 1991. – 90 с.
5. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». М., 2021.
6. ГОСТ R ИСО 4220-2012 «Воздух атмосферный. Определение массовой концентрации монооксида углерода. Недисперсионный инфракрасный спектрометрический метод». М.: Стандартинформ, 2013.

© Гилева З.В., 2025

З.В. ГИЛЕВА, С.А. МУСИНА

gilyovazlata@yandex.ru

Науч. руковод. – канд. геогр. наук, доцент **Э.В. НАФИКОВА**

Уфимский университет науки и технологий

«ЗЕЛЕННЫЕ» РЕЙТИНГИ КАК МЕХАНИЗМ ПРОДВИЖЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ В ВЫСШЕМ ОБРАЗОВАНИИ»

Аннотация: Данная статья анализирует роль «зеленых» рейтингов, как инструмент внешней оценки институциональной трансформации. Показано, что экологизация операционной деятельности вуза, включающая модернизацию инфраструктуры, ресурсосбережение и внедрение ответственных закупок, обеспечивает не только экономическую эффективность, но и повышает академическую репутацию.

Ключевые слова: рейтинг зеленых вузов; кампусная политика; зеленая инфраструктура; устойчивое развитие

В современном мире университеты становятся центрами формирования устойчивого будущего и их собственная деятельность оказывает прямое влияние на окружающую среду и общество. Экологизация напрямую влияет на эффективность деятельности вуза. Модернизация инфраструктуры, внедряя энерго и водосберегающих технологий, ответственный подход к закупкам, применение системы раздельного сбора отходов, не только способствует снижению денежных затрат, но и поднимает репутацию вуза за счет реализации «зеленых» инициатив.

«Зеленые» рейтинги – это система оценивания университетов по критериям, связанных с устойчивым развитием, ресурсосбережением и социальной ответственностью. В отличие от академических, которые акцентируют на качестве образования и исследований, «зеленые» рейтинги оценивают реальную деятельность вуза по снижению экологического следа.

Наиболее известными системами являются:

Рейтинг «зелёных» вузов России – проект общероссийской программы «Зелёные вузы России» и платформы Движения ЭКА. Он выявляет среди вузов организации с самым высоким индексом экологичности

UI GreenMetric World University Rankings – крупнейший и самый признанный мировой рейтинг, оценивающий вузы по шести ключевым критериям: инфраструктура, энергетика и изменение климата, отходы, вода, транспорт и образование.

Times Higher Education Impact Rankings – оценивает вклад университетов в достижение целей устойчивого развития ООН.

«Зеленые» рейтинги служат мощным катализатором изменений, через

такие ключевые механизмы как:

Создание конкурентной среды, т.к. высокая позиция в рейтинге становится показателем современного, ответственного вуза, что привлекает абитуриентов, партнеров, разделяющих ценности устойчивого развития.

Интеграция инициатив учебного сообщества способствует внедрению в учебные планы курсы по устойчивому развитию, что позволяет воспитывать у студентов экологически ответственное отношение к окружающей среде.

Систематизация и прозрачность рейтингов позволяют проводить полный аудит деятельности вуза: от расчета углеродного следа, до анализа учебных программ, что позволяет выявить сильные и слабые стороны, поставить измеримые цели и системно работать над их достижением

В 2025 Уфимский университет науки и технологий занял первое место в рейтинге зеленых вузов России, набрав 29.088 баллов. Аспекты, по которым проводилась оценка вузов в рейтинге:

Экологическое образование и просвещение, которое учитывало количество и охват учебных курсов, посвященных экологическим проблемам и способам их решения, а также количество студентов учащих на этих курсах. Количество публикаций, связанных с проблемами экологии, в изданиях с индексом цитирования.

Оценивалось количество и результативность экологических объединений.

Анализировался общий объем отходов, а также наличие эффективности официальной системы раздельного сбора отходов.

Использование энергии подразумевает использование альтернативных источников энергии, осведомленность студентов о практиках энергосбережения.

Площадь территории образовательной организации, занятая зеленой растительностью, количество деревьев и кустарников, высаженных студентами и сотрудниками, количество зон с растениями внутри здания.

Оценивалась степень реализации в вузе практик ответственных закупок.

Опыт внедрения зеленых практик в инфраструктуру вузов России. В государственном университете «Дубна» студенты с 2009 года проводят занятия на экологические темы, а с 2019 года в садиках и библиотеках, что повышает экологическую грамотность населения и вдохновляет будущее поколение на выбор экологически важных профессий.

В балтийском федеральном университете руководство проводит общевузовские и городские мероприятия по экопросвещению, организует мероприятие «Экодвор» и акции по сбору макулатуры.

В московском государственном университете экологическое сообщество внедряет концепцию устойчивого развития, они установили 111 контейнеров для раздельного сбора с уникальным дизайном.

Уфимский университет является участником программы «приоритет 2030», что позволяет активно развивать научные исследования и образовательные программы в области экологии и устойчивого развития. На базе кафедры безопасности производства и промышленной экологии основано студенческое научное объединение «Зеленый проект». Экоактивисты со всего

университета проводят мастер-классы для молодежи, организуют экологические акции, что повышает экологическую культуру, осведомленность и гражданскую ответственность студентов.

Участие в рейтингах позволяет оценить свои достижения в области устойчивого развития, выявить области для улучшения, создает возможность обмениваться опытом с другими университетами, а также способствует повышению престижа университета и привлечению талантливых студентов и исследователей, заинтересованных в экологических проблемах.

Библиографический список

1. Официальный сайт рейтинга Green Metric World University Ranking. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://unirating.ru/txt.asp?rbr=0&txt=Rbr0Text2742&lng=0> (дата обращения 26.10.2025)

2. Чмелева К.В., Князькина А.С. Зелёный университет»: внедрение экологических практик в вузе //Фундаментальные и прикладные аспекты устойчивого развития ресурсных регионов. 2022. С. 156-161.

3. Шлентова А.А. Опыт внедрения принципов устойчивого развития в образовательный процесс на примере вузов // Управление культурой. 2024. №. 2 (10). С. 47-54.

4. Ахметова Э.Т. ESG политики вузов России / Э.Т. Ахметова, Э.В. Нафикова // Экологические чтения - 2024: сборник материалов XV Национальной научно-практической конференции, Омск, 04–05 июня 2024 года. – Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2024. – С. 796-802.

5. Абдрахманова К.А. Экономика замкнутого цикла в России: вторичное использование одежды / К.А. Абдрахманова, Э.В. Нафикова // Техногенная и природная безопасность. Медицина катастроф (safety-2023): сборник научных трудов VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Саратов, 19–20 октября 2023 года. Саратов: ООО «Центр социальных агроинноваций СГАУ», 2023. С. 266-270.

6. Кудряшова О.К. Цикличная экономика / О.К. Кудряшова, Э.В. Нафикова, А.Н. Сидорова // VI Молодежный научный форум «Уфимский гуманитарный научный форум». «Региональные тренды экономического развития»: сборник статей Международной научно-практической конференции, Уфа, 11 апреля 2024 года. Уфа: Академия наук Республики Башкортостан, 2024. С. 126-129.

7. Чувашаева К.Р. Роль студенческого экоклуба в реализации экологической политики университета на примере Уфимского университета науки и технологий / К.Р. Чувашаева, А.Н. Сидорова // ESG-трансформация как фактор устойчивого развития территорий: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Уфа, 08 декабря 2023 года. Уфа: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования «Уфимский университет науки и технологий», 2023. С. 248-251.

8. Официальный сайт Министерства науки и высшего образования Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.minobrnauki.gov.ru/press-center/news/novosti-podvedomstvennykh-uchrezhdeniy/46222/> (дата обращения 26.10.2025)

© Гилева З.В., Мусина С.А., 2025

УДК 331.45

С.Е. ГУБАЙДУЛЛАЕВА

gubaidullaevasabira@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **К.Е. БОНДАРЬ**

Уфимский университет науки и технологий

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ТРУДА НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ БУРИЛЬЩИКА НЕФТЕГАЗОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Аннотация: анализ условий труда бурильщика в ООО «РН-Бурение» выявил вредные факторы: шум, запыленность, недостаточную освещенность и тяжесть труда. Условия отнесены к классу 3.2. Разработан комплекс мероприятий, включающий модернизацию освещения, звукоизоляцию кабины и установку вентиляции.

Ключевые слова: условия труда; бурильщик; охрана труда; профессиональные риски; вредные производственные факторы; шум; освещенность; оценка условий труда

Нефтегазовый комплекс представляет собой одну из наиболее рисконаполненных отраслей промышленности России, где вопросы обеспечения безопасных условий труда приобретают стратегическое значение. Профессия бурильщика относится к числу наиболее опасных из-за комплексного воздействия физических, химических и психофизиологических факторов [1]. Несмотря на внедрение современных технологий, анализ профессиональной заболеваемости свидетельствует о сохраняющихся проблемах в области охраны труда [2].

Согласно данным Федеральной службы по труду и занятости, в нефтегазовой отрасли сохраняется устойчивая тенденция к росту профессиональной патологии, связанной с воздействием шума, вибрации и фиброгенной пыли [3]. Это обуславливает необходимость разработки научно обоснованных подходов к управлению профессиональными рисками на рабочих местах бурового персонала.

Целью исследования являлась разработка комплекса мероприятий по совершенствованию системы охраны труда на рабочем месте бурильщика ООО

«РН-Бурение» на основе комплексной оценки условий труда и анализа профессиональных рисков.

Объектом исследования выступило рабочее место бурильщика в кабине буровой установки Уралмаш БУ 2500 ДЭП. Исследование проводилось с применением комплекса методов включающую гигиеническую оценку условий труда выполнялась в соответствии с Руководством Р 2.2.2006-05 и методиками, утвержденными Приказом Минтруда России № 33н. Инструментальные исследования включали: измерение уровня шума шумомером ШВК-1, определение освещенности люксметром Ю-116, оценку запыленности аспиратором ПУ-3Э, измерение параметров микроклимата метеометром МЭС-200. Результаты инструментальных исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты оценки факторов производственной среды

Показатель	Значение	Норматив	Класс условий труда
Шум, дБа	98	80	3.2
Освещение, лк	254	300	3.1
Концентрация, мг/м ³	2,8	2,0	3.1
Температура воздуха, С	19-21	18-20	2
Относительная влажность, %	54	40-60	2

В результате проведенного анализа условий труда был разработан взаимосвязанный комплекс защитных мероприятий, направленный на создание безопасной и комфортной рабочей среды в кабине бурильщика.

Светотехнические решения стали отправной точкой для улучшения условий труда. Расчетным путем было установлено, что замена устаревших светильников на два современных светодиодных светильника LED ЛПО-Л-30-65 позволит не только достичь нормативной освещенности 521 лк, но и значительно снизить энергопотребление до 60 Вт. Это решение особенно важно учитывая характер работы бурильщика, требующей постоянного визуального контроля за показаниями приборов и оборудованием.

Параллельно были разработаны мероприятия по звукоизоляции кабины, которые тесно связаны с созданием оптимальных световых условий. Конструкция звукоизолирующей кабины включает применение трехслойных сэндвич-панелей (сталь 0,8 мм + минеральная вата 50 мм), специальных стеклопакетов толщиной 8 мм и двери с магнитным уплотнителем. Расчетная звукоизоляция в 37,5 дБ позволит снизить уровень шума до 62,5 дБ, что не только соответствует нормативным требованиям, но и создает акустический комфорт, необходимый для концентрации внимания при работе с сложным оборудованием.

Для обеспечения нормативных параметров воздушной среды была спроектирована система вентиляции. Определенный расчетным путем потребный воздухообмен 57,8 м³/ч будет обеспечиваться вентилятором ВЦП 7-40 № 2,5 с производительностью 800 м³/ч. Эта система особенно важна в комплексе со звукоизоляционными мероприятиями, поскольку герметизация

кабины требует организации принудительного воздухообмена для поддержания нормального кислородного баланса и удаления возможных вредных примесей.

Завершающим элементом комплекса стали организационные мероприятия, которые интегрируют все технические решения в производственный процесс. Внедрение регламентированных перерывов через каждые 2 часа работы позволит снизить зрительное утомление, усугубляемое недостаточной освещенностью, и минимизировать воздействие шума. Проведение дополнительных медицинских осмотров 2 раза в год даст возможность своевременно выявлять начальные признаки профессиональных заболеваний, а обучение по программе «Безопасные методы работы» обеспечит грамотную эксплуатацию нового оборудования и соблюдение режимов труда.

Проведенные исследования позволили разработать научно обоснованный комплекс мероприятий по улучшению условий труда бурильщика. Реализация предложенных решений обеспечит:

1. Снижение класса условий труда по шуму с 3.2 до 2.0
2. Уменьшение профессионального риска развития пневмокониозов
3. Повышение производительности труда на 12-15%

Перспективным направлением дальнейших исследований является разработка автоматизированной системы мониторинга параметров производственной среды с прогнозированием профессионального риска.

Библиографический список

1. Федеральный закон от 28.12.2013 № 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда».
2. Руководство Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса».
3. Приказ Минтруда России от 24.01.2014 № 33н «О порядке проведения специальной оценки условий труда».

© Губайдуллаева С.Е., 2025

Ю.Г. ЗАБИХУЛЛИН

yulayzabikhullin2003@gmail.com

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **К.Е. БОНДАРЬ**

Уфимский университет науки и технологий

МЕТОДЫ УТИЛИЗАЦИИ СВАРОЧНОГО ШЛАКА

Аннотация: в этой статье рассматриваются проблемы утилизации сварочного шлака. Анализ современных исследований показывает, что наиболее эффективными решениями являются переработка шлака для повторного использования в качестве флюса и применение шлака в строительных материалах. Внедрение данных методов способствует снижению экологической нагрузки и экономии ресурсов.

Ключевые слова: сварочный шлак; отходы; утилизация; сварочные процессы; сварка под флюсом; экология; строительные материалы; переработка; вторичное сырье

Сварочные процессы остаются основой производства в машиностроении, строительстве, энергетике, нефтегазе, судостроении. Однако, одновременно с металлом шва неизбежно образуется сварочный шлак – стекловидный материал, получаемый как побочный продукт, выделяемый при процессах дуговой сварки, особенно при ручной дуговой сварке, при сварке под флюсом и электрошлаковой сварке. При ручной дуговой сварке шлак образуется, когда поток сплошного защитного материала, используемого в процессе сварки, плавится в верхней части зоны сварного шва. При сварке под флюсом сварочный шлак – это застывшая часть оставшегося флюса, охлажденного после сварки.

Небиоразлагаемая природа сварочного шлака создает проблемы хранения, утилизации, загрязнения почвы, а также нуждается в месте на свалке для расположения отходов. Его нельзя использовать в качестве наполнителя в строительстве зданий или где-либо еще из-за стекловидного и хрупкого материала.

В соответствии с Приказом Росприроднадзора от 22.05.2017 г. N 242 «Об утверждении федерального классификационного каталога отходов» сварочный шлак (код: 9 19 100 02 20 4) относится к отходам IV класса опасности (малоопасные отходы) с твердым агрегатным состоянием.

В виду того, что сварочный шлак относится к малоопасным отходам, серьезные воздействия на окружающую среду и здоровье человека он не оказывает при условии соблюдения правил его накопления и утилизации. В данном случае негативное воздействие могут оказывать отдельные компоненты этого отхода. Основные компоненты сварочного шлака в зависимости от вида сварочного электрода приведены в табл. 1.

Компонентный состав сварочного шлака в зависимости
от вида используемого электрода

Виды сварочного электрода	Компонентный состав сварочного шлака, %				
	Диоксид кремния	Оксид марганца	Оксид железа	Оксид кальция	Оксид титана
ОММ-5	39,1	15,2	13,2	3,6	–
УОНИ 13/55	43,3	4,6	2,2	7,9	42
Ц-3	47,5	13,7	12,2	18,5	8,1

Оксид железа и диоксид кремния являются основными компонентами сварочного шлака. К второстепенным составным элементам абразивных порошков относятся оксиды марганца, кальция и титана. Оксид марганца может испаряться в воздушную среду и приводить к поражению внутренних органов животных. Повышенное содержание железа в почве в виде его оксидов может привести к избыточному росту патогенных микроорганизмов, например, грибов, что может способствовать образованию гнили у растений. Попадание оксидов марганца в легкие человека приводит к острым и хроническим отравлениям, поражениям центральной нервной системы, печени и легких человека. Двуокись кремния оказывает разрушающее действие на органы дыхательной системы, что приводит к постоянной одышке, боли в груди, сухому кашлю.

В отечественной литературе имеются исследования по переработке металлургических шлаков, однако научные работы по утилизации именно сварочных шлаков отсутствуют. Это может быть связано из-за образования таких отходов в небольшом количестве. Но зарубежные публикации показывают, что сварочный шлак может быть вовлечен в разнообразные технологические цепочки.

В работе [1] приводятся проблемы, которые упоминались ранее, а именно проблемы хранения и утилизации сварочных шлаков, которые загрязняют окружающую среду и требуют места на свалках, помимо истощения невозобновляемых ресурсов. Был проведен анализ использования переработанного сварочного шлака в качестве флюса для сварочных процессов. Эксперименты показали, что показатели химического анализа, цветной дефектоскопии, рентгенографии, механических испытаний и металлургических испытаний сварочного шва при использовании переработанного сварочного шлака лучше, чем у нового флюса. Был также рассчитан анализ себестоимости переработанного шлака на 100 кг и сравнен с эквивалентным свежим флюсом, доступным на рынке, который показал, что в процентном соотношении экономия может составить 70-73 %.

В работе [2] приводится успешная разработка технологии вторичной переработки сварочного шлака путем пополнения его подходящими легирующими элементами, позволяющей использовать шлак в качестве свежего флюса для сварочных процессов. При этом характеристики сварного шва

остаются такими же.

Аналогичные исследования были проведены в работах [3, 4], где также разработана новая технология утилизации сварочного шлака, образующегося при дуговой наплавке нержавеющей стали. В измельченный шлак также добавлялись определенные легирующие элементы, после этого переработанный шлак может быть повторно использован в качестве флюса без ущерба для качества и эксплуатационных характеристик сварочных швов. Химический состав, коррозионная стойкость, пластичность, микроструктура, микротвердость и содержание ферритов в облицовках, изготовленных из переработанного шлака и свежего флюса одинаковы. Себестоимость вторичного шлака на 73 % меньше рыночной стоимости эквивалентного свежего флюса. Коммерческое использование данной технологии поможет в защите окружающей среды, сохранении природных ресурсов и значительном снижении себестоимости процесса.

В другой работе [5] исследовано поведение переноса элементов переработанного шлака, особенно в связи с изменениями параметров процесса, так как качество наплавки под флюсом во многом зависит от его химического состава, на который влияет поведение переноса элементов сварочного флюса. Результаты показали, что параметры режимов сварки положительно влияют на перенос некоторых элементов, например, сварочный ток положительно влияет на перенос марганца в наплавленный металл, а напряжение холостого хода увеличивает перенос углерода, но одновременно уменьшая перенос марганца в сварочную ванну, кроме того, скорость сварки уменьшает перенос кремния и никеля в наплавленный металл, при этом не оказывая существенного влияния на перенос других элементов при изменении параметров процесса

В работе [6] исследовано влияние использования флюсовой шлаковой смеси на различные аспекты параметров геометрии сварного шва. Сварочный шлак, образовавшийся при традиционной сварке под флюсом, был переработан путем смешивания измельченного шлака с различным процентом со свежим флюсом.

В исследовании [7] определено сколько раз можно повторно перерабатывать сварочный шлак для использования его в качестве флюса для сварки. В этой работе для исследования был использован марганцево-силикатный флюс. Для оценки целесообразности использования переработанного флюса проводилась количественная оценка состава и структуры флюса, и было определено, что марганцево-силикатный флюс полностью подлежит вторичной переработке при условии сварки под флюсом в течение трех раз.

В проекте [8] проведено исследование по получению малозатратных строительных материалов с использованием отходов производства, а именно сварочных шлаков. Целью этого исследования является использование этих отходов в недорогом строительстве с достаточной прочностью на сжатие. Результаты показывают, что замена 5% сварочного шлака весьма эффективна с практической точки зрения.

Таким образом, несмотря на низкий класс опасности, сварочный шлак требует целесообразной утилизации ввиду своей небиоразлагаемой природы. Наиболее эффективным и экономически выгодным решением является его рециклинг для повторного использования в качестве флюса при сварке под флюсом, что подтверждено многочисленными исследованиями и позволяет достичь экономии до 70–73% без ущерба для качества шва. Альтернативным направлением может быть применение шлака в строительных материалах. Внедрение этих методов способствует не только снижению экологической нагрузки, но и значительной экономии ресурсов, что соответствует принципам устойчивого развития.

Библиографический список

1. Mahto D., Kumar A. Novel method of productivity improvement and waste reduction through recycling of submerged arc welding slag // *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*. 2010. Т. 4. №. 4. С. 451-466.
2. Singh K., Pandey S. Recycling of slag to act as a flux in submerged arc welding // *Resources, Conservation and Recycling*. 2009. Т. 53. №. 10. С. 552-558.
3. Garg J., Singh K. Slag recycling in submerged arc welding and its effects on the quality of stainless steel claddings // *Materials & Design*. 2016. Т. 108. С. 689-698.
4. Nimker D., Wattal R. Recycling of submerged arc welding slag for sustainability // *Production & Manufacturing Research*. 2020. Т. 8. №. 1. С. 182-195.
5. Garg J. Influence of recycled SAW slag and process parameters on the composition of stainless steel claddings // *Journal of Adhesion Science and Technology*. 2025. С. 1-17.
6. Datta S., Bandyopadhyay A., Pal P. K. Slag recycling in submerged arc welding and its influence on weld quality leading to parametric optimization // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2008. Т. 39. №. 3. С. 229-238.
7. Tian H. Recycling Welding Fluxes: A Case Study into Manganese-Silicate System // *Metallurgical and Materials Transactions B*. 2024. Т. 55. №. 6. С. 4398-4407.
8. Ramesh S. T. Use of furnace slag and welding slag as replacement for sand in concrete // *International Journal of Energy and Environmental Engineering*. 2013. Т. 4. №. 1. С. 3.

© Забихуллин Ю.Г., 2025

И.И. ЗИАНБЕРДИН

Ilgizzian888@bk.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **К.Е. БОНДАРЬ**

Уфимский университет науки и технологий

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Аннотация: в данной статье проводится анализ условий труда и обеспечение безопасности в литейном производстве. Рассматриваются опасные и вредные производственные факторы, характерные в технологиях литейного производства. Предоставлен подход для организации безопасности труда. В работе предложены и детально рассмотрены практические направления по обеспечению безопасности, включающие современные технические решения.

Ключевые слова: литейное производство; условия труда; опасные и вредные производственные факторы; безопасность труда; современные технические решения

Литейное производство представляет собой одну из важнейших отраслей в машиностроении, обеспечивающую создание фасонных заготовок для различных видов промышленности. Процесс получения отливок включает в себя множество операций, которые сопровождаются воздействием на работников опасных и вредных факторов. На работников воздействуют такие факторы как высокая температура, тепловое излучение, запыленность воздуха, химические вещества, шум и вибрация.

Литейное производство относится к категории вредных и опасных, что требует разработки и внедрения мер защиты для работников [1-5].

1. Опасные и вредные производственные факторы в литейном производстве. Физические факторы опасности: тепловое воздействие является наиболее значимым фактором, обусловленным работой печей, заливкой металла и последующим охлаждением отливок. Температура в рабочей зоне может достигать до 45°C. Также к физически опасным факторам относится повышенный уровень шума. Работники подвергаются к повышенному шуму на участках выбивки форм, очистки и обрубки отливок. Основными источниками шума являются вибрационные решетки, дробеструйные установки и пневматические установки. Уровень шума на этих участках достигает до 105 дБ.

Химические факторы опасности: Запыленность воздуха в рабочей зоне. Источниками пылеобразования служат операции приготовления формовочных и строжневых смесей, выбивка форм, очистка отливок [6].

Вредные химические вещества выделяются при стадии расплавления металла и заливке расплава в форму. Во время данных операций в воздушную

среду поступают оксиды углерода, серы, азота и пары углерода и металлов.

2. Подход к обеспечению безопасности. Технические средства защиты: для удаления вредных веществ устанавливаются современные системы вентиляции и аспирации. Наиболее эффективными являются:

- укрытия с отсосом на участках выбивки форм;
- аспирационные системы на смесителях и транспортерах;
- бортовые отсосы у плавильных печей.

Для снижения шума и вибрации применяются:

- звукоизолирующие кожухи на оборудовании;
- виброизолирующие основания под оборудованием;
- звукопоглощающие облицовка стен и потолков.

2.1 Организационные мероприятия: обучение и инструктаж персонала должны быть проведены в зависимости от вида литейного производства. Работники обязаны пройти: вводный инструктаж при приеме на работу; инструктаж на рабочем месте; внеплановые инструктажи при изменении технологического процесса.

2.2 Медико-профилактические мероприятия: периодические медицинские осмотры; обеспечение хорошим питанием и диспансерные наблюдения за работниками.

3. Средства индивидуальной защиты. Средства индивидуальной защиты (СИЗ) для работников должны подбираться с учетом выполняемой операции и производственной среды.

Для защиты дыхательных путей применяются:

- респираторы различных классов от пыли;
- противогазы для аварийных ситуаций.

Для защиты тела используют:

- термостойкие костюмы из огнестойких материалов;
- защитные каски;
- защитные очки от летающих частиц и брызг металла.

Для защиты рук и ног: специальные рукавицы и кожаные сапоги с защитными подносками.

4. Требования безопасности к технологическим процессам. Процесс плавки требует особого контроля: регулярный осмотр состояния печи, контроль состава атмосферы в рабочей зоне, а также обеспечение защиты от возможных выбросов расплавленного металла.

Заливка расплава в форму должна проводиться с соблюдением следующих требований: проверка исправности заливочных устройств, осмотр форм на повреждение.

5. Противопожарная защита на литейном производстве. Литейные цеха входят в классификацию помещений по взрывопожарной и пожарной опасности и относятся к категории Г – умеренной пожароопасности. Это обусловлено наличием в технологическом процессе применением высоких температур и горючих материалов.

Источниками зажигания могут служить: температура печей до 1800°C;

раскаленные отливки и расплавленный металл; брызги металла при заливке; электрооборудование и электропроводка.

Раннее обнаружение пожара критически важно для ликвидации пожара на начальной стадии. Для этого устанавливаются тепловые и дымовые извещатели. Помещения должны быть оборудованы системой автоматического пожаротушения и пожарными щитками с полным комплексом инвентаря [7].

Заключение. Литейное производство характеризуется уникальным сочетанием опасных и вредных производственных факторов. Наличие высоких температур в сочетании с запыленностью воздуха, химическими загрязнителями и повышенным уровнем шума создает исключительно сложные условия труда. Обеспечение безопасности в литейном производстве требует комплексного системного подхода, сочетающего технические и организационные мероприятия. Для повышения безопасности сотрудников нужна автоматизация и роботизация технологических процессов, внедрение систем для непрерывного мониторинга условий труда. Реализация предложенных мероприятий позволит создать современную систему безопасности литейного производства, соответствующую международным стандартам и обеспечивающую достойные условия труда для работников отрасли.

Библиографический список

1. Охрана труда в литейном производстве: учебное пособие / О.В. Маслеева и др. 2025. 193 с.
2. Охрана труда и охрана окружающей среды в литейных технологиях: учебник для среднего профессионального образования / В.К. Шумилин, В.Б. Лившиц, Е.С. Бобкова.
3. Расчет коллективного риска профессиональных групп литейного производства // Научные труды. – 2021. – С. 17-23
4. Ушакова И.Н., Бэйнер М.В. Охрана труда смесеприготовительного участка литейного цеха // Наука – образованию, производству, экономике. 2012. Т. 4.
5. Лазаренков А.М., Хорева С.А., Мельниченко В.В. Безопасность технологических процессов литейного производства // Наука – образованию, производству, экономике. 2013. Т. 4. С. 475.
6. Фанакова Н.Н., Пучкова Л.Н., Быковский Н.А. Разработка технологического процесса изготовления отливки: учебно-методическое пособие / Стерлитамак: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2014. 23 с.
7. Мухаметзянов М.М., Ерушонков А.Н., Лапонов С.В. Техническое диагностирование и расчёт остаточного ресурса оборудования // Естественные и технические науки. 2025. № 9(208). С. 149-152.

© Зианбердин И.И., 2025

Л.З. ИСЛАМОВА

lesya.islamova36@yandex.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **К.Е. БОНДАРЬ**

Уфимский университет науки и технологий

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА НА ПАО «ОДК-УМПО»

Аннотация: в этой статье рассматривается состояния системы управления охраной труда на предприятиях машиностроительного комплекса, сравнительный анализ коэффициентов частоты травматизма, общие опасные (вредные) производственные факторы характерные для предприятий машиностроения, анализ производственного травматизма на ПАО «ОДК-УМПО».

Ключевые слова: опасные (вредные) производственные факторы; травматизм; условия труда

Условия труда на рабочих местах предприятий машиностроения характеризуются наличием вредных и опасных производственных факторов, которые зависят от характера технологического процесса, используемого оборудования, применяемых материалов. К основным производственным цехам и участкам предприятий машиностроения относятся: литейные, кузнечные, термические (подготовительные) и металлообрабатывающие (механические, механосборочные, сварочные и другие) [1-2].

Состояние системы управления охраной труда (СУОТ) на предприятиях машиностроительного комплекса определяется ее эффективностью в достижении целей и выполнении ключевых функций: разработка политики и целей, проведение оценки рисков, обеспечение работников СИЗ, обучение, медицинские осмотры и участие работников в управлении охраной труда. На машиностроительных предприятиях состояние СУОТ зависит от соблюдения этих процессов, что влияет на снижение рисков и гарантию безопасности работников.

Основными неблагоприятными факторами производственной среды, определяющими условия труда на рабочих местах в литейных цехах, являются микроклиматические условия, аэрозоли преимущественно фиброгенного действия (АПФД) (дезинтеграции), токсические и раздражающие химические соединения, шум, вибрация и значительное физическое напряжение при выполнении немеханизированных операций.

К химическим факторам относятся:

Токсичные вещества: Пары и газы, содержащие сероводород, углеводороды и другие вредные соединения, которые могут вызывать отравления или хронические заболевания.

Аэрозоли: Мелкодисперсные частицы, например, сажа или другие примеси, которые могут попадать в дыхательные пути.

К физическим факторам относятся:

Шум и инфразвук: Высокий уровень шума от работающего оборудования (насосы, компрессоры, турбины), а также инфразвук, могут вызывать заболевания слуха и сердечно-сосудистой системы.

Вибрация: Общая и локальная вибрация от механизмов, приводящая к заболеваниям опорно-двигательного аппарата.

Температурные факторы: Работа в условиях высоких температур (например, вблизи печей) или низких температур (на улице в зимний период), что может привести к тепловому удару или обморожению.

Неионизирующие излучения: Воздействие электромагнитных полей от различного оборудования.

Ионизирующие излучения: возникают при проведении неразрушающего контроля оборудования, что требует соблюдения особых мер безопасности.

Статистические данные взяты из Федеральной службы государственной статистики [3]. В таблице 1 приведены данные по производственному травматизму машиностроительных предприятий за 2024 год.

Таблица 1

Данные по производственному травматизму на предприятиях машиностроительного комплекса

Средняя численность работников	Число несчастных случаев	Число несчастных случаев со смертельным исходом	Число работников с установленными проф. заболеваниями	КЧ1	КЧ2
567561	843	35	19	1,485	0,062

Анализ статистических данных по случаям производственного травматизма будем проводить, сравнивая значения коэффициентов частоты травматизма по машиностроительной отрасли со средним значением этого коэффициента, рассчитанным по всем отраслям промышленности, данные о которых есть в источниках Росстата. Результаты представим в таблице 2.

Таблица 2

Сравнение коэффициентов частоты травматизма

КЧ1	КЧ1 _{ср}	КЧ2	КЧ2 _{ср}
1,485	1,98	0,062	0,32

Из таблицы 2 видно, что значения коэффициента частоты травматизма для машиностроительной отрасли, ненамного меньше, чем средние значения этих коэффициентов по всем отраслям. Исходя из этого, можно заключить, что отрасль характеризуется средними значениями производственного травматизма, в сравнении с другими отраслями.

Условия труда работников нефтехимических производств являются небезопасными. Основными факторами, влияющими на развитие среди

работников профессиональной заболеваемости, являются физический фактор (66 %) и химический фактор (34 %).

Однако четко прослеживается тенденция к уменьшению количества случаев возникновения профессиональной заболеваемости с утратой трудоспособности.

Для анализа производственного травматизма на ПАО «ОДК-УМПО» будут использоваться данные по количеству работников, количеству несчастных случаев и количеству зарегистрированных случаев профессиональной заболеваемости предоставляемые самим предприятием.

В таблице 3 приведены данные по производственному травматизму ПАО «ОДК-УМПО» за период 2019-2024 гг.

Таблица 3

Статистика по производственному травматизму на ПАО «ОДК-УМПО»

Года	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Количество несчастных случаев на производстве, чел	1	0	1	2	1	1
Зарегистрированные случаи профессиональной заболеваемости, чел	1	0	0	1	1	0

Как видно из таблицы 3, количество несчастных случаев на предприятии находится на низком уровне (максимум 2 несчастных случаев в год, минимум 0 несчастных случаев в год) за рассматриваемый временной период. Профессиональная заболеваемость также находится на низком уровне, что можно объяснить высоким уровнем функционирования системы контроля за состоянием здоровья сотрудников, действующей на предприятии.

Таким образом, был выполнен анализ проблемы обеспечения безопасных условий труда на предприятии машиностроительного комплекса. Основными ОВПФ, воздействующими на работника во время технологического процесса, являются химический фактор, шум, аэрозоли, напряженность трудового процесса. Установлено, что отрасль характеризуется средними показателями травмоопасности (относительно средних значений коэффициента по секторам хозяйственной деятельности). В результате анализа установлено, что состояние системы управления охраной труда на ПАО «ОДК-УМПО» характеризуется низкими показателями травматизма и профессиональной заболеваемости, что говорит об высокой эффективности ее функционирования.

Библиографический список

1. Kushner V.S. Technological processes in mechanical engineering: textbook for students of higher educational institutions / V.S. Kushner, A.S. Vereshchaka, A.G. Skhirtladze. M.: Publishing center «Academy», 2011 С. 416.

2. Occupational safety rules at mechanical engineering enterprises and organizations. POT RO 14000-001-98: approved by the Department of Mechanical Engineering Economics of the Ministry of Economy of the Russian Federation on March 12, 1998; entered into force on September 1, 1998.

3. Occupational safety during welding in mechanical engineering// [M.Z. Braude et al.]: edited by M.Z. Braude - M.: Mechanical Engineering, 1978. 144.

4. I.V. Efremov, E.L. Gorshenina. Calculation of Sound-Absorbing Facings. Guidelines for Practical and Independent Work. Orenburg State University. 2011. С. 1-17.

© Исламова Л.З., 2025

УДК 658.567.1

К.А. КИРИЛЛОВА, А.М. ФЕДЯНИНА, А.И. ГЕРАСИМОВА

kirillovaksenia620@gmail.com

Науч. руковод. – ст. препод. **Дм.А. ТАРАКАНОВ**

Уфимский университет науки и технологий

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ УТИЛИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Аннотация: данная статья посвящена сравнительному анализу методов утилизации промышленных отходов. Рассмотрены классы опасностей отходов согласно Федеральному классификационному каталогу отходов.

Ключевые слова: экология; промышленные отходы; переработка; последствия; производственные предприятия

Одной из основных проблем в Российской Федерации в сфере производства является увеличивающаяся концентрация промышленных отходов на территориях этих предприятий. Накопления отходов порождает собой свалки, часто плохо организованные или просто стихийные, являющиеся источниками загрязнений атмосферного воздуха, почвы, поверхностных и грунтовых вод [1].

Неправильный подход к обращению с промышленными отходами влечет за собой ряд серьезных негативных последствий. В первую очередь, это выражается в экологическом загрязнении: токсичные элементы из отходов отравляют почву, воду и воздух [2]. Это, в свою очередь, напрямую влияет на здоровье населения, способствуя росту заболеваемости. Кроме того, размещение отходов на полигонах приводит к истощению земельных ресурсов, лишая возможности использовать значительные территории в хозяйственных целях. И наконец, все это оборачивается экономическим ущербом, связанным с необходимостью устранения последствий загрязнения [3]. В таблице 1 показаны классы опасностей промышленных отходов, согласно Федеральному классификационному каталогу отходов [4].

Таблица 1

Классы опасностей промышленных отходов

Класс опасности	Степень воздействия	Период восстановления	Примеры
1 класс	Чрезвычайно опасные	Необратимое нарушение	Ртуть, свинец
2 класс	Высокоопасные	Свыше 30 лет	Аккумуляторы, нефтепродукты
3 класс	Умеренно опасные	10-30 лет	Лакокрасочные материалы
4 класс	Малоопасные	3-10 лет	Строительный мусор
5 класс	Практически неопасные	Менее 3 лет	Бумага, некоторые пищевые отходы

В зависимости от класса опасностей существуют различные методы для утилизации отходов, основанные на разных принципах:

Плазменная газификация отходов – технология переработки отходов, с использованием плазмы (ионизированного газа, разогретого до экстремальных температур);

Захоронение. Размещение промышленных отходов, не подлежащих дальнейшей переработке, предполагает их изоляцию в специально оборудованных местах хранения, такие как полигоны [5];

Переработка и повторное использование – превращение отходов в новое сырье или продукты.

В таблице 2 приведен сравнительный анализ методов утилизации промышленных отходов.

Таблица 2

Сравнительный анализ методов утилизации промышленных отходов

Метод утилизации	Преимущества	Недостатки
1	2	3
Плазменная газификация отходов	– Максимальное обезвреживание; – Экологическая чистота (минимальные выбросы загрязняющих веществ); – Образование синтез-газа, пригодного для использования в качестве топлива.	– Высокая стоимость; – Высокое энергопотребление (для поддержания плазмы требуется значительное количество электроэнергии); – Сложность эксплуатации; – Ограниченное распространение (технология относительно новая и пока не получила широкого распространения).

1	2	3
Захоронение	– Низкая стоимость; – Простота реализации; – Прием большого объема отходов;	– Загрязнение окружающей среды; – Занимают большие земельные площади; – Низкая эффективность использования ресурсов;
Переработка и повторное использование	– Сохранение природных ресурсов; – Снижение загрязнений; – Экономия энергии.	– Высокий уровень затрат; – Значительный разброс цен на вторичные материальные ресурсы; – Качество вторичного сырья.

Современная стратегия управления отходами должна стремиться к минимизации захоронения, максимальному использованию переработки и повторного использования, а плазменная газификация может рассматриваться как эффективное решение для тех отходов, которые невозможно переработать или безопасно захоронить [6,7].

Таким образом, в ходе работы выполнен сравнительный анализ методов утилизации промышленных отходов, определено, что наиболее эффективным методом является плазменная газификация. Рассмотрены классы опасностей согласно Федеральному классификационному каталогу отходов. Безопасность при утилизации промышленных отходов требует комплексного подхода, охватывающего технические, финансовые и нормативные аспекты. Результатом такого подхода является защита здоровья человека и обеспечение устойчивости окружающей среды [8].

Библиографический список

1. Скуратова П.Н. Обзор законодательной базы и методических разработок по инвентаризации парниковых газов при различных операциях с твердыми коммунальными и производственными отходами / П.Н. Скуратова, Э.В. Нафикова // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2025. № 1-1(100). С. 14-18. DOI 10.24412/2500-1000-2025-1-1-14-18.

2. Оценка эффективности системы очистки сточных вод нефтеперерабатывающего предприятия с помощью фрактального анализа / Э.В. Нафикова, Д.В. Александров, О.Г. Мартынова [и др.] // Техносферная безопасность. 2022. № 1(34). С. 9-15.

3. Тараканов Д.А. Систематический обзор проблемы загрязнения почвы тяжелыми металлами в природно-технических системах // Экологический Вестник Северного Кавказа. 2025. Т. 21, №3. С. 120-127.

4. Сведения Росприроднадзора об образовании, обработке, утилизации, обезвреживании, размещении отходов производства и потребления по форме 2-

ТП (отходы) за 2021-2024 год, систематизированные по видам отходов ФККО.
URL: <https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/production-consumption-waste/> (дата обращения: 03.11.2025)

5. Разработка методики комплексной оценки загрязненности фильтрационных стоков захоронений отходов / И.Ю. Кияшко, А.Н. Елизарьев, Т.Б. Фащевская, Н.Н. Красногорская // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2010. № 2(42). С. 6-11.

6. Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 №89 ФЗ URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/ (дата обращения: 04.11.2025)

7. Лапонов С.В., Шулаев Н.С., Ибрагимов И.Г., Иванов С.П. Особенности эмульгирования в роторно-дисковых смесителях // Нефтегазовое дело. 2016. Т. 14, № 4. С. 126-129.

8. Влияние выбросов химических веществ на окружающую среду при пожарах на нефтеперерабатывающих заводах в Республике Башкортостан / И.И. Гиззатуллина, Д.А. Тараканов, А.М. Максютлов, В.К. Кузнецова // Перспективы экологического развития России и стран СНГ: Материалы 6-й Международной научно-практической конференции, проводимой в рамках XXIII Уральской горно-промышленной декады, Екатеринбург, 03-04 апреля 2025 года. Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2025. С. 21-23. EDN LINTAJ.

© Кириллова К.А., Федянина А.М., Герасимова А.И., 2025

К.П. КОСЕНКО, А.А. ШАМАКИНА, Р.Е. МАЛОФЕЕВ

kosenko.ksusha2000@mail.ru

Науч. руковод. – ст. препод. **Дм.А. ТАРАКАНОВ**

Уфимский университет науки и технологий

МИНЕРАЛЬНО-ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ КАК ИННОВАЦИОННОЕ РЕШЕНИЕ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Аннотация: в данной работе рассматриваются вопросы применения минерально-полимерных композитов как инновационного решения в обеспечении техносферной безопасности, которые имеют высокую огнестойкость, экологически безопасны и пригодны для повторной переработки. Актуальность обусловлена расширением сфер применения композиционных материалов и необходимостью оценки их влияния на безопасность производственных процессов.

Ключевые слова: минерально-полимерные композиты; древесно-полимерные композиты; техносферная безопасность; производственная безопасность; инновационные материалы; экологическая безопасность

Производство минерально-полимерного композита (МПК) организовано с возможностью использования переработанных бытовых отходов – наиболее вредных окружающей среде пластиков и гидросиликата магния, который складировались горнодобывающими предприятиями в отвалы в качестве отходов обогащения. Первоначально МПК предназначались для финишной отделки помещений разного назначения, в том числе в помещениях с повышенной влагостойкостью. Результаты анализа [1, 2] позволили определить основные сферы применения МПК:

- Жилое строительство;
- Коммерческая недвижимость;
- Социальная инфраструктура;
- Общественные пространства.

Сравнительный анализ основных характеристик аналогичных и конкурирующих (замещающих) видов материалов по научно-техническим и технологическим характеристикам показывает, что МПК имеет высокую огнестойкость, что исключает возможность самовоспламенения и горения. Также МПК экологически безопасен (не выделяет вредных веществ), пригоден для повторной переработки, что позволяет не загрязнять окружающую среду отходами и обладает уникальными свойствами:

- Более устойчив к водопоглощению и набуханию;
- Высокая износостойкость, морозостойкость материала;
- Высокая стойкость к ультрафиолетовым лучам;

Невосприимчивость гниению;

Устойчивость к истиранию.

Перечисленные характеристики продукции из МПК являются преимущественными перед продукцией из древесно-полимерных композитов (ДПК).

ДПК – это материал, где древесина смешивается с мономерами, которые затем полимеризуются и смешиваются с древесиной в процессе экструзии для приобретения требуемых свойств. Из данного материала производят доски, которые не уступают по многим характеристикам ни обычной древесине, ни керамической плитке. ДПК состоит из трех основных компонентов:

1. Частицы измельченной древесины содержанием 30-70% (в зависимости от используемого полимера);

2. Термопластичный полимер (ПВХ – поливинилхлорид, ПНД – полиэтилен низкого давления, ПП – полипропилен, ПЭ – полиэтилен);

3. Комплекс специальных химических добавок (модификаторов), улучшающих технологические и другие свойства композиции и получаемой продукции, общим содержанием 0-5% [3].

Преимущества ДПК перед обычным деревом: не деформируется и не выкручивается под воздействием условий окружающей среды, не теряет первоначальный внешний вид и легко поддается монтажу, высокая устойчивость к механическим нагрузкам (до 550 кг на см²) обеспечивает безопасность при размещении тяжелых предметов. Продукция из данного материала является экологичной, так как качественные полимеры не выделяют в атмосферу летучие вещества и не имеют неприятного запаха. Ее использование гарантирует простоту в обработке и эксплуатации, а также пожарную безопасность, поскольку она не поддерживает горения [4].

МПК – это материал, в основе которого лежит минеральная мука, составляющая 70% от общего объема. Эта мука прочно связана с помощью полимерного связующего вещества, доля которого составляет 27%. Завершающим компонентом в составе являются красители и улучшители, составляющие 3%. Материал сохранил все положительные свойства и характеристики ДПК, но при этом обладает значительно меньшим коэффициентом термического расширения, а возможность создавать длинные, бесшовные сегменты конструкций во время монтажа является преимуществом МПК. Это делает его идеальным выбором для использования в качестве фасадных панелей и облицовки при строительстве и отделке зданий различного назначения [5].

На основе проведенного анализа литературных источников [6-8] определены основные технические характеристики ДПК и МПК, сравнение которых представлено в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительные технические характеристики изделий из ДПК и МПК

Показатели	ДПК	МПК
Плотность, кг/м ³	1200-1400	1600-1800
Температура эксплуатации, °С	От -40 до +60	От -50 до +70
Влагопоглощение, %	< 3,0	< 0,5
Предел прочности при растяжении, МПа	> 12,0	> 12,0
Модуль упругости при растяжении, Н/мм ²	> 4100	> 4100
Предел прочности при изгибе, МПа	> 24,0	> 56,0
Модуль упругости при изгибе, Н/мм ²	> 4800	> 4800
Максимально-распределенная разовая нагрузка, кг/м ²	< 500	< 700
Удельная вязкость по Шарпи, кДж/м ²	> 6,0	> 6,0
Коэффициент линейного теплового расширения, °С-6	27	20
Срок эксплуатации, лет	< 3	< 5

Представленные характеристики материала определяют длительный срок службы покрытия (не менее 35 лет) даже в условиях экстремального климата, из которых можно выделить основные преимущества изделий из МПК перед ДПК:

Износостойкость и устойчивость;

Влагостойкость и высокая прочность;

Отсутствие специального ухода и возможность восстановления материала после сильного загрязнения;

Высокая огнестойкость;

Высокие эстетические качества: имеет структуру и цвет натуральной древесины;

Экологически безопасен и пригоден для повторной переработки.

Таким образом, МПК является совершенно новым материалом и представляет собой инновационное решение, способное обеспечить высокий уровень техносферной безопасности при одновременном решении экологических проблем. Материал обладает значительным потенциалом для дальнейшего развития и расширения сфер применения в различных отраслях строительства и производства.

Библиографический список

1. Анализ современного состояния проблемы образования отходов и загрязнения водных ресурсов в Российской Федерации / В.К. Кузнецова, Д.А. Тараканов, В.А. Ахметова, И.И. Гиззатуллина // Безопасность и ресурсосбережение в техносфере: сборник материалов IV Международной научно-практической конференции, Краснодар, 29 апреля 2024 года. Краснодар: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный

технологический университет», 2024. С. 191-194.

2. Что такое Кампанели и как его можно использовать в интерьере [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://kampaneli.ru/information/>. Дата обращения: 04.11.2025.

3. Древесно-полимерный композит [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://руни.рф/Древесно-полимерный_композит. Дата обращения: 04.11.2025.

4. Анализ пожарной безопасности на производственных объектах в России за 2017-2023 гг / И.И. Гиззатуллина, Д.А. Тараканов, В.А. Ахметова, В.К. Кузнецова // Проблемы техносферной и экологической безопасности в промышленности, строительстве и городском хозяйстве: материалы III Международной научной конференции, Макеевка, 13 февраля 2025 года. Макеевка: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», 2025. С. 189-192. EDN IBNDFV.

5. Террасная доска. ООО «МПК Урала». Строительные материалы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mpkurala.ru/content/terrasnaya-doska>. Дата обращения: 04.11.2025.

6. Минерально-полимерный композит (МПК) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://str-p.com/landings/mineralno-polimernyy-kompozit/?ysclid=mh81vmoo9x586657888>. Дата обращения: 04.11.2025.

7. Малофеев Р.Е. Инструментарий оценки уровня опасностей в техносфере / Р.Е. Малофеев, М.В. Кудакеев, Д.А. Тараканов // Наука, образование, производство для противодействия техногенным угрозам и решения экологических проблем (Техносферная безопасность - 2025): материалы XXII Международной научно-практической конференции, Уфа, 06 мая 2025 года. Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2025. С. 127-131.

8. Biochar-mediated bioremediation: a sustainable strategy to increase Avena sativa L. tolerance to crude oil soil contamination / R. Fedeli, S. Celletti, D. Alexandrov [et al.] // Environmental Science and Pollution Research. – 2024. – Vol. 31, No. 40. – P. 52774-52783. – DOI 10.1007/s11356-024-34732-6.

© Косенко К.П., Шамакина А.А., Малофеев Р.Е., 2025

А.М. МАКСЮТОВ, П.Д. ОХОТНИКОВА, Н.И. ЗУБАИРОВ

maxiutovalik@yandex.ru

Науч. руковод. – ст. препод. **Дм.А. ТАРАКАНОВ**

Уфимский университет науки и технологий

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Аннотация: статья рассматривает проблемы проектирования автоматических установок пожаротушения (АУПТ), включая недостатки металлических трубопроводов в неотапливаемых помещениях (коррозия, отказы), отсутствие автоматизации проектных работ и методичек для новых материалов. Статистика за 2003–2020 годы указывает на высокую пожарную опасность объектов с легковым автотранспортом.

Ключевые слова: пожарная безопасность; человеческий фактор; металлические трубопроводы; композитные материалы; нормативные требования; методические указания, неотапливаемые помещения; статистика пожаров

Сегодня цена ошибки при проектировании автоматических установок пожаротушения (АУПТ) резко возросла, особенно вследствие человеческого фактора. По этой же причине сохраняется тенденция к отказу от использования новых материалов в АУПТ при их проектировании. Это обуславливается отсутствием обоснованных методических указаний к проектированию и использованию новых материалов в АУПТ и отсутствием автоматизации процессов проектирования, что увеличивает риски отказов АУПТ. В связи с чем всю большую роль играет наличие профильного образования и опыта работы у проектировщиков, занимающихся разработкой проектной документации при проектировании АУПТ. В соответствии со статьей 24 Федерального закона №69-ФЗ и с Постановлением Правительства РФ от 30.11.2021 №2106 заниматься проектированием средств обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений, которые введены в эксплуатацию, могут только аттестованные в МЧС проектировщики с профессиональным образованием в области пожарной безопасности.

Только грамотный специалист может разработать проект АУПТ, соответствующий всем требованиям нормативных документов. Так, важными этапами в проектировании АУПТ являются: расстановка и подбор типов и марки оросителей с учетом их технических характеристик, нормативных требований и конструктивных решений защищаемого объекта; расчет параметров АУПТ – расход, требуемое давление, скорость движения воды на участках, объем и др.; определение оптимальных диаметров и способов

прокладки трубопроводов из условий обеспечения минимальных потерь давления; подбор насосного оборудования и создание спецификации; оформление проектно-рабочей документации по ГОСТ 21.101-2020. В процессе выполнения данных этапов проектировщикам необходимо учитывать множество факторов, таких как габаритные размеры и отделка помещений, расположение потенциальных источников возгорания, особенности архитектурных решений и конструктивных элементов здания и т.д. Все это требует предельного внимания и соблюдения нормативных требований по расстояниям от оросителей до стен и между оросителями, количество которых может достигать несколько сотен (в зависимости от площади объекта), по определению диаметров и прокладке трубопроводов подбору насосного оборудования и т.д.

Сегодня все эти этапы проектировщиками выполняются вручную, поэтому эти процессы являются трудоемкими и занимают много времени. Также проектировщики ограничены выбором металлических материалов в проектировании пожарного трубопровода. Такой выбор может привести к несрабатыванию АУПТ в нужный момент особенно в неотапливаемых помещениях. Связано это с тем, что по нормативным требованиям в таких помещениях необходимо использование исключительно воздухозаполненных АУПТ – пожарный трубопровод в процессе эксплуатации остается заполнен воздухом, т.к. в случае наличия воды в трубопроводе колебания температуры приведут к неисправности АУПТ. Это создает уязвимость в АУПТ. После испытаний на работоспособность или срабатывания в пожарном трубопроводе остается огнетушащее вещество, которое приводит к образованию известковых отложений и коррозии, засоряющих пожарные оросители, что и приводит к несрабатыванию АУПТ в нужный момент.

Типичным примером неотапливаемых помещений являются автостоянки, количество которых сегодня растет. Это связано с тенденцией к увеличению высотного строительства с устройством в зданиях подземных автостоянок для автомобилей – источника пожарной нагрузки, которая постоянно увеличивается из-за количества горючих материалов: в среднем возросло с 9 кг до 90 кг [1]. Так, за период от 2010 до 2018 за рубежом только в Великобритании и Польше произошло 191960 пожаров на легковых автомобилях [2].

В России за период от 2003 до 2020 произошло 295347 пожаров на легковом автотранспорте, со среднегодовым материальным ущербом 1,7 млрд рублей, что составляет около 13% от общих материальных убытков при пожарах (отчеты ВНИИПО МЧС России) [3]. Для наглядной оценки масштаба проблемы и динамики пожаров проанализируем статистические данные по пожарам на легковом автотранспорте в России (рис. 1).

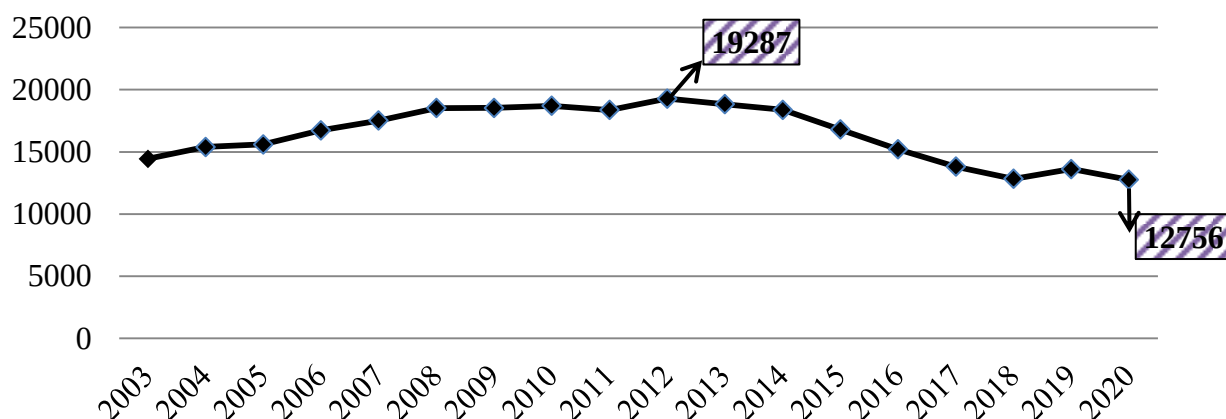


Рис. 1. Динамика количества пожаров на легковых автомобилях в России с 2003 по 2020 год.

Результаты анализа динамики на рис. 1 демонстрируют волнообразную тенденцию с чётко выраженными пиковыми значениями и последующими спадами. В начале рассматриваемого периода показатели относительно стабильные, однако уже к 2011-2012 годам наблюдается значительный рост числа возгораний, достигая максимального значения около 19287 случаев.

После достижения пика в 2012 году прослеживается устойчивая тенденция к снижению количества пожаров. К 2020 году показатель уменьшился до 12756 случаев. Такое снижение может быть обусловлено комплексом факторов: совершенствованием стандартов пожарной безопасности, внедрением усовершенствований в автоматические системы пожаротушения, улучшением качества топлива и смазочных материалов, а также повышением уровня технического обслуживания транспортных средств [4].

Несмотря на тенденцию к снижению пожаров, количество возгораний остается высоким. Это подтверждает, что существующие подходы, в частности повсеместное использование металлических трубопроводов в АУПТ, нуждаются в пересмотре. статистика наглядно доказывает необходимость поиска более надежных материалов, таких как композиты, для повышения эффективности систем тушения в зонах повышенного риска [5, 6].

Учитывая опасность эксплуатации АУПТ из металлических материалов в неотапливаемых помещениях, проектировщики продолжают ограничиваться металлическими материалами в своих работах. Даже несмотря на то, что использование пожарного трубопровода из композиционных материалов разрешено нормативными требованиями при определенных условиях и имеет массу преимуществ: быстрый, удобный и безопасный монтаж; отсутствие дополнительных затрат на обслуживание; долговечность (более 50 лет). Такой выбор проектировщиками обусловлен отсутствием обоснованных методических указаний к проектированию и использованию композиционных труб в АУПТ [7].

Таким образом, в ходе работы выявлены ключевые проблемы проектирования автоматических установок пожаротушения: низкая надежность металлических трубопроводов в неотапливаемых помещениях из-за коррозии и известковых отложений, отсутствие автоматизации проектирования, высокая зависимость от человеческого фактора и ограниченный выбор материалов. Статистика за 2003-2020 годы показывает сохраняющуюся высокую пожарную опасность объектов с автотранспортом. Применение композитных материалов перспективно, но сдерживается отсутствием стандартов проектирования. Решение проблем требует системного подхода: совершенствования нормативной базы, внедрения современных технологий и использования перспективных материалов.

Библиографический список

1. Collier P.C.R. 2011. Car Parks Fires Involving Modern Cars and Stacking Systems. Judgeford, New Zealand: BRANZ Study Report 255, 2011. 108 P.
2. Brzezinska D., Ollesz R., Bryant P. Design car fire size based on fire statistics and experimental data // Fire and Materials. 2020. Vol. 44. P. 1099-1107. <https://doi.org/10.1002/fam.2913>
3. Пожары и пожарная безопасность с 2003-2020 год: Статистический сборник / П.В. Полехин, М.А. Чебуханов, А.А. Козлов, А.Г. Фирсов, В.И. Сибирко, В.С. Гончаренко, Т.А. Чечетина. Под общей редакцией Д.М. Гордиенко. М.: ВНИИПО.
4. Петрова А. Е., Яковлев В. А. Применение автоматических систем пожаротушения в транспортных средствах: Обзор современных технологий и перспектив развития // Научно-исследовательские публикации учредители: ООО «Вэлборн». № 5. С. 23-26.
5. Кондратьев В.С., Ишбулдин Р.И., Лапонов С.В. Способы подачи рабочих сред в аппараты гидромеханических процессов // Естественные и технические науки. 2024. № 11(198). С. 241-243.
6. Моделирование динамики развития пожара на автостоянке с учетом анализа пространственного распределения теплового потока / А. Н. Елизарьев, С. А. Михайлов, Д. А. Уразбахтин [и др.] // Грузовик. 2024. № 1. С. 42-44. DOI 10.36652/1684-1298-2024-1-42-44. EDN UOPESJ.
7. Тараканов Д.А. Анализ рынка программного обеспечения для проектирования автоматических установок пожаротушения // Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права. 2024. № 6(109). С. 247-253.
8. Малофеев Р.Е., Кудакеев М.В., Тараканов Д.А. Инструментарий оценки уровня опасностей в техносфере // Наука, образование, производство для противодействия техногенным угрозам и решения экологических проблем (Техносферная безопасность – 2025): материалы XXII Международной научно-практической конференции. Уфа: УУНиТ, 2025. С. 127-131.

© Максютлов А.М., Охотникова П.Д., Зубаиров Н.И., 2025

М.А. ШАЯХМЕТОВ, К.Р. БАЙРАМГУЛОВА, В.А. ФЕДОСОВ

maxiutovalik@yandex.ru

Науч. руковод. – ст. препод. **Дм. А. ТАРАКАНОВ**

Уфимский университет науки и технологий

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ГОСТИНИЧНЫХ КОМПЛЕКСАХ

Аннотация: в статье анализируется текущая ситуация с пожарами в гостиничных комплексах за период с 2019 по 2023 годы на основе статистических данных. Рассмотрены показатели пожарной безопасности в зданиях классов функциональной пожарной опасности Ф1.2. Выявлена тенденция к снижению числа пожаров, при которой материальный ущерб и человеческие жертвы остаются значительными. Проанализированы типичные причины возгорания и недостатки систем противопожарной защиты на примерах конкретных случаев. Определены основные направления для улучшения системы пожарной безопасности в гостиничных объектах.

Ключевые слова: пожарная безопасность; гостиничные комплексы; противопожарная защита; материальный ущерб; причины возгораний; профилактика пожаров

Анализ ежегодных отчетов Главного управления МЧС России показывает, что количество пожаров, в том числе в гостиничных комплексах, демонстрирует тенденцию к снижению. Тем не менее, материальный ущерб остается на прежнем уровне. Это можно объяснить высокой стоимостью имущества, которое подвергается повреждению или уничтожению в результате пожара, а также значительными затратами на восстановление и ремонт пострадавших объектов, что также требует значительных финансовых ресурсов. [1]. Распределение показателей по ситуации с пожарами в России за последние 5 лет в зданиях с функциональной пожарной опасностью класса Ф1.2, включая гостиницы, общежития, спальные корпуса санаториев и домов отдыха, кемпинги, мотели и пансионаты. представлено в таблице 1.

Таблица 1

Распределение значений показателей обстановки с пожарами, произошедшими за последние 5 лет в зданиях Ф1.2 за 2019-2023 гг.

Показатели/ годы	2019	2020	2021	2022	2023
Количество пожаров	416	347	400	583	438
Погибло, чел.	17	13	21	10	21
Травмировано, чел.	50	15	49	38	42
Прямой материальный ущерб, млн. руб.	37,6	75,4	60,1	89,5	435,6

Из таблицы 1 видно, что число пожаров действительно снижается, что может быть связано с улучшением работы систем предотвращения возгораний и противопожарной защиты. Важную роль играют профилактические, конструктивные и организационные меры, направленные на предотвращение возгораний. Однако анализ статистических данных показывает, что, несмотря на уменьшение количества пожаров, число погибших и пострадавших в результате возгораний увеличивается.

Здания, в которых собирается большое количество людей, требуют особого внимания. В случае пожара это может затруднить эвакуацию и замедлить тушение, что, в свою очередь, может привести к серьезным жертвам. К причинам таких ситуаций можно отнести нарушения норм пожарной безопасности, неработоспособное состояние систем противопожарной защиты, ошибки в проектировании и планировке, а также недостаток необходимых организационных мер.

Так, один из крупных пожаров произошел 23 февраля 1991 года в гостинице Ленинград Санкт-Петербург, в котором погибло 16 человек, включая 9 пожарных. Причины трагедии – поздние сообщения в службу спасения и невозможность подачи воды на верхние этажи. Аналогичная ситуация повторилась в 1995 году в Иркутской гостинице «Сибирь», где при пожаре погибло 7 человек. Здесь к трагедии привели нерабочие пожарные краны и токсичные отделочные материалы.

В XXI веке проблемы сохранились: при пожаре в Ростовском отеле «Топ House» (2017) пожарные не смогли оперативно подъехать к зданию, а горючая отделка фасада способствовала быстрому распространению огня. Исторические примеры Московских гостиниц «России» (1977) и «Москва» (2003) демонстрируют типичные причины возгораний – нарушение правил эксплуатации электрооборудования и проведения огневых работ.

Результаты анализа основных причин возгорания в рассмотренных примерах показывают, что основная причина возникновения пожаров небрежное обращение с огнем. Это включает в себя несоблюдение мер безопасности при работе с инструментами, которые могут вызвать воспламенение, оставленные непотушенные сигареты в номерах и другие подобные действия. Часто пожары происходят из-за неправильной эксплуатации или плохого состояния электроприборов и проводки. Эти факторы могут значительно усугубить последствия пожара затруднить его тушение и эвакуацию.

Одной из частых проблем является неэффективность системы обнаружения пожара, что приводит к запоздалому оповещению о возгорании. В итоге увеличивается площадь пожара, усложняется эвакуация и повышается риск гибели людей. Использование легковоспламеняющихся материалов, таких как дешёвый пластик, способствует быстрому распространению огня. Эти материалы токсичны и выделяют много дыма, что затрудняет эвакуацию и вредит здоровью.

Кроме того, пожары могут возникать из-за отсутствия или неисправности

первичных средств пожаротушения. Все эти факторы в совокупности делают пожары более опасными и затрудняют их предотвращения и ликвидацию.

Ликвидация пожаров в зданиях, где одновременно находится большое количество людей, требует проведения спасательных операций, особенно в часы и функционирования. Согласно статистическим данным, возгорание в развлекательных учреждениях чаще всего происходят во время их работы, когда внутри находится посетители. Многие из таких пожаров приводят к трагическим последствиям, сопровождающимся массовой гибелью людей. В зрелищных заведениях люди могут погибнуть от воздействия токсичных продуктов горения, высокой температуры, недостатка кислорода или вследствие паники [2].

Основные меры по эвакуации людей и тушение пожара возлагаются на администрацию. Представители администрации прерывают отдых посетителей, извиняясь, просят их покинуть зал, выключают все источники света, музыку, открывают все эвакуационные выходы и изучают обслуживающий персонал в соответствии с планом эвакуации. Важно, как можно быстрее освободить зал и направить людей в безопасные зоны. В зависимости от ситуации и доступных ресурсов могут одновременно начаться операции по спасению людей и тушению пожара. Если ресурсов недостаточно для выполнения обеих задач одновременно, следует сосредоточить все усилия на эвакуации людей [3, 4].

Одной из важных проблем является недостаточное осведомлённость людей о правилах противопожарного режима и способах борьбы с огнем. Также стоит отметить общее снижение уровня культуры поведения и недостаточное чувство ответственности среди населения. В случае пожара – это часто приводит к недооценке опасности со стороны посетителей и сотрудников, совершение действий, не способствующих спасению себя и окружающих, в том числе попытки спасения имущества и т. д. Повышение культуры безопасности у людей может значительно снизить количество пожаров и тяжесть их последствий [5,6].

Таким образом, в ходе работы выявлены ключевые проблемы пожарной безопасности в гостиничных комплексах класса Ф1.2 и предложены меры по их решению. Несмотря на снижение числа пожаров, уровень материального ущерба и человеческих жертв остаётся высоким. Статистические данные показывают значительную нестабильность показателей по годам, что требует внедрения более эффективных мер противопожарной защиты.

Библиографический список

1. Кириллова К.А. Анализ динамики пожаров техногенного характера в Российской Федерации в период с 2019 по 2023 год / К.А. Кириллова, Д.А. Тараканов, А.М. Максютков // Полимерные материалы пониженной горючести: Сборник тезисов XII Международной конференции, Балашиха, 09–12 сентября 2025 года. Балашиха: Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС РФ, 2025. С. 230-234. EDN XDHIZM.

2. Красников Е.Д. Пожарная опасность учебных корпусов образовательных организаций // Студенческий форум. 2020. № 34-1(127). С. 73-74. EDN DQXSDF.

3. Байрамгулова К.Р., Тараканов Д.А. Анализ факторов, влияющих на эвакуацию людей при пожаре // Наука, образование, производство для противодействия техногенным угрозам и решения экологических проблем (Техносферная безопасность - 2025): материалы XXII Международной научно-практической конференции, Уфа, 06 мая 2025 года. Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2025. С. 43-47. EDN KLBISS.

4. Малофеев Р.Е. Анализ особенностей обеспечения пожарной безопасности гостиничных комплексов / Р.Е. Малофеев, В.А. Федосов, К.И. Каюмова // Научный аспект. 2024. Т. 68, № 5. С. 9319-9327. EDN DLVYIY.

5. Малофеев Р.Е. Инструментарий оценки уровня опасностей в техносфере / Р.Е. Малофеев, М.В. Кудакеев, Д.А. Тараканов // Наука, образование, производство для противодействия техногенным угрозам и решения экологических проблем (Техносферная безопасность – 2025): материалы XXII Международной научно-практической конференции, Уфа, 06 мая 2025 года. Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2025. С. 127-131. EDN APVYWP.

6. Мухаметзянов М.М., Ерушонков А.Н., Лапонов С.В. Техническое диагностирование и расчёт остаточного ресурса оборудования // Естественные и технические науки. 2025. № 9(208). С. 149-152.

© Максютлов А.М., Байрамгулова К.Р., Федосов В.А., 2025

Р.Р. МАЛИКОВА, С.А. МУСИНА

rmalikova456@gmail.com

Науч. руковод. – канд. геогр. наук, доцент **Э.В. НАФИКОВА**

Уфимский университет науки и технологий

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АУДИТ ПРИМЕНЕНИЯ ОГНЕЗАЩИТНЫХ СОСТАВОВ ДЛЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ: ОЦЕНКА РИСКОВ И ВЫБОР НАИЛУЧШИХ ДОСТУПНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ (НДТ)

Аннотация: статья посвящена комплексной оценке огнезащитных составов для металлических конструкций. Обоснована необходимость учета экологического аспекта в контексте устойчивого развития. Проведен сравнительный анализ технологий нанесения покрытий и систематизированы экологические риски на всех стадиях жизненного цикла. Сформулированы ключевые критерии для экологического аудита.

Ключевые слова: экологический аудит; огнезащитные составы; металлические конструкции; наилучшие доступные технологии (НДТ); оценка экологического риска; устойчивое развитие; огнезащитные краски

Современные требования к безопасности и долговечности зданий и сооружений делают огнезащиту металлических конструкций (МК) обязательным элементом проектирования. В России, согласно данным [1], более 70% промышленных и свыше 50% общественных зданий используют несущий металлокаркас, требующий эффективной огнезащиты. Традиционно при выборе огнезащитного состава основное внимание уделяется его противопожарным характеристикам (предел огнестойкости, группа эффективности), технологичности нанесения и стоимости.

Однако, в условиях глобального тренда на устойчивое развитие и ужесточения экологического законодательства, становится очевидной недостаточность такого подхода. Как подчеркивается в работах [2, 3], жизненный цикл огнезащитных материалов – от производства до утилизации – сопряжен с потенциальным негативным воздействием на окружающую среду и здоровье человека. Многие традиционные составы, особенно на основе органических растворителей и антипиренов (например, галогенированных соединений или соединений бора), могут выделять в процессе эксплуатации летучие органические соединения (ЛОС), а в условиях пожара – высокотоксичные газы (циановодород, оксид углерода) и канцерогенные диоксины [4].

Таким образом, актуальной задачей является интеграция экологического аудита в процесс выбора и применения огнезащитных составов. Такой аудит должен базироваться на оценке рисков на всех этапах жизненного цикла и

способствовать переходу к наилучшим доступным технологиям (НДТ), что соответствует целям государственной политики в области экологического развития РФ [5]. Целью данной статьи является анализ технологий огнезащиты с позиции экологической безопасности и разработка на этой основе критериев для проведения экологического аудита.

На рынке огнезащиты для МК доминируют три основных типа составов: тонкослойные вспучивающиеся краски, толстослойные покрытия (на основе вермикулита, перлита) и терморасширяющиеся композиции. Технология их нанесения и сырьевой состав напрямую определяют их экологический след.

Таблица 1

Сравнительная характеристика технологий нанесения огнезащитных составов

Технология/ тип покрытия	Преимущества	Недостатки	Экологический аспект
1	2	3	4
Тонкослойные вспучивающиеся краски (на водной основе)	Высокая декоративность, малая толщина, простота нанесения (пневматическое распыление, валик), быстрое высыхание.	Чувствительность к условиям нанесения (температура, влажность), высокая стоимость, необходимость точного контроля толщины слоя.	Низкое содержание ЛОС (<30 г/л), минимальные выбросы при нанесении. Риск вымывания водорастворимых антипиренов (фосфаты, меламин) в окружающую среду при повреждении покрытия [6].
Тонкослойные вспучивающиеся краски (на сольвентной основе)	Менее чувствительны к температуре и влажности при нанесении, образуют более прочную пленку.	Высокое содержание ЛОС (до 400-600 г/л), длительное время высыхания, токсичность паров растворителей, пожароопасность при нанесении.	Значительные выбросы ЛОС в атмосферу на этапе нанесения, негативное воздействие на здоровье персонала (требуется СИЗ). Проблема утилизации тары и отходов [3].
Толстослойные покрытия (вермикулитовые, перлитовые, цементные)	Высокая огнестойкость (до R120 и выше), низкая стоимость, нечувствительность к условиям нанесения.	Большая толщина и масса, низкая декоративность, трудоемкость нанесения (шпатель, торкретирование), пыление при эксплуатации.	Пылеобразование при замесе и нанесении – риск респираторных заболеваний у рабочих (силикоз). Использование цемента – высокий

Окончание таблицы 1

1	2	3	4
			углеродный след. Натуральные компоненты (вермикулит) обычно безопасны [7].
Огнезащитные обмазки и пасты (терморасширяющиеся)	Высокая эффективность при относительно небольшой толщине, хорошая адгезия.	Часто требуют применения грунтовок, могут иметь ограниченную атмосферостойкость.	Состав варьируется. Водно-дисперсионные составы предпочтительнее. Возможность содержания антипиренов, мигрирующих в почву и воду [4].

На основе анализа данных, представленных в таблице 1, а также с учетом исследований [2, 7], можно сделать вывод, что с комплексной точки зрения (огнезащитная эффективность, технологичность, экологичность) наилучшими характеристиками обладают современные тонкослойные вспучивающиеся краски на водной основе. Они сочетают высокую эффективность с минимальным воздействием на окружающую среду и персонал на этапе нанесения. Однако их окончательная экологическая оценка невозможна без анализа рисков на всех стадиях жизненного цикла.

Применение огнезащитных составов сопряжено с экологическими рисками на всех этапах их жизненного цикла.

Таблица 2

Основные экологические риски применения огнезащитных составов

Стадия жизненного цикла	Потенциальные риски для окружающей среды и человека
1	2
Производство	Энергозатраты, выбросы парниковых газов, образование токсичных отходов синтеза (например, при производстве галогенированных антипиренов), потребление водных ресурсов.
Транспортировка и хранение	Риск разливов, загрязнения почвы и грунтовых вод при аварийных ситуациях.
Подготовка поверхности и нанесение	Выбросы ЛОС и аэрозолей в атмосферу; образование отходов (тара, абразивные материалы); шумовое и пылевое загрязнение; воздействие на здоровье рабочих (аллергии, астма, интоксикации).

1	2
Эксплуатация	Пыление (для толстослойных покрытий); миграция компонентов (антипиренов, пластификаторов) в почву, воду, воздух помещений; постепенная деградация покрытия с выделением продуктов распада.
Пожар	Образование высокотоксичных продуктов горения (HCN, CO, диоксины, бенз(а)пирен и др.), зависящее от химического состава покрытия [4, 8].
Утилизация/Демонтаж	Образование строительных отходов, загрязненных тяжелыми металлами и стойкими органическими соединениями, сложность вторичной переработки металлоконструкций.

Проведенный анализ позволяет сформулировать ключевые критерии, которые должны быть положены в основу экологического аудита применения огнезащитных составов. Эти критерии наиболее полно отражают их комплексное воздействие на окружающую среду и человека:

Критерий химической безопасности состава: Содержание летучих органических соединений (ЛОС), тяжелых металлов, стойких органических загрязнителей (СОЗ), формальдегида, канцерогенных и мутагенных веществ. Приоритет – составам на водной основе с «зеленой» химией антипиренов (например, интенуменсирующие системы на основе меламина и пентаэритрита)

Критерий эмиссии в течение жизненного цикла: Оценка выбросов вредных веществ не только при нанесении, но и в процессе длительной эксплуатации (миграция компонентов) и, что особенно важно, в условиях пожара. Необходимо руководствоваться данными химического анализа продуктов горения конкретного состава [4].

Критерий ресурсо- и энергоэффективности: Расход материала на единицу защищаемой площади, энергозатраты на подготовку поверхности и нанесение, срок службы покрытия. Технологии, требующие частого обновления, обладают большим совокупным экологическим следом [5].

Критерий образования отходов и возможности утилизации: Количество и класс опасности образующихся отходов производства, потребления и демонтажа. Предпочтение следует отдавать составам, позволяющим проводить механическую очистку металла без образования высокоопасных отходов.

Комплексный экологический аудит применения огнезащитных составов для металлических конструкций является неотъемлемым элементом ответственного проектирования и строительства в XXI веке. Выбор технологии должен осуществляться не только по критериям огнестойкости и стоимости, но и на основе оценки рисков для окружающей среды и здоровья человека на всех стадиях жизненного цикла.

Проведенный анализ показал, что современные водно-дисперсионные вспучивающиеся краски, соответствующие принципам НДТ, имеют

значительные экологические преимущества перед сольвентными аналогами и некоторыми толстослойными покрытиями. Для объективной оценки предлагается использовать систему критериев, включающую химическую безопасность состава, уровень эмиссии вредных веществ в нормальных и аварийных условиях, ресурсоэффективность и параметры образования отходов. Внедрение данного подхода в практику экологического аудита будет способствовать минимизации негативного антропогенного воздействия, снижению профессиональных рисков и переходу строительной отрасли на рельсы устойчивого развития.

Библиографический список

1. Петров А.В., Сидоров К.А. Современное состояние и перспективы рынка огнезащитных материалов в Российской Федерации // Пожаровзрывобезопасность. 2021. Т. 30, № 5. С. 45-53.
2. Кузнецова Е.Н., Воронов И.М. Экологические аспекты применения огнезащитных композиций в строительстве // Экология урбанизированных территорий. 2022. № 3. С. 28-35.
3. Григорьев П.С., Белова А.А. Оценка выбросов летучих органических соединений при нанесении лакокрасочных материалов в строительстве // Безопасность в техносфере. 2023. № 1(67). С. 22-29.
4. Семенов И.В., Калинин А.А. Токсичность продуктов горения современных строительных материалов // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15, № 12. С. 1620-1631.
5. Федеральный закон от 21.07.2014 № 219-ФЗ (ред. от 02.07.2021) «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации». Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
6. Морозов В.И., Жукова Т.Л. Исследование миграции антипиренов из полимерных огнезащитных покрытий // Пластические массы. 2024. № 1-2. С. 44-48.
7. Абрамов Д.С., Федотова К.Р. Сравнительный анализ экологического следа толстослойных и тонкослойных огнезащитных покрытий // Строительные материалы. 2023. № 8. С. 60-65.
8. Тихонов Д.А., Лебедева О.С. Наилучшие доступные технологии в области пожарной безопасности: выбор экологически безопасных огнезащитных составов // Надежность и безопасность энергетики. 2022. Т. 15, № 4. С. 345-352.

© Маликова Р.Р., Нафикова Э.В., Мусина С.А., 2025

Р.Р. МАЛИКОВА

rmalikova456@gmail.com

Науч. руковод. – канд. геогр. наук, доцент **Э.В. НАФИКОВА**

Уфимский университет науки и технологий

ОСОБЕННОСТИ ОГНЕЗАЩИТНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Аннотация: статья посвящена актуальной проблеме обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений, в особенности в топливно-энергетическом комплексе (ТЭК). В работе анализируется действующая нормативная база, регулирующая учет температурных режимов при оценке огнестойкости, и выявляются ее недостатки. Предложены потенциальные направления совершенствования системы обеспечения огнестойкости.

Ключевые слова: огнестойкие конструкции; огнезащитная обработка; эффективность огнестойкости; температурные режимы; методики оценки; эксплуатационные условия; климатические факторы

Обеспечение пожарной безопасности зданий и сооружений является приоритетной задачей современного строительства. Одним из ключевых элементов системы пожарной защиты являются огнестойкие конструкции, предназначенные для сохранения несущей способности и предотвращения распространения огня в течение определенного времени.

Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) играет ключевую роль в экономике и инфраструктуре страны. Металлические конструкции, используемые в этом секторе, подвержены воздействию высоких температур и огня, что требует применения эффективных систем огнезащиты. Обеспечение огнезащитной обработки конструкций не только повышает их устойчивость к огневым воздействиям, но и защищает сотрудников и оборудование [1].

Однако, существующие методы оценки эффективности огнестойких конструкций, как правило, не учитывают влияние различных физико-климатических факторов, что может приводить к занижению или завышению реального уровня защиты. В связи с этим, проблема разработки адекватных критериев оценки огнестойкости с учетом воздействия окружающей среды является актуальной и требует комплексного решения [2].

Пожары в ТЭК могут иметь катастрофические последствия: разрушение оборудования, утечка опасных веществ, угрозу жизни людей. Инвестиции в огнезащитные технологии позволяют минимизировать риски и сокращают расходы на восстановление и страхование. Государственные и международные стандарты требуют от предприятий ТЭК внедрения мер по огнезащите.

Одной из ключевых проблем в области обеспечения огнестойкости

строительных конструкций является необходимость учета особенностей различных температурных режимов при проведении расчетов и испытаний, в том числе при оценке эффективности огнезащитных мероприятий. Данный аспект приобретает особую значимость в связи с разнообразием сценариев пожара и условий эксплуатации строительных объектов. Анализ нормативной базы, регулирующей вопросы обеспечения огнестойкости, позволяет выявить следующие положения [3,4]:

Таблица 1

Нормативные документы, регламентирующие учет температурных режимов при оценке огнестойкости строительных конструкций

Документ	Ключевые положения
СП 1325800.2023	Для выполнения требований к пределам огнестойкости стальных конструкций следует применять стандартный температурный режим пожара. Допускается нормирование времени огнестойкости при других температурных режимах в специально оговорённых случаях, установленных нормативными документами по пожарной безопасности.
СП 2.13130.2020 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты» определяются в специально оговорённых случаях	Пределы огнестойкости строительных конструкций по альтернативным температурным режимам.
ГОСТ Р 53295–2009 «Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности»	Для стальных конструкций дополнительно должно быть проведено огневое испытание образца стальной колонны или горизонтальной балки с учётом приложения к ним статической нагрузки.
ГОСТ Р 71618-2024 «Конструкции стальные строительные с огнезащитными покрытиями. Методы испытаний антикоррозионных свойств и стойкости к воздействию климатических факторов в процессе эксплуатации»	Предписывает проводить испытания антикоррозионных и климатических свойств огнезащитных покрытий после (или в процессе) воздействия определенных температурных режимов, имитирующих условия эксплуатации. Цель – оценить, как эти факторы (включая температуру) влияют на долговечность и защитные свойства огнезащитного покрытия, а, следовательно, косвенно – на сохранение его огнезащитной функции в течение срока эксплуатации.

Таким образом, действующие нормативные документы ориентированы на применение стандартного температурного режима пожара при оценке огнестойкости строительных конструкций. Однако, в ряде случаев (специально оговорённых нормативными документами по пожарной безопасности), допускается использование альтернативных температурных режимов,

отражающих специфические условия эксплуатации и возможные сценарии пожара на конкретном объекте. Необходимо отметить, что применение альтернативных температурных режимов требует дополнительного обоснования и подтверждения соответствия требованиям пожарной безопасности [5].

Существующие нормативные документы, регламентирующие требования к огнестойкости строительных конструкций, зданий и сооружений, обладают рядом недостатков, препятствующих эффективному обеспечению пожарной безопасности. Для наглядной систематизации выявленных проблем и определения путей их решения, целесообразно представить сравнительную таблицу, отражающую суть каждой проблемы и потенциальные направления совершенствования системы обеспечения огнестойкости [6,7].

Таблица 2

Проблемы и потенциальные направления совершенствования обеспечения огнестойкости металлических конструкций

Проблема	Описание	Потенциальные направления решения
1	2	3
Несовершенство существующих требований	Требования к огнестойкости могут быть избыточными, не учитывать альтернативные сценарии развития пожара и реальные условия эксплуатации объекта.	1. Разработка дифференцированных требований к огнестойкости, учитывающих функциональное назначение здания, пожарную нагрузку и наличие систем автоматического пожаротушения. 2. Учет вероятностных характеристик пожара при определении требуемых пределов огнестойкости строительных конструкций.
Отсутствие способов подтверждения соответствия строительных конструкций установленным нормативным требованиям на огнестойкость (расчетные методы)	Недостаточно развиты и валидированы расчетные методы и программное обеспечение для оценки фактических пределов огнестойкости строительных конструкций	1. Разработка и валидация расчетных методов, основанных на современных моделях тепломассопереноса и деформационного поведения строительных конструкций при высоких температурах. 2. Внедрение систем сертификации программного обеспечения для расчета огнестойкости строительных конструкций.
Недостаток экспресс-методов и методик оценки параметров огнестойкости строительных конструкций на этапе эксплуатации, капитального	Отсутствуют оперативные и экономичные методы оценки изменения огнезащитных свойств строительных конструкций в	1. Разработка экспресс-методов неразрушающего контроля огнезащитных покрытий на основе современных технологий (термография, ультразвук, электромагнитные методы). 2. Разработка нормативной базы, регламентирующей порядок

1	2	3
ремонта, реконструкции	процессе эксплуатации, что затрудняет контроль за их состоянием.	проведения обследований строительных конструкций на предмет соответствия требованиям огнестойкости в процессе эксплуатации.
Отсутствие представлений об огнезащитной эффективности в условиях углеводородного горения. нефтегазового комплекса	Недостаточно изучено поведение огнезащитных материалов при воздействии пламени, образующегося при горении углеводородного топлива, что особенно актуально для объектов.	1. Проведение исследований по определению влияния углеводородного горения на огнезащитные свойства различных материалов. 2. Разработка специализированных составов, предназначенных для применения на объектах нефтегазового комплекса.
Невозможность оценки огнезащитных свойств покрытий в условиях агрессивного воздействия окружающей среды (перепады температур, влажность)	Огнезащитные покрытия могут терять свои свойства под воздействием климатических факторов, что снижает общую огнестойкость строительных конструкций.	1. Разработка методик оценки влияния климатических факторов на долговечность и огнезащитную эффективность покрытий. 2. Разработка огнезащитных составов, устойчивых к воздействию агрессивных факторов окружающей среды. 3. Внедрение систем мониторинга состояния огнезащитных покрытий в процессе эксплуатации.

Решение перечисленных проблем требует комплексного подхода, включающего совершенствование нормативной базы, разработку новых методик расчета и экспериментальных исследований, а также внедрение современных технологий мониторинга и контроля состояния огнезащитных конструкций. Ориентация на реальные условия температурных режимов горения (пожаров) и учет климатических факторов позволят повысить эффективность систем обеспечения огнестойкости строительных объектов и обеспечить высокий уровень пожарной безопасности.

Библиографический список

1. Давлетов Р.Р., Нафикова Э.В. Анализ функционирования объекта по производству сжиженного природного газа с точки зрения экологической и пожарной опасности // Прикладная физика и математика. 2024. № 4. С. 3-11.
2. Елизарьев А.Н., Михайлов С.А., Уразбахтин Д.А. Моделирование

динамики развития пожара на автостоянке с учетом анализа пространственного распределения теплового потока // Грузовик. 2024. № 1. С. 42-44.

3. Малышева Е.М., Насырова Э.С., Чашникова А.А. Нормативное обоснование применения неметаллических труб в системе пожаротушения автостоянок // Проблемы техносферной и экологической безопасности в промышленности, строительстве и городском хозяйстве: материалы III Международной научной конференции. Макеевка, 2025. С. 46-48.

4. Маликова Р. Р. Проектирование системы получения новых материалов для защиты металлических конструкций // Мавлютовские чтения: Материалы XVIII Всероссийской молодёжной научной конференции. В 9-ти томах, Уфа, 25–29 ноября 2024 года. Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2024. С. 77-80.

5. Григорьевский В.В., Соколов П.Э. Огнезащита строительных конструкций в малоэтажном строительстве // Малоэтажное строительство в рамках Национального проекта «Доступное и комфортное жилье гражданам России: технологии и материалы, проблемы и перспективы развития в Волгоградской области»: материалы Международной научно-практической конференции, Волгоград, 15-16 декабря 2009 года. Волгоград: Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 2009. С. 73-75.

6. Пчельников А.В., Пичугин А.П., Строкова В.В. Состояние и пути совершенствования нормативно-технической базы России по защите строительных металлических конструкций лакокрасочными материалами // Строительные материалы. 2025. № 5. С. 43-51.

7. Джафаров Э.А., Столяров С.О., Куянов А.В., Дали Ф.А. Проблемные вопросы обеспечения требуемых пределов огнестойкости строительных конструкций объектов защиты // Пожарная безопасность объектов капитального строительства. Нормативы, проектирование, устройство и эксплуатация: Материалы научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 25 марта 2021 года. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. 2021. С. 52-54.

© Маликова Р.Р., 2025

Р.Е. МАЛОФЕЕВ, А.И. ХАЙРУЛЛИН, Н.И. ЗУБАИРОВ

malofeev_92@inbox.ru

Науч. руковод. – доцент, канд. геогр. наук, **А.Н. ЕЛИЗАРЬЕВ**

Уфимский университет науки и технологий

ВТОРИЧНЫЕ ПОРАЖАЮЩИЕ ФАКТОРЫ ЭФФЕКТА BLEVE И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РАЗВИТИЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ

Аннотация: в статье рассмотрены вторичные поражающие факторы, возникающие после эффекта BLEVE. Проведен анализ наиболее характерных последствий, при разрушении резервуара. Предложена классификация вторичных эффектов. Отмечено, что вторичные процессы оказывают более масштабное воздействие. Предложен подход к включению оценки вторичных эффектов в методики прогнозирования и ликвидации аварий, связанных с BLEVE.

Ключевые слова: BLEVE; вторичные поражающие факторы; взрыв; пожар; промышленная безопасность; систематизация

Эффект BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) относится к числу наиболее опасных явлений, сопровождающих аварии на объектах хранения и транспортировки веществ под давлением. Как правило, он характеризуется разрушением резервуара с последующим мгновенным испарением или воспламенением перегретой жидкости, ударной волны и с возможным образованием огненного шара. Большинство исследований сосредоточено на анализе первичных факторов, таких как величина избыточного давления и интенсивность теплового излучения, однако практика ликвидации последствий таких аварий показывает, что именно вторичные поражающие факторы определяют длительность и масштаб последствий данного эффекта.

К вторичным относятся процессы, развивающиеся после разрушения резервуара: повторные возгорания, выброс и распространение токсичных веществ, механическое воздействие фрагментов на рядом стоящие конструкции, загрязнение почвы и атмосферы. Во многих случаях совокупность этих факторов приводит к формированию многоочаговых пожаров и разрушению соседних резервуаров [1,2].

Несмотря на то, что многие поражающие факторы подробно изучались, системный подход к их комплексной оценке в едином процессе BLEVE остается недостаточно разработанным. Отсутствие единой классификации вторичных эффектов значительно затрудняет оценку риска и планирование мер ликвидации последствий аварий. Это, в свою очередь, подчеркивает необходимость дальнейших исследований в данной области для создания

обобщенной базы данных, которая даст возможность упрощения предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций такого типа [3-6].

В данной работе предлагается систематизировать вторичные поражающие факторы на основе анализа литературных источников и данных о чрезвычайных ситуациях. Такая классификация предложена в таблице 1.

Таблица 1

Вторичные поражающие факторы

Вторичный фактор	Источник возникновения	Основные последствия	Меры снижения
Термический	Возгорание паров и проливов, контакт горячих фрагментов с легковоспламеняющимися веществами	Вторичные возгорания, плавление конструкций	Внедрение мер автоматического охлаждения резервуаров, локализация проливов, установка защитных экранов между резервуарами
Механический	Разлет фрагментов резервуара, ударная волна	Повреждение оборудования, разрушение соседних емкостей	Установка защитных экранов между резервуарами, увеличение расстояний между резервуарами
Экологический	Испарение токсичных веществ, пролив различных веществ и попадание в почву и воду	Загрязнение среды	Мониторинг показателей загрязнения после ЧС, необходимость обвалования территории резервуарных парков

Данная классификация позволяет рассматривать BLEVE как многоступенчатый процесс, включающий не только физическую фазу взрыва, но и комплекс последующих явлений, требующих отдельных мер реагирования.

Анализ подобных чрезвычайных ситуаций подтверждает, что вторичные поражающие факторы значительно увеличивают масштаб последствий.

Так, в Дир-Парке взрыв железнодорожной цистерны с метакриловой кислотой сопровождался образованием токсичного облака, что вынудило эвакуировать население в радиусе более километра. Несмотря на отсутствие жертв, химическое загрязнение сохранялось несколько суток.

В Нью-Мексико на складе GCL резервуар взрывается вследствие механического воздействия, что приводит к взрыву нескольких других

резервуаров, в результате чего образуются огненные шары, которые распространяют пламя за пределы территории.

Подобные случаи подтверждают, что вторичные процессы зачастую оказываются более разрушительными, чем сам момент взрыва, особенно при плотной застройке или наличии соседних резервуаров.

Развитие аварии после BLEVE можно представить в виде последовательности этапов:

Первичный взрыв.

Воздействие на соседние объекты.

Формирование вторичных очагов возгорания.

Загрязнение окружающей среды.

Таким образом, эффект BLEVE запускает цепную реакцию, в которой каждый этап делает чрезвычайную ситуацию все более опасной, что требует более углубленного анализа и комплексной оценки ситуации, как при предотвращении, так и при предупреждении таких угроз. Для этого предлагается:

1. Включать вторичные эффекты в оценку зон чрезвычайной ситуации, а именно прогнозировать не только интенсивность теплового излучения огненного шара, но и возможные зоны пролива и распространения вредных веществ.

2. Организовывать постоянный экологический мониторинг после ликвидации последствий BLEVE для выявления загрязнений воздуха и почвы.

3. Применять автоматизированные системы охлаждения каждого резервуара.

4. Внедрение карты вторичных угроз для потенциально опасных объектов, как часть планов ликвидации чрезвычайной ситуации на объектах [5-7].

Данный эффект – это не только взрыв, но и многоступенчатое явление, сопровождающееся множеством вторичных поражающих факторов, которые во многом определяют масштаб и длительность чрезвычайной ситуации.

Проведённая классификация вторичных поражающих факторов, с учетом оценки рисков подобных ситуаций, позволяет систематизировать их по характеру проявления и воздействию на среду.

Библиографический список

1. Елизарьев А.Н., Ахтямов Р.Г., Киселева М.А., Тараканов Д.А., Тараканов Д.А., Яковлев Д.О., Михайлов П.А. Развитие методических основ оценки возникновения эффекта BLEVE при авариях на объектах хранения топлив // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2019. Т. 16. № 1. С. 157-167.

2. Терёхин Г.А. Моделирование процесса взрыва судна на примере плавучей регазификационной установки «Маршал Василевский» // Молодой ученый. 2024. № 8 (507). С. 10-15.

3. Комаров А.А. Определение поражающих факторов при авариях, сопровождаемых огненными шарами / А.А. Комаров, Р.Р. Шангараев // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2024. 3.

4. Старовойтова Н.Н. Сравнение и анализ методик расчета избыточного давления взрыва BLEVE / Н.Н. Старовойтова, А.П. Бызов // Актуальные проблемы экологии и охраны труда: Сборник статей XV Международной научно-практической конференции, Курск, 31 мая 2023 года. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2023. С. 237-241. EDN QKYAVO.

5. Пространственный анализ разливов нефти и нефтепродуктов на территории Республики Башкортостан с использованием геоинформационных систем / Д.В. Александров, Э.В. Нафикова, А. А. Асылбекова [и др.] // Экология и промышленность России. 2025. Т. 29, № 10. С. 60-66. DOI 10.18412/1816-0395-2025-10-60-66. EDN OUNWFM.

6. Шангараев Р.Р. Определение параметров поражающих факторов при авариях, сопровождающихся огневыми шарами: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Шангараев Рустам Рашитович, 2024. 166 с. EDN YVNDYC.

7. Назаров Г.В., Кондратьев П.С. Экологические последствия аварий на объектах нефтегазового комплекса // Экология и промышленность России. 2022. № 9. С. 52–59.

© Малофеев Р.Е., Хайруллин А.И., Зубаиров Н.И., 2025

В.Н. МАНСУРОВ, И.В. КУСОВА

mansurov_slava@list.ru

Науч. руковод. – ст. препод. **С.А. МУСИНА**

Уфимский университет науки и технологий

ФИТОРЕМЕДИАЦИЯ КАК ОБЪЕКТ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ: МЕТОДЫ И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Аннотация: в статье рассматривается актуальность применения фиторемедиации как экологически безопасной и экономически выгодной альтернативы традиционным методам очистки сточных вод от тяжелых металлов. Систематизированы основные методы фиторемедиации (ризофилтрация, фитоэкстракция, фитостабилизация, фитоволатилизация), описаны их механизмы действия, области применения и примеры растений-ремедиантов.

Ключевые слова: тяжелые металлы; сточные воды; фиторемедиация; ионы тяжелых металлов; загрязнение

В двадцать первом веке, когда водные ресурсы используются практически во всех сферах нашей жизни, проблема очистки сточных вод становится все более актуальной. Благодаря своей стойкости, токсичности, способности накапливаться и эффекту суммации тяжелые металлы выделяются среди других загрязнителей в сточных водах своей устойчивостью и трудностью очистки. Это привело к созданию различных методов по очистке сточных вод. Традиционные методы вод такие как адсорбция, химическое осаждение, коагуляция и другие требуют высоких капитальных и эксплуатационных затрат, образуют вторичные отходы после очистки которые также необходимо утилизировать или обезвреживать [1]. Одним из альтернативных подходов к очистке, который позволяет сократить издержки является фиторемедиация, основанная на способности растений поглощать, аккумулировать и трансформировать загрязняющие вещества [2]. В России ее применение описано в Федеральном законе - №7 «Об охране окружающей среды», в котором говорится о применении наилучших доступных технологий (НДТ), для снижения негативного воздействия на окружающую среду. При этом следует подчеркнуть, что на сегодняшний день не существует информационно-технических справочников по НДТ (ИТС), которые бы регламентировали применение фиторемедиации. Область применения НДТ, а также действия с отходами очистки сточных вод указаны в информационно-техническом справочнике (ИТС 15-2016), который, однако, не охватывает эту технологию.

Целью данной статьи является систематизация данных о фиторемедиационных методах очистки сточных вод от тяжелых металлов и критериев для их оценки их эффективности в рамках осуществления экологической экспертизы.

Фиторемедиация является комплексом методов, каждый из которых имеет свой механизм действия и область применения (табл. 1). Основными методами являются ризофильтрация, фитоэкстракция, фитостабилизация и фитоволатизация (фитоволатизация) [3].

Метод ризофильтрации основан на способности водных высших растений аккумулировать тяжелые металлы в корнях или надземных частях растения [4]. Данный метод эффективен при очистке неглубоких водоемов и грунтовых вод.

Фитоэкстракция – растения-гипераккумуляторы поглощают тяжелые металлы многократно превышающее их концентрации в почве и транспортируют их с последующим накоплением в побегах и листьях. После накопления критической массы загрязняющих веществ, надземная масса собирается и утилизируется [4].

Фитостабилизация – растения иммобилизуют тяжелые металлы в почве или донных отложениях, предотвращая их вымывание и распространение с грунтовыми водами или ветровой эрозией. Это достигается за счет сорбции на корнях, осаждения или комплексообразования в ризосфере.

Фитоволатизация – основана на способности некоторых растений [5] поглощать определенные металлы (например, селен, ртуть), трансформировать их в летучие формы и выделять в атмосферу через листья в процессе транспирации. Применение этого метода требует тщательной оценки рисков загрязнения атмосферы [4].

Таблица 1

Методы фиторемедиации

Метод	Механизм действия	Пример растений
Ризофильтрация	Адсорбция, абсорбция	Рогоз узколистный, Азолла, Пистия, Эйхорния.
Фитоэкстракция	Гипераккумуляция	Ситник членистый, частуха болотная, рогоз широколистный [6]
Фитостабилизация	Осадительно-сорбционное комплексообразование	Ряска горбатая, роголистник погруженный
Фитоволатизация	Волатизация через листья	Роголистник, Элодея, Водяной геопит

Фиторемедиация как комплекс природных технологий очистки сточных вод обладает рядом преимуществ, которые делают ее стратегически важной в контексте устойчивого развития и экологической безопасности. В отличие от энергоемких и дорогостоящих традиционных методов, эти технологии используют естественные метаболические процессы растений, что обеспечивает экономическую эффективность, экологическую безопасность и

возможность проведения очистки по технологии *in situ*. Различные методы фиторемедиации действуют синергетически, обеспечивая многоуровневую очистку. Ризофилтрация позволяет эффективно извлекать тяжелые металлы и радионуклиды из водной среды с помощью развитой корневой системы таких растений, как подсолнечник или рогоз. Фитоэкстракция использует уникальную способность растений-гипераккумуляторов концентрировать загрязняющие вещества в своей биомассе в количествах, в тысячи раз превышающих их содержание в окружающей среде, с последующей утилизацией или даже рециклингом ценных металлов. Фитостабилизация иммобилизует поллютанты в донных отложениях, предотвращая их миграцию с грунтовыми водами. Фитоволатилизация, несмотря на спорность, обеспечивает трансформацию определенных металлов, таких как селен и ртуть, в менее токсичные летучие формы и их удаление из водной экосистемы.

Несмотря на экологичность и потенциально низкую стоимость, методы фиторемедиации обладают существенными недостатками, ограничивающими их широкое применение. Главными минусами являются крайне длительный срок очистки, занимающий годы и даже десятилетия, и избирательность действия, поскольку каждое растение эффективно лишь против ограниченного круга загрязнителей. Глубина очистки ограничена зоной проникновения корней, что делает методы непригодными для глубоких загрязнений, а эффективность сильно зависит от климата и сезона.

Перечисленные ранее методы имеют свои недостатки. Ризофилтрация применима только для неглубоких водоемов, а гибель растений приводит к вторичному загрязнению воды. Фитоэкстракция сталкивается с ключевой проблемой утилизации собранной ядовитой биомассы, которая является опасными отходами, а сам процесс накопления металлов очень медленный. Фитостабилизация не очищает почву, а лишь "консервирует" загрязнение на месте, требуя постоянного мониторинга и обслуживания растительного покрова, так как риск распространения токсинов сохраняется. Фитоволатилизация переводит загрязнители из почвы в атмосферу, создавая непредсказуемый риск загрязнения воздуха токсичными летучими соединениями и встречая законное сопротивление населения.

Важным контекстом для применения фиторемедиации является общее состояние почвенного покрова. Как отмечают Н. Г. Курамшина, С. А. Мусина, И. В. Кусова, в России около 130 млн. га сельскохозяйственных угодий являются деградированными, причем наибольшие потери гумуса связаны с эрозией [7]. Поскольку фиторемедиационные системы часто интегрируются в ландшафт, их эффективность напрямую зависит от сохранности и качества почвенного покрова, который выступает буфером и средой для роста растений-ремедиантов. Таким образом, борьба с деградацией земель является важным фоном для успешного внедрения природоохранных технологий, включая фиторемедиацию.

Оценка эффективности каждого метода фиторемедиации требует использования специфических критериев, которые позволяют количественно и

качественно определить успешность процесса очистки от тяжелых металлов.

Для ризофилтрации критерием будет служить эффективность очистки воды, выраженная в проценте снижения концентрации тяжелых металлов за единицу времени, что подтверждается исследованиями [4], например, тростника и рогоза, демонстрирующими высокое снижение концентрации цинка. Также значима способность удержания металла в корневой системе, который указывает на долю поглощенных загрязнителей, прочно связанных в корнях без транслокации в побеги. Важным практическим параметром является скорость поглощения – объем загрязнителя, ассимилируемый корневой системой из воды за определенный временной интервал.

Для метода фитоэкстракции ключевыми являются несколько показателей.

Биоаккумуляционный фактор показывает способность растения аккумулировать металл в своих тканях по сравнению с его концентрацией в окружающей среде. Высокоэффективными считаются растения-гипераккумуляторы, накапливающие металлы в своих растительных частях, например Незабудка альпийская, Лютик ползучий, Ситник членистый, частуха болотная, рогоз широколистный. Коэффициент транслокации, который отражает эффективность транспорта металлов из корневой системы в надземные органы. И индекс толерантности, определяющий устойчивость растения к токсическому воздействию и его способность сохранять продуктивность, и такой параметр, как урожайность биомассы, поскольку чем она выше, тем выше общий объем извлеченных загрязнителей.

Главным критерием фитостабилизации выступает снижение подвижности металлов, которое оценивается по изменению концентрации почве или донных отложениях. Наряду с этим, оценивается стабильность образовавшихся соединений, то есть долговременность иммобилизации металлов в корневой зоне.

Для фитоволатилизации, как метода, сопряженного с выбросом веществ в атмосферу, является критерий токсичность летучих соединений, требующий оценки того, насколько выделяемые в атмосферу соединения менее опасны по сравнению с исходной формой загрязнителя.

Фиторемедиация представляет собой перспективный и экологически сбалансированный объект для экологической экспертизы в рамках применения наилучших доступных технологий для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов. Несмотря на существующие ограничения, связанные с продолжительностью процесса и глубиной очистки, ее преимущества – экономическая эффективность, экологическая безопасность и эстетичность – делают ее целесообразным решением, особенно для доочистки стоков на малых и средних очистных сооружениях, а также в сочетании с традиционными методами в качестве завершающей стадии.

Для успешного внедрения фиторемедиации в систему НДТ необходимы дальнейшие исследования в области генной инженерии растений для повышения их толерантности и аккумуляционного потенциала, а также разработка четких регламентирующих, нормативных документов и критериев

оценки эффективности для органов экологической экспертизы. Учет специфических условий места применения, правильный подбор видов растений-гипераккумуляторов и комплексный подход к проектированию таких систем позволят в полной мере реализовать потенциал фиторемедиации как важного элемента в арсенале наилучших доступных технологий России.

Библиографический список

1. Sharma JK, Kumar N, Singh NP and Santal AR (2023) Phytoremediation technologies and their mechanism for removal of heavy metal from contaminated soil: An approach for a sustainable environment. *Front. Plant Sci.* 14:1076876. doi: 10.3389/fpls.2023.1076876
2. Морозова М.А. Фиторемедиация как метод очистки почв // *Academy*. 2018. №6 (33).
3. Елизарьева Е.Н., Янбаев Ю.А., Кулагин А.Ю. Особенности выбора фиторемедиационных технологий очистки почв и сточных вод от ионов тяжелых металлов // *Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле»*. 2016. №3.
4. Khan AU, Khan AN, Waris A, Ilyas M, Zamel D. Phytoremediation of pollutants from wastewater: A concise review // *Open Life Sci.* 2022. May 13; 17(1):488-496. doi: 10.1515/biol-2022-0056.
5. Sakakibara M., Ohmori Y., Ha NTH, Sano S., Sera K. Phytoremediation of heavy metal-contaminated water and sediment by *Eleocharis acicularis* // *CLEAN–Soil Air Water*. 2011. 39(8). 735-41.
6. Пашкевич М.А., Коротаева А.Э. Оценка эффективности процесса фитоэкстракции при очистке карьерных сточных вод // *ГИАБ*. 2022. № 6-1.
7. Курамшина Н.Г., Мусина С.А., Кусова И.В. Почвы России в балансе углерода: состояние, проблемы // *Экологические чтения - 2024: сборник материалов XV Национальной научно-практической конференции*, Омск, 04–05 июня 2024 года. Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2024. С. 532-537.

© Мансуров В.Н., Кусова И.В., 2025

В.Н. МАНСУРОВ, И.В. КУСОВА

mansurov_slava@list.ru

Науч. руковод. – канд. геогр. наук, доцент **Э.В. НАФИКОВА**

Уфимский университет науки и технологий

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ ФИТОРЕМЕДИАЦИИ

Аннотация: в статье произведен обзор технологии фиторемедиации: фитоэкстракция, фитостабилизация, фитодеградация, фитофилтрация и фитоволатилизация. Приводятся примеры эффективности технологии на основе полевых исследований, в том числе по использованию ивы для очистки почв от тяжелых металлов (марганца, меди, цинка). Отмечена способность растений очищать атмосферный воздух от тяжелых металлов, таких как ртуть.

Ключевые слова: фиторемедиация; очистка окружающей среды; тяжелые металлы; фитоэкстракция; фитостабилизация; фитодеградация; растения-гипераккумуляторы; загрязнение почв

В условиях растущей антропогенной нагрузки на экосистемы особую актуальность приобретают разработка и внедрение эффективных технологий восстановления загрязненных территорий. Традиционные методы очистки почв, вод и воздуха зачастую требуют значительных финансовых затрат, являются энергоемкими и могут приводить к вторичному загрязнению окружающей среды [1]. В этой связи фиторемедиация – технология, использующая растения и ассоциированные с ними микроорганизмы для удаления, разложения или обезвреживания загрязняющих веществ, – представляется экономически и экологически обоснованной альтернативой.

Актуальность фиторемедиации обусловлена ее пассивностью, способностью сохранять структуру и плодородие почв, а также низкой капиталоемкостью. Цель данной статьи – систематизировать современные представления о механизмах, эффективности и практическом применении фиторемедиации для детоксикации окружающей среды от неорганических и органических загрязнителей.

Эффективность данного метода обеспечивается комбинацией нескольких основных технологий и механизмов, ключевыми из которых являются фитоэкстракция, фитостабилизация и фитодеградация.

Например, фитоэкстракция представляет собой процесс поглощения и накопления загрязняющих веществ в тканях растений с последующим их удалением при сборе биомассы [1]. Этот метод особенно эффективен для очистки почв от тяжелых металлов. Растения-гипераккумуляторы способны накапливать металлы в концентрациях, в 100-1000 раз превышающих их содержание в почве. Например, горчица индийская (*Brassica juncea*)

аккумулирует свинец, ярутка полевая (*Thlaspi caerulescens*) - кадмий и цинк, а ива (*Salix viminalis*) - кадмий, цинк и медь [2].

В тех случаях, когда извлечение загрязнителей нецелесообразно, на помощь приходит фитостабилизация. В отличие от фитоэкстракции, эта технология направлена на иммобилизацию загрязняющих веществ в почве, снижение их подвижности и биодоступности [1]. Растения стабилизируют загрязнители путем связывания их корневыми системами, уменьшая таким образом миграцию в грунтовые воды и распространение ветровой эрозией. Этот метод особенно полезен для ремедиации обширных территорий, таких как хвостохранилища горнодобывающих предприятий.

Если же речь идет о органических загрязнителях, наиболее эффективным механизмом оказывается фитодеградация. Данный процесс заключается в разложении органических загрязнителей с помощью ферментов, выделяемых растениями или ассоциированными микроорганизмами. Растения поглощают органические соединения и метаболизируют их до менее токсичных форм или полностью минерализуют до CO₂ и H₂O. Этот механизм эффективен для очистки от пестицидов, растворителей и нефтепродуктов [4].

Фитофльтрация использует корневые системы растений для поглощения и осаждения загрязняющих веществ из водных растворов [5], а фитоволатилизация – поглощение загрязняющих веществ растениями с последующим их выделением в атмосферу в переработанном, менее токсичном виде через процесс транспирации.

Исследования потенциала фиторемедиации тяжелых металлов демонстрируют положительные результаты. Полевые эксперименты, проведенные на дерново-подзолистых суглинистых почвах в Республике Беларусь, показали, что плантации ивы эффективны для очистки почв, загрязненных марганцем, медью и цинком [2]. Коэффициенты биологического накопления меди и цинка превышали единицу, что свидетельствует о перспективности использования ивы на почвах с умеренным содержанием этих элементов. Современные исследования подтверждают, что фиторемедиация тяжелых металлов является экономически эффективной альтернативой традиционным методам очистки [5-7]. Кроме очистки почв от неорганических загрязнений, фиторемедиация успешно применяется и для ликвидации последствий органических загрязнений, таких как нефтепродукты. Для этого используются как растения, так и специально подобранные микроорганизмы-биодеструкторы.

Так же технологии фиторемедиации позволяют очищать воздух от токсичных примесей [8]. Исследования Бекузарова С. А. и др. [3] показывают, что такие растения, как никандра физалисовидная (*Nicandra physaloides* L.), рыжик озимый (*camelina silvestris* Waller) и однолетние виды клевера (*incarnatum*, *alexandrinum*, *resupinatum*), способны снижать концентрацию даже таких стойких тяжелых металлов как ртуть. Таким образом, сфера применения фиторемедиации оказывается чрезвычайно широкой.

К бесспорным преимуществам фиторемедиации относятся:

Экономическая эффективность: затраты значительно ниже, чем на традиционные физико-химические методы.

Экологическая безопасность: метод сохраняет структуру и плодородие почвы.

Эстетическая привлекательность и возможность рекультивации ландшафтов.

Возможность фитомайнинга – извлечения и повторного использования ценных металлов.

Однако технология имеет и существенные ограничения:

Зависимость от климатических условий и типа почв.

Ограниченная глубина очистки, определяемая зоной распространения корневой системы.

Значительная продолжительность процесса (несколько лет или даже десятилетий).

Потенциальный риск попадания загрязнителей в пищевую цепь.

Токсическое воздействие высоких концентраций поллютантов на растения-ремедианты.

Фиторемедиация обладает значительными преимуществами, включая экономическую эффективность (затраты значительно ниже, чем на традиционные методы очистки), экологическую безопасность (метод сохраняет структуру и плодородие почвы), эстетическую привлекательность и возможность извлечения и повторного использования ценных металлов (фитомайнинг). Однако технология имеет и ограничения: зависимость от климатических условий и типа почв, ограниченная глубина очистки, определяемая распространением корневой системы, продолжительность процесса, потенциальный риск попадания загрязнителей в пищевую цепь и токсическое воздействие высоких концентраций загрязнителей на растения-ремедианты.

Фиторемедиация представляет собой многофункциональный, экологически сбалансированный и экономически оправданный подход к восстановлению загрязненных территорий [5]. Несмотря на существующие ограничения, технология демонстрирует высокий потенциал для решения широкого спектра экологических проблем, связанных с загрязнением тяжелыми металлами, нефтепродуктами и органическими соединениями.

Дальнейшее развитие и повышение эффективности фиторемедиации связаны с интеграцией достижений смежных научных дисциплин. Селекция и генная инженерия позволяют создавать новые, более устойчивые и продуктивные формы растений-гипераккумуляторов. Микробиология – подбирать и конструировать высокоактивные штаммы ризосферных микроорганизмов-деструкторов. Совместное применение этих подходов позволит создавать высокоэффективные и специализированные фиторемедиационные системы для задач любой сложности.

Библиографический список

1. Islam M.M., Saxena N., Sharma D. Phytoremediation as a green and sustainable prospective method for heavy metal contamination: a review // RSC Sustainability. 2024. Vol. 2. P. 1269-1288.
2. Родькин О.И. Оценка эффективности использования быстрорастущих древесных культур для фиторемедиации загрязненных экосистем // Вестник ИрГСХА. 2018. № 84. С. 40-50.
3. Бекузарова С.А., Тебиева Д.И., Бекмурзов А.Д., Кебалова Л.А., Корбесова К.В. Фиторемедиация токсичности воздуха автомобильных дорог // Геология и геофизика Юга России. 2020. 10 (2): 127-135.
4. Митаев М.И., Джантаева М.Б. Фиторемедиация загрязненных почв на урбанизированных территориях (на примере г. Грозный) // Известия Чеченского государственного университета. 2018. № 3. С. 64-68.
5. Хужина Р.Р. Оценка применимости фиторемедиационных методов восстановления территорий, загрязненных различными типами нефтепродуктов / Р.Р. Хужина, Э.В. Нафикова, Д.В. Александров // Наука, образование, производство для противодействия техногенным угрозам и решения экологических проблем (Техносферная безопасность- 2025): материалы XXII Международной научно-практической конференции, Уфа, 06 мая 2025 года. Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2025. С. 191-196.
6. Тюрин М.А. Эффективность применения деструкторов для восстановления нефтезагрязненных почв / М. А. Тюрин, А. Н. Сидорова, Э. В. Нафикова // Наука, образование, производство для противодействия техногенным угрозам и решения экологических проблем (Техносферная безопасность- 2025): материалы XXII Международной научно-практической конференции, Уфа, 06 мая 2025 года. Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2025. С. 272-275.
7. Biochar-mediated bioremediation: a sustainable strategy to increase Avena sativa L. tolerance to crude oil soil contamination / R. Fedeli, S. Celletti, D. Alexandrov [et al.] // Environmental Science and Pollution Research. 2024. Vol. 31, №. 40. P. 52774-52783. DOI 10.1007/s11356-024-34732-6.
8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024661643 Российская Федерация. Программа для расчета фрактальной размерности зеленой биомассы листьев растений: № 2024660127: заявл. 03.05.2024: опубл. 21.05.2024 / Д. В. Александров, Э. В. Нафикова, И. И. Ахияров [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский университет науки и технологий».

© Мансуров В.Н., Кусова И.В., 2025

Н.Ш. МАРДАМШИНА

kalsin.nikita@bk.ru

Науч. руковод. – асс. **Н.А. КАЛЬСИН**

Уфимский университет науки и технологий

РАСТИТЕЛЬНЫЕ ОТХОДЫ КАК КОМПОНЕНТ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация: в данной статье рассмотрено применение растительных отходов в качестве компонентов для изготовления новых материалов и продуктов. Рассмотрены как отечественные, так и зарубежные работы по исследованию потенциала использования растительных отходов в качестве добавок к цементным смесям, компонентов полимеров и компоста, а также сорбентов для ликвидации разливов загрязняющих веществ.

Ключевые слова: растительные отходы; новые материалы; обработка; сорбент

Растительные отходы являются распространенным побочным продуктом пищевой промышленности и деревообрабатывающей промышленности, также данный отход регулярно появляется в пределах городской территории и является частым отходом домохозяйств. В соответствии с концепциями экономики замкнутого цикла данный отход может рассматриваться как вторичный ресурс для производства новых материалов и продуктов. Исследователи по всему миру ищут способы использования этого ресурса, например Vinod A и другие [1] исследовали воздействие обработки NaOH и щавелевой кислотой на физические, термические и механические свойства волокон стеблей *Capsicum Annum*. В результате экспериментов авторы пришли к выводу, что обработка щавелевой кислотой улучшает физические, химические, термические и механические характеристики стеблей *Capsicum Annum*, что может быть использовано для укрепления полимерных матриц.

Alice Sirico и другие [2] применяли угольные отходы электростанции в качестве добавки к цементу (рис. 1). В ходе испытаний доля угольной добавки составляла от 0 до 10%, однако оптимальное значение составило 5%. Частицы биоугля показали хорошую сочетаемость с цементной матрицей, при этом показатель перерабатываемости значительно повысился.



Рис. 1. Угольные отходы электростанции [2]

Dijana Grgas и другие [3] применяли растительные отходы в качестве компонента для изготовления компоста. В рамках исследования сравнивались три вида компоста: осадки сточных вод с растительными отходами; осадки сточных вод и растительные отходы с пищевыми отходами; осадки сточных вод с пищевыми отходами. Индекс всхожести составил более 80% для всех трех составов, наибольший индекс всхожести зафиксирован у компоста из осадков сточных вод, растительных отходов и пищевых отходов, и составил 89%.

Растительные отходы также могут быть использованы как материалы для изготовления сорбентов для ликвидации разливов загрязняющих веществ. В качестве сорбирующих материалов используют волокна плодов, траву, мох, опилки, плодовую оболочку обработанные различными веществами или без обработки [4]. Например, Dilsad Dolunay Eslek Koyuncu и другие [5] использовали золу рисовых отходов для изготовления сорбентов в виде аэрогеля – эффективность удаления ремазола бирюзового углерод-кремнеземным аэрогелем составила 95% на протяжении четырех циклов регенерации. Насырова Э.С. и другие [6] использовали опавшие в пределах урбанизированной территории листья *Acer Platanoides* для сорбции нефти. В экспериментах исследовались частицы измельченных листьев с различными размерами: 0,1 мм, 0,25 мм, 0,5 мм, 1 мм, 2 мм и 5 мм (рис. 2).

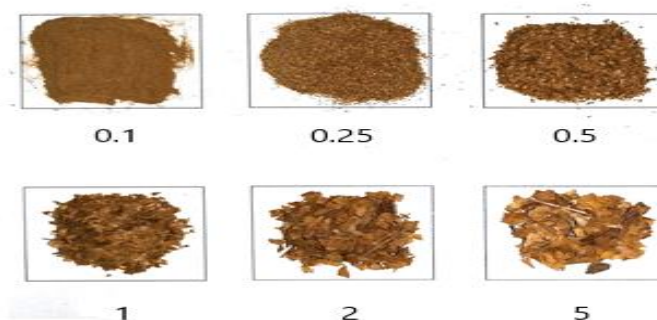


Рис. 2. Частицы листьев [6]

Наилучшие показатели сорбционной способности зафиксированы у частиц размером 1 мм и составили 5,77 г/г, худшие показатели сорбционной способности показали частицы с размером 0,1 мм, которые составили 2,65 г/г. В результате анализа тенденции к изменению сорбционной способности с изменением размеров частиц определена зависимость полиномиального вида. Также авторы [7] исследовали сорбционные свойства листового опада *Quercus robur* при поглощении нефти, а также его водопоглощение. В результате экспериментов нефтеемкость листьев дуба составила 4,67-5,91 г/г, в то время как водопоглощение составило 3,6 г/г.

Таким образом растительные отходы являются перспективным компонентом для создания новых материалов и продуктов. Использование растительных отходов напрямую соответствует концепциям биоэкономики и экономики замкнутого цикла.

Библиографический список

1. Vinod A., Sanjay M. R., Rapeeporn S., Jiratti T., Arun R. R., Suchart S. Agro-waste Capsicum Annum stem: An alternative raw material for lightweight composites // *Industrial Crops and Products*. 2023. Vol. 193. № 116141.
2. Alice S., Patrizia B., Corrado S., Francesca V., Alessio M., Beatrice B., Daniel M. Biochar from wood waste as additive for structural concrete // *Construction and Building Materials*. 2021. Vol. 303. № 124500.
3. Grgas D., Štefanac T., Barešić M., Toromanović M., Ibrahimpašić J., Vukušić P.T., Habuda-Stanić M., Herceg Z., Landeka D. T. Co-composting of Sewage Sludge, Green Waste, and Food Waste // *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*. Vol. 11. Iss. 1. № 1100415. DOI: <https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d10.0415>.
4. Кальсин Н. А., Насырова Э. С., Бондарь К. Е., Нафикова Э. В. Природные нефтесорбенты растительного происхождения и их эффективность (обзор зарубежных работ) // *Вестник евразийской науки*. 2024. Т. 16. № 2. URL: <https://esj.today/PDF/44NZVN224.pdf>.
5. Dilsad D. E. K., Mujgan O. Investigation of dye removal ability and reusability of green and sustainable silica and carbon-silica hybrid aerogels prepared from paddy waste ash // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2021. Vol. 628. № 127370. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.127370>.
6. Nasyrova E.S., Kalsin N.A., Nafikova E.V., Chasnikova A.A. Fallen leaves as a possible decision to improve surface water bodies' quality in Belaya river basin // *Journal of the Geographical Institute "Jovan Cvijic"*. 2025. Vol. 75. Iss. 2. P. 183–198.
7. Насырова Э. С., Кальсин Н. А., Кострюкова Н. В., Султанова Д. С. Оценка сорбционных свойств листового опада урбанизированной территории (на примере Центрального района города Уфа) // *Успехи современного естествознания*. 2024. № 3. С. 52-57.

© Мардамшина Н.Ш., 2025

Н.Ш. МАРДАМШИНА

kalsin.nikita@bk.ru

Науч. руковод. – асс. **Н.А. КАЛЬСИН**

Уфимский университет науки и технологий

ПОДУШКИ С НАПОЛНИТЕЛЕМ ИЗ ОТХОДОВ КАК АЛЬТЕРНАТИВНОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ РАЗЛИВОВ

Аннотация: в данной статье рассматривается использование различных отходов в качестве наполнителей сорбционных подушек, используемых для ликвидации разливов загрязняющих веществ. Описаны работы зарубежных и отечественных авторов, использовавших шерсть животных, перья, а также тополиный пух, в качестве наполнителя для сорбционных подушек.

Ключевые слова: отходы; подушка; разлив; сорбент

Разливы загрязняющих веществ являются опасной техногенной аварией, которая негативно влияет на окружающую среду и ее обитателей. Для ликвидации разливов и их последствий применяются различные методы – биологические, механические, термические и физико-химические методы. Биологические методы включают в себя использование различных растений и микроорганизмов, которые поглощают загрязняющие вещества или способствуют их разложению. Механические методы подразумевают ликвидацию разливов посредством использования различных скimmers. В процессе применения термического метода загрязняющее вещество (в большинстве случаев нефть или нефтепродукты) выжигается. Физико-химические методы подразумевают использование синтетических сорбентов, минеральных сорбентов, органических сорбентов (рис. 1) и диспергентов. Сорбенты представляют из себя вещества, которые поглощают загрязненные вещества, а затем удаляются из среды. Диспергенты применяются при ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов, позволяя разделить нефтяную пленку на множество капель [1].



Рис. 1. Виды сорбентов

В соответствии с ГОСТ 33627-2015 адсорбенты разделяются на адсорбенты первого типа (рулон, лист, покрывало), адсорбенты второго типа (свободной формы, сыпучие), адсорбенты третьего типа (подушки, планки) и агломерирующее средство IV типа.

В то время как сыпучие сорбенты подвержены влиянию ветра и волн, подушки и маты могут выполнять свою функцию в условиях воздействия ветра. Особенный интерес представляют подушки с наполнителем из отходов. В процессе производственной и бытовой деятельности человечества ежедневно образуется значительное количество отходов, которые не имеют никакого практического применения и складываются на полигонах, либо сжигаются. При этом данные отходы могут использоваться как ресурс для изготовления новых материалов, в частности, в качестве наполнителя сорбционных подушек для ликвидации разливов загрязняющих веществ. Simona Strnad и другие [2] использовали куриные перья, полученные с птицефабрики, для изготовления сорбционных подушек (рис. 2).



Рис. 2. Сорбционные подушки с наполнителем из куриных перьев и сепиолитового порошка [2]

Полученные перья промывались при температуре 60 °С неионогенным моющим средством, затем промывались теплой и холодной водой, затем сушились при температуре 40 °С в течение 72 часов. В качестве оболочки использовалась ткань из полиэтилентерефталата. В результате экспериментов сорбция по минеральному маслу Kiperol 20 составила 9,9 г/г у подушек с наполнителем из перьев и 5,3 г/г у подушек с наполнителем из перьев и сепиолитового порошка.

Esmat Askari и другие [3] применяли подушки из козьей шерсти, волокон листьев пальмы и полиуретановых гранул для поглощения моторного масла из водной среды. Максимальная сорбционная способность составила 1,16 г/г при концентрации 50 грамм моторного масла, температуре 40°C, времени контакта 10 минут.

Насырова Э.С. и другие [4] разработали сорбционную подушку с наполнителем из тополиного пуха для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов. В процессе подготовки тополиный пух, собранный с урбанизированной территории, сушится при комнатной температуре в помещении с показателем влажности не более 10%, затем проводится ручная чистка волокон, которые помещаются в оболочку прямоугольной формы из сетчатого материала с размером ячеек от 0,1 до 10 мм², открытый конец оболочки зашивают, формируя подушку.

Alina Georgiana Ciufu и другие [5] исследовали сорбционную способность овечьей шерсти, помещенной в сетчатый материал, в качестве сорбента для ликвидации сырой нефти Rebsco на поверхности дистиллированной и морской воды. Необработанная шерсть промывалась кипятком с мылом и дистиллированной водой. Полученный материал упаковывался в виде подушек с разной плотностью упаковки. Показатели нефтеемкости составили 2,66-11,89 г/г.

Таким образом в данной работе рассмотрены работы по использованию отходов растительного и животного происхождения в качестве наполнителей сорбционных подушек для ликвидации разливов нефти, нефтепродуктов и других загрязняющих веществ.

Библиографический список

1. Кальсин Н.А., Насырова Э.С. Мероприятия по ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации: Материалы IX международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Москва, 19–20 марта 2024 года. Москва: Академия Государственной противопожарной службы, 2024. С. 95-97.

2. Strnad S., Jug A., Peršin F.Z. Composite materials based on waste chicken feather fibers for oil-spill management // Journal of Natural Fibers. 2024. Vol. 21. Iss. 1. URL: <https://doi.org/10.1080/15440478.2024.2346803>.

3. Esmat A., Vali A., Omid R. Synthesis and application of adsorbent pads for removal of oil pollutants from water // Heliyon. 2025. Vol. 11. № e42885.

4. Насырова Э.С., Кальсин Н.А., Елизарьев А.Н. Патент РФ № 2838771 С1. Способ получения нефтесорбента из тополиного пуха: заявл. 12.12.2024; опубл. 22.04.2025. заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский университет науки и технологий".

5. Ciufu A.G, Al-Janabi A., Janabi A.L., Raducanu C.E., Cioroiu D-R.T., Dobre T. Natural wool fibers: a viable substitute to commercially available oil synthetic sorbents // U.P.B. Scientific Bulletin. Series B. 2019. Vol. 81. Iss. 4. P. 59-66.

© Мардамшина Н.Ш., 2025

УДК 504.4.054

А.Р. МУНЗАРОВА

munzarovaar@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **Э.С. НАСЫРОВА**

Уфимский университет науки и технологий

АНТИБИОТИКИ В РЕЧНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ МИРА

Аннотация: в данной статье рассмотрена проблема присутствия антибиотиков в речных экосистемах мира. Изучены основные источники поступления антибиотиков в водную среду и последствия их распространения. Проанализированы данные глобальных мониторинговых исследований.

Ключевые слова: антибиотики; река; загрязнение; антимикробная резистентность; глобальный мониторинг

Широкое и зачастую нерациональное использование антибиотиков в медицине, ветеринарии и животноводстве привело к их повсеместному распространению в окружающей среде. Речные системы выступают в роли основных приемников и переносчиков фармацевтических загрязнителей, что превратило их в глобальные резервуары для эволюции и распространения антимикробной резистентности (АМР). Согласно докладу Всемирной организации здравоохранения, АМР является одной из 10 главных угроз для общественного здравоохранения в мире. Ежегодно из-за устойчивых инфекций умирают сотни тысяч людей, и эта цифра продолжает расти. По прогнозам, к 2050 году устойчивые бактериальные инфекции могут стать основной причиной смертности в мире.

Основными источниками поступления антибиотиков, биоцидов и генов антимикробной резистентности в водные среды являются [1]:

– Сточные воды очистных сооружений. Традиционные методы очистки часто неэффективны в удалении фармацевтических остатков, что приводит к

загрязнению поверхностных, подземных и морских вод стойкими, биологически активными веществами. Исследования подтверждают сброс препаратов в окружающую среду даже крупными очистными сооружениями.

– Сельскохозяйственные стоки. Использование ветеринарных антибиотиков в животноводстве и аквакультуре приводит к их попаданию в окружающую среду с фекалиями и мочой животных, особенно при использовании навоза в качестве удобрения. Это способствует кумуляции антибиотиков в продукции аквакультуры, развитию дисбиоза и антибиотикорезистентности. Ветеринария и животноводство потребляют значительную часть всех антибиотиков.

– Промышленные сбросы фармацевтических производств. В отличие от экскреции препаратов населением, промышленные сбросы характеризуются более высокими концентрациями, поступлением неизмененных фармацевтических субстанций и более широким спектром соединений, создавая локальные «горячие точки» загрязнения и отбора генов резистентности.

Попав в реку, антибиотики подвергаются процессам сорбции в донных отложениях, фотолитическому и биологическому разложению. Однако многие соединения обладают высокой устойчивостью, что обуславливает их перенос на значительные расстояния и длительное присутствие в экосистеме.

Исследование Li S. [3] демонстрирует глобальную проблему загрязнения рек мира антибиотиками, выявляя «горячие точки» и определяя приоритетные вещества для контроля. Учеными проанализированы данные по 169 антибиотикам из рек 76 стран и сделаны следующие выводы:

Загрязнение носит повсеместный характер, но уровень сильно варьируется. Наиболее часто и в высоких концентрациях обнаруживаются сульфаметоксазол (SMX), триметоприм (TMP), амоксициллин (AMX) и андрогидроэритромицин (AETM).

Уровень загрязнения антибиотиками тесно и отрицательно связан с индексом человеческого развития (ИЧР) страны. Чем ниже ИЧР (и, соответственно, уровень дохода, здравоохранения и образования), тем выше концентрации антибиотиков в реках. Это связано с недостаточными мощностями по очистке сточных вод и менее строгим регулированием.

«Горячие точки» выявлены в реках Африки (например, Мозамбик, Уганда, Нигерия) и Азии (Индия), а также в реке Ганг.

На глобальном уровне в список самых опасных вошли AMX, SMX, AETM, TMP и сульфаниламиды (SPD). Сульфаниламиды (SAs) – класс, вызывающий наибольшее беспокойство.

В статье [4] рассчитали, что из ежегодного потребления человеком 40 наиболее часто используемых антибиотиков (29200 тонн) 8500 тонн (29%) попадают в речные системы, а 3300 тонн (11%) попадают в мировой океан или во внутренние водоемы. Около 25% всех рек мира (6 млн. км) имеют высокий или очень высокий совокупный уровень риска от загрязнения антибиотиками. На рис.1 приведены уровни воздействия антибиотиков на окружающую среду

в реках по всему миру.

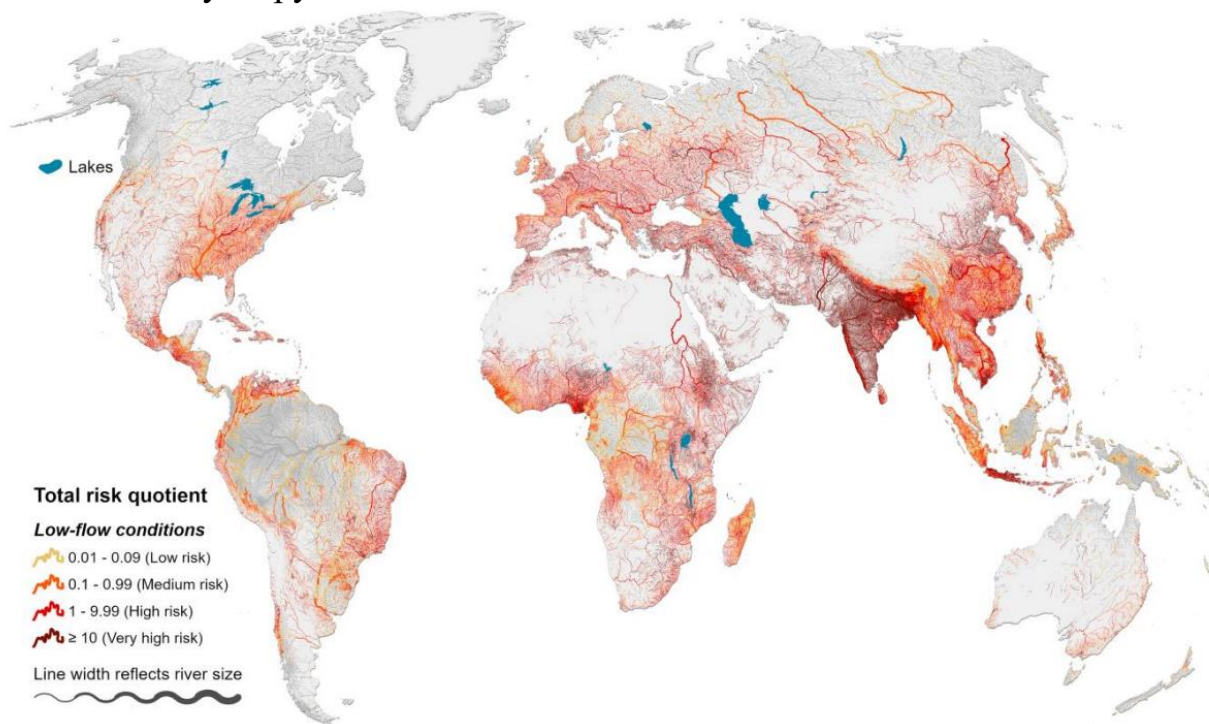


Рис. 1. Уровни воздействия антибиотиков на окружающую среду в реках по всему миру [4]

Как видно из рис. 1, наибольшему риску подвержены реки в таких странах, как Индия, Китай, Пакистан, Нигерия и Иран. На рис. 2 выделены реки и антибиотики с наибольшей концентрацией в них.

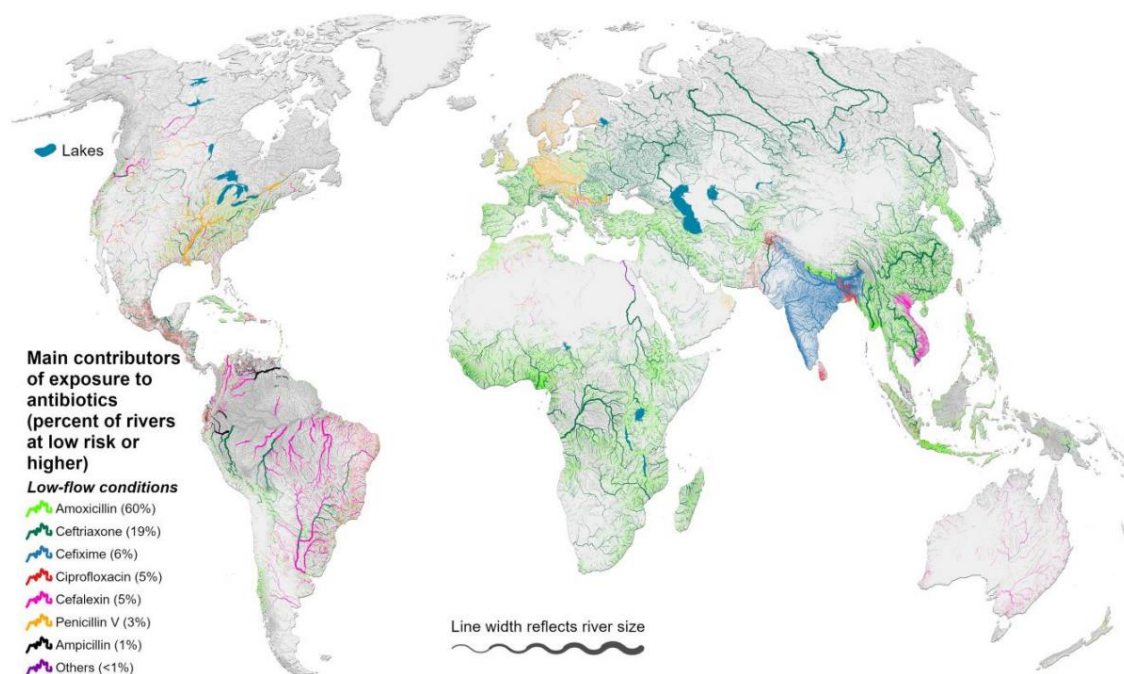


Рис. 2. Антибиотики, являющиеся основными источниками загрязнения окружающей среды [4]

Как видно из рис. 2, основными соединениями, способствующими такому

высокому уровню воздействия, являются амоксициллин, цефтриаксон и цефиксим.

Глобальное исследование ученых со всего мира [5] впервые систематически оценило масштабы загрязнения рек мира фармацевтическими веществами. Используя стандартизированные методы, ученые проанализировали пробы воды из 1052 точек на 258 реках в 104 странах. Установлено, что географическое распределение приоритетных антибиотиков коррелирует с уровнем социально-экономического развития, а основные «горячие точки» загрязнения сосредоточены в странах Африки, Южной Америки и Азии (Лахор, Пакистан – макс 70,8 мкг/л; Ла-Пас, Боливия – макс 297 мкг/л на р. Рио-Секе; Аддис-Абеба, Эфиопия – макс 51,3 мкг/л). Концентрации 9 из 13 обнаруженных антибиотиков превышали «безопасные пороги», способствующие развитию устойчивости. Метронидазол в Бангладеш превысил этот порог в 300 раз, ципрофлоксацин превышал безопасный уровень в 64 точках отбора проб.

Повсеместное загрязнение рек антибиотиками представляет собой глобальную и многогранную угрозу, которая напрямую подрывает эффективность одного из ключевых достижений современной медицины. Результаты глобального мониторинга свидетельствуют о повсеместном распространении этой проблемы, наиболее остро проявляющейся в регионах с неразвитой санитарной инфраструктурой. Для противодействия этой угрозе требуется объединение усилий на научном, политическом и промышленном уровнях.

Библиографический список

1. Мунзарова А.Р., Насырова Э.С. Загрязнение сточных вод антибиотиками: современное состояние проблемы // Наука, образование, производство для противодействия техногенным угрозам и решения экологических проблем (Техносферная безопасность-2024): материалы XXI Международной научно-практической конференции, Уфа, 08 октября 2024 года. – Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2024. С. 276-279.

2. Мунзарова А.Р., Насырова Э.С. Содержание антибиотиков в сточных водах различных городов России // Наука, образование, производство для противодействия техногенным угрозам и решения экологических проблем (Техносферная безопасность- 2025): материалы XXII Международной научно-практической конференции, Уфа, 06 мая 2025 года. Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2025. С. 181-185.

3. Li S. Antibiotics in global rivers // National Science Open. 2022. Т. 1. №. 2. Р. 20220029.

4. Heloisa E.M. Antibiotics in the global river system arising from human consumption // PNAS nexus. 2025. Т. 4. № 4. Р. pgaf096.

5. Wilkinson J.L. Pharmaceutical pollution of the world's rivers // Proceedings of the national academy of sciences. 2022 Т. 119. № 8. Р. e2113947119.

© Мунзарова А.Р., 2025

А.Р. МУНЗАРОВА

munzarovaar@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **Э.С. НАСЫРОВА**

Уфимский университет науки и технологий

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ АНТИБИОТИКОВ

Аннотация: в данной статье рассмотрена проблема загрязнения вод антибиотиками, вызванного их широким применением и распространением антибиотикорезистентности. Традиционные методы очистки сточных вод часто не справляются с удалением этих веществ. В статье анализируются современные методы очистки (адсорбционные, мембранные, биологические, окислительные), их эффективность и ограничения.

Ключевые слова: антибиотики; сточные воды; адсорбция; передовые окислительные процессы; мембранные технологии; биodeградация

Широкое и зачастую неконтролируемое использование антибиотиков привело к их повсеместному распространению в окружающей среде. Основными источниками поступления антибиотиков в водные объекты являются сточные воды медицинских учреждений, фармацевтических производств, животноводческих комплексов, а также коммунальные стоки, где они присутствуют в следовых концентрациях (от нг/л до мкг/л) [1]. Несмотря на низкие концентрации, хроническое воздействие антибиотиков способствует селекции и распространению генов антибиотикорезистентности (АРГ), представляя глобальную угрозу для общественного здоровья. Ключевой проблемой является низкая эффективность традиционных систем биологической очистки, которые не были предназначены для удаления таких специфических и устойчивых к биodeградации соединений. В связи с этим разработка и внедрение эффективных методов удаления антибиотиков из сточных вод являются актуальной задачей современной экологической инженерии.

Методы удаления антибиотиков можно классифицировать по следующим видам:

- физико-химические (адсорбция, мембранное разделение);
- биологические (аэробная и анаэробная биodeградация);
- химические (передовые окислительные процессы);
- комбинированные (гибридные) методы.

Адсорбция является одним из наиболее распространенных и простых в реализации методов, основанным на физической или химической сорбции молекул антибиотика на поверхности твердого тела (адсорбента). Метод

обеспечивает высокую степень очистки (80-95%) и возможность рекуперации ценных веществ. Оптимальный диапазон концентраций загрязнений – от 5 до 1000 мг/л.

В статье Ahmed M.B. [2] представлен сравнительный анализ адсорбентов для удаления антибиотиков. Данные обобщены в таблице 1.

Таблица 1

Эффективность и характеристики адсорбентов для удаления антибиотиков

Адсорбент	Класс антибиотиков (примеры)	Эффективность удаления, %	Преимущества	Недостатки	Стоимость (относительная)
Активированный уголь (АС)	β -лактамы (амоксциллин), тетрациклины, сульфаниламиды, нитроимидазолы, триметоприм	74-100	Высокая эффективность, развитая пористость и площадь поверхности, широкий спектр действия	Высокая стоимость производства и регенерации	Средняя
Углеродные нанотрубки (CNTs)	Сульфаниламиды (сульфаметоксазол), линкозамиды (линкомицин), β -лактамы (амоксциллин)	80-96	Очень высокая адсорбционная емкость, большая удельная поверхность, сильные π - π взаимодействия	Чрезвычайно высокая стоимость материала, сложность регенерации	Очень высокая
Биоуголь (BC)	Сульфаниламиды, тетрациклины, амфениколы (флорфеникол), цефтиофур	99	Крайне низкая стоимость, производство из отходов, высокая эффективность, пористая структура	Свойства сильно зависят от сырья и условий пиролиза	Низкая
Бентонит (глина)	Фторхинолоны (ципрофлоксацин), β -лактамы (амоксциллин)	88-99	Низкая стоимость, доступность	Эффективность сильно зависит от pH и типа антибиотика, не всегда стабильна	Низкая
Ионообменные смолы	Сульфаниламиды, тетрациклины	80	Высокая эффективность для ионных соединений, возможность регенерации	Проблемы с обрастанием и обратной промывкой, не для всех типов антибиотиков	Высокая

Сравнение адсорбентов (таблица 1) показывает, что биоуголь – наиболее сбалансированный и перспективный материал. Его эффективность сопоставима с активированным углем, но стоимость производства гораздо ниже. Углеродные нанотрубки, хоть и высокоэффективны, слишком дороги для масштабного применения.

Исследования Соколовой Л.И. [3] подтверждают потенциал

модифицированных алюмосиликатов, достигающих адсорбционного равновесия всего за 10 минут, что ценно для проектирования очистных систем, а работа Гальченко Д.С. [4] демонстрирует эффективность модифицированного вермикулита для очистки от антибиотиков, зависящую от структуры целевого соединения.

К мембранным технологиям относятся методы, такие как нанофильтрация и обратный осмос, которые позволяют эффективно отделять антибиотики за счет механического отсева и электростатического отталкивания. Обратный осмос демонстрирует эффективность удаления около 90 % для большинства классов антибиотиков.

Традиционные биологические методы часто неэффективны из-за бактериостатического действия антибиотиков, угнетающего активность ила.

Мембранные биореакторы (МБР) – современная система, объединяющая биологическую очистку активным илом и мембранное разделение. Технология экономически оправдана для городов с пространственными ограничениями и высокими экологическими стандартами. Также разрабатываются различные их модификации (например, с плазменным реактором для разрушения стойких загрязнителей (пестициды, антибиотики)).

Передовые окислительные процессы (Advanced Oxidation Processes – AOPs) – основаны на генерации высокореакционных радикалов (преимущественно гидроксильных радикалов $\cdot\text{OH}$), способных неспецифически окислять и разрушать сложные органические молекулы до CO_2 и H_2O .

В статье Oturan M.A. [5] предлагается обзор всех существующих AOPs (таблица 2).

Таблица 2

Перспективные методы окисления (AOPs)

Категория методов	Название метода	Принцип действия	Преимущества	Недостатки / Особенности
Химические	Реагент Фентона	Химическая реакция между Fe^{2+} и H_2O_2 с генерацией $\cdot\text{OH}$ радикалов	Простота, невысокая стоимость реагентов, не требует энергии	Образование железного шлама; необходимость поддерживать кислую среду (pH 2,8-3,0); неполная минерализация
	Перексонация ($\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$)	Комбинация озона и перекиси водорода ускоряет образование $\cdot\text{OH}$ радикалов	Высокая эффективность, сильное бактерицидное действие, простота использования	Низкая растворимость озона, высокое энергопотребление, чувствительность к параметрам среды (pH, температура)
Фотохимические	Фото-Фентон ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{UV}$)	УФ-свет или солнечная радиация ускоряют реакцию Фентона и генерируют дополнительные $\cdot\text{OH}$ радикалы	Выше эффективность и скорость минерализации по сравнению с классическим Фентоном	Высокая стоимость искусственного УФ-освещения. Решается использованием солнечного света (солнечный Фото-Фентон)

Категория методов	Название метода	Принцип действия	Преимущества	Недостатки / Особенности
	Гетерогенный фотокатализ (TiO ₂ /UV)	УФ-свет активирует полупроводниковый катализатор (TiO ₂), генерируя ·ОН радикалы на его поверхности	Высокая эффективность, химическая стабильность катализатора, возможность использования солнечного света	Необходимость отделения или иммобилизации катализатора после очистки
Звуко-химические	Сонолиз (Ультразвук)	Ультразвук создаёт кавитационные пузырьки, при схлопывании которых генерируются ·ОН радикалы и происходят пиролиз загрязнений	Эффективное разрушение стойких загрязнений	Недостаточное количество радикалов при использовании отдельно, поэтому часто комбинируется с другими AOPs (например, sono-Fenton)
Электро-химические (EAOPs)	Анодное окисление (AO)	·ОН радикалы генерируются непосредственно на поверхности анода (например, из алмазного покрытия – BDD) при пропускании тока	Не требует химических реагентов, высокая минерализация, экологическая безопасность	Эффективность может ограничиваться скоростью переноса массы к поверхности анода
	Электро-Фентон (EF)	H ₂ O ₂ и катализатор (Fe ²⁺) генерируются непосредственно в воде с помощью тока, что приводит к постоянному производству ·ОН радикалов в объёме раствора	Высокая эффективность, непрерывная генерация реагентов, отсутствие шлама, контроль над процессом	Требует использования специальных катодов (например, из углеродной ткани) для эффективного образования H ₂ O ₂
	Связанные процессы (PEF, SPEF)	Комбинация Electro-Fenton с УФ-светом (PEF) или солнечным светом (SPEF) для ещё более быстрой и полной минерализации	Наивысшая эффективность среди EAOPs за счёт фоторазложения промежуточных продуктов	SPEF – самый перспективный и экономичный вариант, использующий солнечную энергию

Наиболее перспективным направлением является комбинация методов для усиления эффекта. Например:

Адсорбция + AOPs: предварительная концентрация антибиотиков на адсорбенте с последующим его регенерацией и разрушением загрязнителей в малом объеме с помощью AOPs.

МБР + AOPs: Биологическая очистка в МБР с последующей доочисткой пермеата озоном или УФ-излучением для удаления остаточных количеств антибиотиков и деактивации ARGs.

Предварительное окисление + биологическая очистка: AOPs используются для превращения антибиотиков в более биоразлагаемые промежуточные продукты с последующей их биологической доочисткой.

Ни один из рассмотренных методов в отдельности не является универсальным решением проблемы очистки сточных вод от антибиотиков. Адсорбция и мембранные технологии лишь концентрируют загрязнитель, перенося проблему в другую фазу. Биологические методы не всегда надежны и несут риск распространения ARGs. AOPs, несмотря на высокую эффективность, требуют больших энергозатрат и могут приводить к образованию неизвестных токсичных побочных продуктов. Наибольший потенциал демонстрируют комбинированные технологии, которые объединяют преимущества разных методов, позволяя достигать высоких стандартов очистки при оптимизации экономических затрат.

Библиографический список

1. Мунзарова А.Р., Насырова Э.С. Загрязнение сточных вод антибиотиками: современное состояние проблемы // Наука, образование, производство для противодействия техногенным угрозам и решения экологических проблем (Техносферная безопасность-2024): материалы XXI Международной научно-практической конференции, Уфа, 08 октября 2024 года. Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2024. С. 276-279.
2. Ahmed M.B. Adsorptive removal of antibiotics from water and wastewater: progress and challenges // Science of the Total Environment. 2015. Т. 532. Р. 112-126.
3. Соколова Л.И., Гальченко Д.С. Физико-химические особенности и кинетика сорбционных взаимодействий антибиотиков с природными алюмосиликатами // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2024. Т. 67. №. 9. С. 134-140.
4. Гальченко Д.С., Смирнова М.Г., Соколова Л.И. Использование сорбента на основе природного алюмосиликата (вермикулита) для очистки сточных вод от антибиотиков // XXI век. Техносферная безопасность. 2021. Т. 6. №. 4 (24). С. 387-394.
5. Oturan M.A., Aaron J.J. Advanced oxidation processes in water/wastewater treatment: principles and applications: a review // Critical reviews in environmental science and technology. 2014. Т. 44. №. 23. Р. 2577-2641.

© Мунзарова А.Р., 2025

Э.А. НАСЫРОВА

elin4nasyrova@yandex.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **И.В. КУСОВА**

Уфимский университет науки и технологий

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА НА ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДЫ

Аннотация: в статье рассмотрена проблема очистки сточных вод медно-цинкового горно-обогатительного комбината. Проанализированы недостатки существующей пассивной системы очистки. Предложена новая технология очистки сточных вод ГОК, включающая физико-химические методы с глубокой фильтрацией и сорбционной доочисткой.

Ключевые слова: ГОК; сточные воды; тяжелые металлы; наилучшие доступные технологии; технология очистки; нейтрализация; сорбция; фильтрация; медно-цинковая руда

Горно-обогатительные комбинаты (ГОК), особенно занимающиеся переработкой сульфидных медно-цинковых руд, являются источником негативного воздействия на окружающую среду, в первую очередь на водные объекты. Сточные воды таких предприятий характеризуются комплексным загрязнением, включающим высокие концентрации взвешенных веществ, ионов тяжелых цветных металлов (меди, цинка, свинца, кадмия), а также имеют, как правило, низкий водородный показатель (кислую среду). Прямой сброс таких вод без глубокой очистки приводит к деградации водных экосистем, нарушению гидрохимического режима водоемов и представляет прямую угрозу для здоровья населения. На основании вышеизложенного рассмотрение данной темы является актуальным.

Целью данной работы является разработка эффективной технологии очистки сточных вод медно-цинкового ГОК, обеспечивающей достижение нормативов сброса в поверхностные водные объекты.

Анализ деятельности горно-обогатительного комбината показал, что, на объекте отсутствуют специализированные очистные сооружения, обеспечивающие полный цикл очистки сточных вод. Существующая система, заключающаяся в направлении всех техногенных вод в радиальный отстойник и в хвостохранилище для «самонейтрализации» является пассивной и не может обеспечить стабильно высокое качество воды. Данный подход не учитывает изменчивость состава поступающих стоков, не обеспечивает эффективного удаления растворенных форм тяжелых металлов и несет в себе риски аварийных ситуаций, связанных с переполнением или фильтрацией из

хвостохранилища. В рамках выполнения требований современного экологического законодательства модернизация системы водоподготовки становится обязательным условием эксплуатации предприятия.

Предлагаемая технология очистки сточных вод от тяжелых металлов ГОК, включающая физико-химические методы с глубокой фильтрацией и сорбционной доочисткой, разработана на основе требований наилучших доступных технологий [1] и анализа современной литературы [2,3].

Технологический процесс очистки состоит из нескольких последовательных стадий, каждая из которых решает конкретную задачу. Общая блок-схема предлагаемой системы представлена на рис.1.

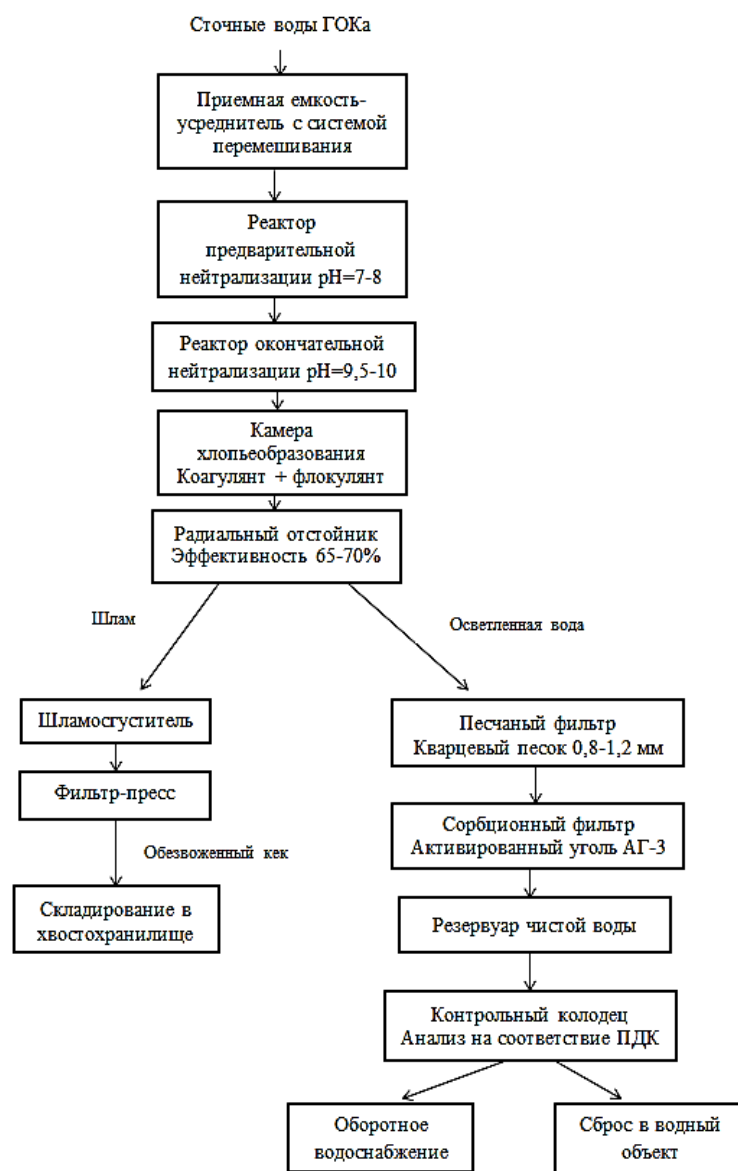


Рис. 1. Блок-схема предлагаемой технологии очистки сточных вод медно-цинкового ГОК

Первым этапом технологического процесса является стадия усреднения и

предварительной обработки сточных вод. Исходные сточные воды ГОК характеризуются значительными колебаниями расхода, концентраций загрязняющих веществ и значения pH. Для стабилизации этих показателей перед дальнейшей очисткой предлагается использовать усреднитель с механическим перемешиванием, основное назначение которого заключается в выравнивании концентраций загрязнений и расхода сточных вод в течение суток. Это условие является критически важным для стабильной работы последующих ступеней очистки, особенно реагентного хозяйства. Конструктивно аппарат представляет собой резервуар прямоугольной формы, оснащенный механической мешалкой пропеллерного типа. Современные модификации усреднителей комплектуются системами автоматического контроля и управления, в первую очередь датчиками pH, отслеживающими кислотность поступающих стоков в реальном времени. К преимуществам данной стадии относится предотвращение залповых выбросов высококонцентрированных стоков, что не только защищает возможный биоценоз активного ила, но и повышает точность дозирования реагентов на последующих стадиях [4].

Основная стадия очистки реализуется через двухступенчатую систему нейтрализации и осаждения. На первой ступени осуществляется предварительная нейтрализация стоков с доведением pH до слабощелочной среды, где происходит эффективное осаждение легко гидролизующихся металлов. Вторая ступень обеспечивает тонкую корректировку pH до оптимальных значений для осаждения амфотерных металлов, отличающихся повышенной растворимостью в других диапазонах pH. Такой дифференцированный подход позволяет достичь минимальной растворимости каждого целевого металла и значительно повышает общую эффективность очистки.

После реагентной обработки вода направляется в камеру хлопьеобразования, где осуществляется последовательное дозирование коагулянта и флокулянта для агрегации мелкодисперсных частиц в крупные, хорошо осаждаемые хлопья. Образовавшаяся пульпа поступает в радиальный отстойник для гравитационного разделения на осветленную воду и концентрированный шлам. Его основное назначение - удаление основной массы крупнодисперсных взвешенных веществ, образующихся в процессе переработки руды. Выбор данной конструкции обоснован ее преимуществами по сравнению с горизонтальными и вертикальными отстойниками: более эффективным и равномерным распределением потока, лучшим разделением фаз за счет плавного изменения скорости потока, а также простотой в эксплуатации и обслуживании благодаря компактному скребковому механизму. Существенным экономическим преимуществом является возможность модернизации действующего на предприятии радиального отстойника, что значительно снижает капитальные затраты на реконструкцию очистных сооружений. Ожидаемая эффективность на данной стадии составит 60-70% по взвешенным веществам.

Образующийся шлам проходит стадию обезвоживания с использованием шламосгустителя и фильтр-прессов, что позволяет получить компактный продукт с пониженной влажностью, пригодный для безопасного складирования. Осветленная вода после отстойника направляется на ступень углубленной доочистки, включающую двухступенчатую фильтрацию. Сначала вода проходит через зернистый фильтр с кварцевым песком. Аппарат представляют собой колонну с фильтрующей загрузкой из кварцевого песка фракции 0,8-1,2 мм. Эксплуатация фильтров осуществляется в циклическом режиме с чередованием стадий фильтрации и обратной промывки.

Предпоследней стадией технологического процесса является финишная сорбционная доочистка на фильтрах с активированным углем марки АГ-3. Данная стадия предназначена для глубокого удаления остаточных, в том числе комплексных и коллоидных форм тяжелых металлов, а также возможных органических соединений. Используемый сорбент характеризуется высокоразвитой удельной поверхностью до 1000 м²/г и более, химической стойкостью в широком диапазоне pH и высокой адсорбционной емкостью по отношению к катионам металлов. Ожидаемая эффективность сорбционной ступени составляет 95-98% по остаточным ионам тяжелых металлов, что гарантирует соответствие качества очищенной воды установленным нормативам.

Завершающим элементом технологической схемы является резервуар чистой воды, выполняющий функции аккумулирующей емкости и обеспечивающий равномерную подачу воды либо на обратное водоснабжение технологических процессов обогатительной фабрики, либо на сброс в водный объект после проведения заключительного контроля качества. Вся система проектируется с учетом возможности возврата промывных вод от фильтров в начало технологического цикла, что минимизирует объемы сбрасываемых стоков.

На основании проведенного исследования разработана комплексная технологическая схема очистки сточных вод медно-цинкового ГОК, устраняющая недостатки существующей пассивной системы. Схема включает стадии усреднения, грубого отстаивания, нейтрализации и осаждения с применением реагентов, двухступенчатой фильтрации и сорбционной доочистки. Использование комбинации физико-химических методов позволяет обеспечить стабильно высокое качество очистки, соответствующее современным экологическим нормативам и принципам наилучших доступных технологий. Внедрение предложенных мероприятий не только снизит негативную нагрузку на поверхностные воды, но и повысит экологическую и экономическую устойчивость предприятия.

Библиографический список

1. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 8-2015 «Добыча и обогащение полезных ископаемых». – М.:

Бюро НДТ, 2015. – 270 с.

2. Вараева Е. А., Аксенов В. И. Современные подходы к очистке сточных вод горно-обогатительных комбинатов от ионов тяжелых металлов // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24, № 5. С. 52–57.

3. Жуков А. И., Монгайт И. Л., Родзиллер И. Д. Методы очистки производственных сточных вод. М.: Стройиздат, 2019. 345 с.

4. Быковский Н.А., Пучкова Л.Н., Фанакова Н.Н. Очистка сточных вод от нефтепродуктов отстаиванием // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2022. № 3(137). С. 192-199.

© Насырова Э.А., 2025

УДК 614.841.3

В.И. НАФИКОВА, Н.Б. БАЙГУЖИНА, М.А. ШАЯХМЕТОВ

nafikova.v8@gmail.com

Науч. руковод. – ст. препод. **Дм.А. ТАРАКАНОВ**

Уфимский университет науки и технологий

АНАЛИЗ ПРИЧИН АШИНСКОЙ КАТАСТРОФЫ 1989 ГОДА

Аннотация: в работе рассмотрена Ашинская катастрофа 1989 года – одно из крупнейших техногенных происшествий на железной дороге в СССР. Проанализированы основные причины трагедии: утечка газа из повреждённого трубопровода, ошибки персонала при отсутствии чётких инструкций и недостаточная организация действий экстренных служб. Особое внимание уделено управленческим и инфраструктурным проблемам, выявленным в ходе расследования причин катастрофы.

Ключевые слова: Ашинская катастрофа; транссибирская магистраль; утечка газа; взрыв; техногенная авария; трубопровод; экстренные службы; организационные ошибки; человеческий фактор

Ашинская катастрофа произошла 4 июня 1989 года. Два пассажирских поезда столкнулись на Транссибирской магистрали: поезд № 211 (Новосибирск – Адлер) и поезд № 212 (Адлер – Новосибирск), которые двигались навстречу друг другу. В районе одного из них произошло столкновение с мощным облаком газа, образовавшимся из-за утечки из трубопровода и взорвавшимся из-за наличия источника зажигания [1].

Результаты анализа литературных источников [2, 3], связанных в том числе с расследованием причин катастрофы, позволили выделить 3 основные причины. Данные о причинах катастрофы приведены в таблице 1.

Причины катастрофы

Характер	Содержание причины	Причины
Техногенные причины	Нарушения в работе и эксплуатации технических систем	Утечка газа из трубопровода; отсутствие системы контроля утечек
Человеческий фактор	Ошибки и недостатки в действии персонала	Отсутствие инструкций при утечке газа; несвоевременная передача информации.
Управленческие и организационные проблемы	Недостатки в организации, координации и контроле работы служб	Плохая координация экстренных служб; нарушения градостроительных норм; отсутствие планов реагирования

Техногенные причины катастрофы – это факторы, связанные с деятельностью человека и функционированием технических систем, машин, сооружений или технологий, которые привели к аварии или способствовали её возникновению. В данном случае, техногенные причины – это утечка газа из повреждённого трубопровода. Повреждение было результатом некорректного строительства и эксплуатации трубы, которая транспортировала углеводороды. Из-за трещины в трубе газ начал медленно вытекать и скапливаться в низине, где проходили железнодорожные пути. В процессе эксплуатации отсутствовала система контроля утечек [3, 4].

Человеческий фактор при происшествии – это ошибки, действия или бездействие людей, которые способствовали возникновению или усугублению последствий аварии. В случае Ашинской катастрофы они проявились в следующем: машинисты и сотрудники железнодорожного транспорта почувствовали запах газа и пытались передать информацию об этом, однако не существовало четких инструкций по тому, что делать в случае утечки газа [5].

Управленческие и организационные проблемы – это недостатки в работе руководящих структур, планировании, координации и контроле, которые привели к неэффективным действиям до, во время или после происшествия. Катастрофа выявила проблемы в организации экстренных служб. Например, координация между различными ведомствами была недостаточной, а аварийные службы не были подготовлены к таким масштабным происшествиям. Повлияла нерегламентированная застройка возле железной дороги. Жилые дома стояли вплотную к путям, однако по нормам должна быть предусмотрена санитарная зона [6, 7].

Таким образом, Ашинская катастрофа 1989 года оказала многогранное и долговременное влияние на Челябинскую область, затронув все сферы жизни региона. Она выявила серьёзные проблемы в транспортной безопасности, организации перевозки опасных грузов, а также в системе экстренного

реагирования. В ходе работы рассмотрена катастрофа; выявлены причины, связанные с техногенным фактором – износ и дефекты трубопровода, отсутствие системы контроля утечек и надлежащего технического надзора; человеческим фактором – недостаточная информированность и отсутствие инструкций действий персонала при утечке газа; причины управленческого и организационного характера – слабая координация между ведомствами, неподготовленность экстренных служб и нарушения градостроительных норм вблизи железнодорожных путей.

Библиографический список

1. Булгаков В.В. Огненная ночь на Транссибе: Как забытая трещина породила крупнейшую катастрофу СССР [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://portal.edufire37.ru/articles/891>. Дата обращения: 28.10.2025.

2. Тараканов Д.А. Анализ визуальных симуляторов для обеспечения пожарной безопасности при железнодорожных перевозках / Д. А. Тараканов, А.М. Максютлов, К.Р. Байрамгулова // Полимерные материалы пониженной горючести: сборник тезисов XII Международной конференции, Балашиха, 09–12 сентября 2025 года. Балашиха: Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС РФ, 2025. С. 141-146. EDN UWMPLI.

3. «Ашинская катастрофа: причины крупнейшей трагедии на железной дороге в СССР» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://news.rambler.ru/fire/38823218-ashinskaya-katastrofa-prichiny-krupneyshey-tragedii-na-zheleznoy-doroge-v-sssr/>. Дата обращения: 28.10.2025.

4. Максютлов А.М., Тараканов Д.А. Анализ современного состояния проблемы обеспечения безопасности в поездах // Наука, образование, производство для противодействия техногенным угрозам и решения экологических проблем (Техносферная безопасность- 2025): материалы XXII Международной научно-практической конференции, Уфа, 06 мая 2025 года. Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2025. С. 100-104.

5. Журнал портала ВДПО. «АШИНСКАЯ ТРАГЕДИЯ». Крупнейшая железнодорожная катастрофа России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://xn--b1ae4ad.xn--p1ai/blog/post/ashinskaya-tragediya-krupneyshaya-zheleznodorozhnaya-katastrofa-rossii>. Дата обращения: 28.10.2025.

6. Роковое стечение обстоятельств»: 35 лет назад произошла крупнейшая в России железнодорожная катастрофа» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://fedpress.ru/article/3246176>. Дата обращения: 29.10.2025.

7. News.ru. Ашинская трагедия 1989 года — крупнейшая железнодорожная катастрофа СССР [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://news.ru/society/ashinskaya-tragediya-1989-goda-krupnejshaya-zheleznodorozhnaya-katastrofa-sssr>. Дата обращения: 29.10.2025.

© Нафикова В.И., Байгузина Н.Б., Шаяхметов М.А., 2025

М.Д. НУРМУХАМИТОВ

marsnyrn@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **А.А. НУРУТДИНОВ**

Уфимский университет науки и технологий

ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВОДОРОДА В МАШИННОМ ЗАЛЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Аннотация: статья подробно останавливается на проблеме пожарной безопасности на ТЭЦ, выделяя специфические риски и причины возгораний. Особенно обращается внимание на использование водорода, как эффективного охлаждающего агента. Однако, с увеличением применения водорода в технологических процессах, поднимается вопрос о необходимости контроля его концентрации для предотвращения потенциально опасных ситуаций, связанных с взрывами и пожарами.

Ключевые слова: электростанция; газоанализатор; водород; машинный зал; пожаровзрывоопасность; концентрация

Если представить всю экономику и нашу повседневную жизнь как организм, то электростанции – это его сердце. Их главная задача производить электрическую энергию в огромных масштабах. Без них не работало бы практически ничего из современной цивилизации. Подавляющее большинство электростанций в мире (кроме солнечных и фотоэлементных) работают по одному и тому же фундаментальному принципу.

– Получение механической энергии: любым способом нужно раскрутить огромный вал (ротор). Чаще всего для этого используют: пар (нагретый при сжигании угля, газа, мазута или в ядерном реакторе), который под высоким давлением вращает паровую турбину; воду (поток воды с плотины), которая вращает гидравлическую турбину; ветер, который вращает лопасти ветряной турбины.

– Преобразование механической энергии в электрическую. Раскрученный вал турбины соединен с валом электрогенератора. Внутри генератора находится ротор (обычно большой электромагнит), который вращается внутри статора (неподвижного сердечника с медной обмоткой). Согласно закону электромагнитной индукции Фарадея, это вращение создает (индуцирует) электрический ток в обмотках статора.

– Передача электроэнергии потребителям. Выработанное электричество имеет низкое напряжение. Оно подается на трансформатор, который резко повышает напряжение (до сотен тысяч вольт). Это нужно для эффективной передачи тока на большие расстояния по линиям электропередач (ЛЭП). Возле городов и предприятий другие трансформаторы понижают напряжение до

безопасного уровня(220/380В), и тогда энергия поступает в розетки.

Остановимся на ТЭЦ, а именно по каким причинам, и в каких зонах возникают пожары [1, 2].

Пожары в машинном зале (рис. 1) возникают из-за коротких замыканий, утечки водорода, перегрева оборудования, неисправных электропроводок или связанного с ними возгорание изоляции или электродвигателей.



Рис. 1. Машинный зал

Пожары в котельных установках могут возникнуть из-за возгорания топливной системы, неисправности в горелках, образования накипи, отказа автоматических систем контроля пламени и давления, также из-за неправильной эксплуатации или технического обслуживания.

Пожары в топливных складах и системах подачи топлива включают воспламенение угля, мазута, газов или других видов топлива на складах, транспортных системах или при их перевозке.

Пожары в системе теплообменников и трубопроводах возможны из-за протечек, коррозии, разгерметизации или нарушение теплоизоляции, что приводит к возгоранию утечек топлива или масла.

Пожары в системах электроснабжения и автоматического оборудования возникают из-за коротких замыканий, неисправных устройств, недостаточной изоляции или неправильной эксплуатации.

Пожары в системах мазута или масла связаны с течью, утечками, отказом насосов или системы охлаждения масел, что может привести к возгоранию.

Рассмотрим подробнее пожар в машинном зале, а именно пожаровзрывоопасность водорода в машинном зале. Использование водорода в машинных залах современных ТЭЦ связано с несколькими важными аспектами: – Топливо для газовых турбин. Водород может использоваться как альтернативное или дополнительное топливо для высокоэффективных газовых турбин или двигателей внутреннего сгорания. Водород обладает высокой калорийностью и чистым сгоранием, что способствует уменьшению выбросов

вредных веществ.

– Охлаждение электромеханического оборудования. Водород широко применяется для охлаждения электромоторов, генераторов и трансформаторов. Он обладает очень высокой теплопроводностью и низким сопротивлением, что обеспечивает эффективное охлаждение. Более эффективное и компактное охлаждение по сравнению с воздухом или жидким охлаждающим средами.

Использование водорода в машинном зале ТЭЦ – это современные технологические решения, направленные на повышение эффективности, экологической безопасности и развитие инновационных технологий в энергетике.

Для контроля концентрации водорода, нужно использовать газоанализаторы. Их основные функции и назначение:

1. Обнаружение утечек водорода – газоанализаторы своевременно обнаруживают даже малейшие утечки, что предотвращает риск накопления водорода с последующим воспламенением или взрывом.

2. Контроль концентрации – поддержание уровня водорода ниже допустимых пределов (обычно 1-4 %) для предотвращения пожаров и взрывов. Газоанализаторы следят за концентрацией и включают предупредительные сигналы или аварийные системы при превышении пороговых значений.

3. Обеспечение безопасности персонала – быстрая сигнализация о возможных утечках позволяет своевременно принять меры и защитить людей, находящихся в машинном зале.

4. Соответствие требованиями нормативных документов – использование газоанализаторов помогает соблюдать нормативные стандарты и правила техники безопасности в промышленных энергетических объектах.

5. Контроль за состоянием систем – они способствуют профилактике аварийных ситуаций, связанных с водородом, и позволяют оптимизировать техническое обслуживание.

Поскольку водород является незаменимым элементом в машинном зале, но в тоже время существует риск возникновения аварийной ситуации, применение газоанализаторов способствует обеспечению безопасности в машинных залах.

Библиографический список

1. Gordeev V., Nasyrova E., Elizaryev A., Fazylova A., Kamaeva E. Hazard assessment of hot water boiler at thermal power plant // E3S Web of Conferences: International Scientific Siberian Transport Forum - TransSiberia 2023, Novosibirsk, Russia, 16–19 мая 2023 года. Vol. 402. – Novosibirsk, Russia: EDP Sciences, 2023. – P. 07041. DOI 10.1051/e3sconf/202340207041.

2. Насырова Э.С., Нафикова Э.В., Камаева Э.Д., Фазылова А.В. Пожарная безопасность как фактор обеспечения устойчивого развития // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2022. Т. 11, № 2(58). С. 181-187.

© Нурмухамитов М.Д., 2025

Е.С. ОСТРОВСКАЯ, Э.Р. ЯКУПОВА, В.Д. КУЗНЕЦОВА

kiskaty785@mail.ru

Науч. руковод. – канд. хим. наук, доцент **Н.В. КОСТРЮКОВА**

Уфимский университет науки и технологий

АНАЛИЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА КАК ИСТОЧНИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Аннотация: в статье представлены результаты анализа выбросов загрязняющих веществ на металлургическом комбинате. Рассчитаны валовые выбросы от основных производственных цехов: доменного, литейного, прокатного и механической обработки. Установлены основные загрязнители атмосферы и их количественные характеристики. Выявлены наиболее значимые источники загрязнения окружающей среды.

Ключевые слова: металлургический комбинат; загрязнение окружающей среды; валовые выбросы; доменное производство; литейный цех; оксид углерода; промышленная пыль; аэрозоли СОЖ

Группа «ММК» имеет несколько базовых производственных направлений – доменное производство, сталеплавильное, прокатное, литейное, коксохимическое и гальваническое. На каждом этапе обработки металла выделяется огромное количество вредных веществ в атмосферу и водные ресурсы, также запечатывание почвенного покрова [1,2], ведущий к утрате экологических функций почв [3,4].

Для эколого-экономической оценки воздействия загрязнения на окружающую среду металлургическим комбинатом проведен расчет массы образующихся на предприятии вредных веществ.

Основным технологическим оборудованием кузнечных участков являются: кузнечные горны, нагревательные печи, масляные ванны и молоты.

Согласно расчетам валовых выбросов загрязняющих веществ от кузнечно-прессового оборудования больше всего при кузнечных работах выделяется оксид углерода $M = 82$ т/год.

В состав литейного цеха входят плавильные агрегаты, места разлива металла и очистки литья, шихтовый двор, участки приготовления формовочных и стержневых смесей.

Результат валовых выбросов загрязняющих веществ от литейного цеха представлен на рис. 1, можно сделать вывод, что больше всего в литейном цехе выделяется пыль при плавке стали.

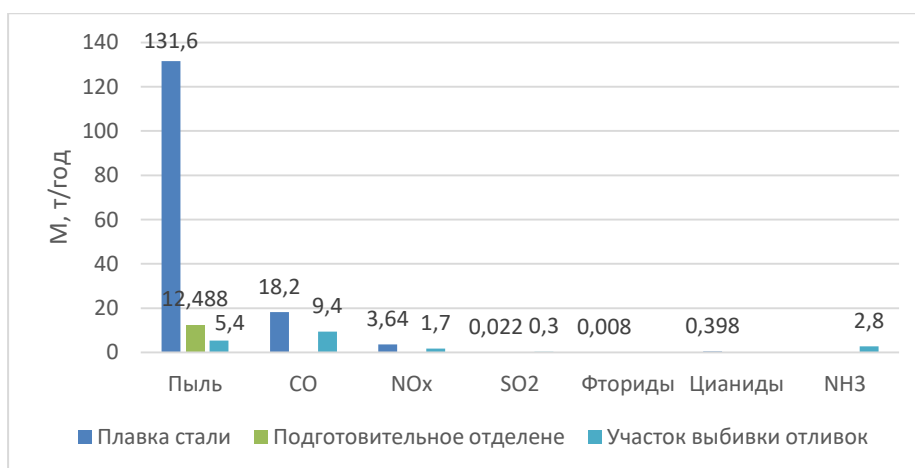


Рис. 1. Валовые выбросы загрязняющих веществ от литейного цеха (т/год)

Результат расчетов выделения загрязняющих веществ в атмосферу при различных технологических процессах обработки материалов представлены на рис. 2. Больше всего при различных технологических процессах обработки материалов выделяется аэрозоль СОЖ на фрезерном станке.

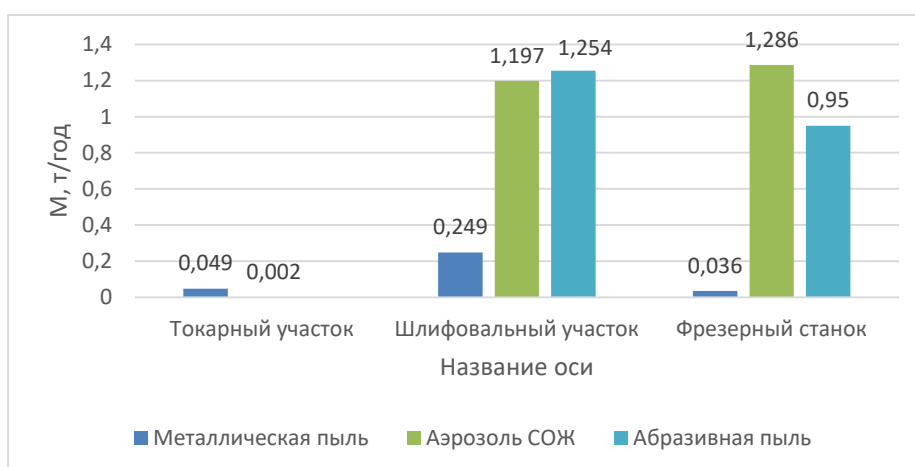


Рис. 2. Валовое выделение загрязняющих веществ при различных технологических процессах обработки материалов, т/год

Процессы сварки, наплавки и тепловой резки металлов сопровождаются выделением сварочного аэрозоля и газов. Результат расчетов выделения загрязняющих веществ в атмосферу при проведении сварочных работ и газорезке представлены на рис. 3.

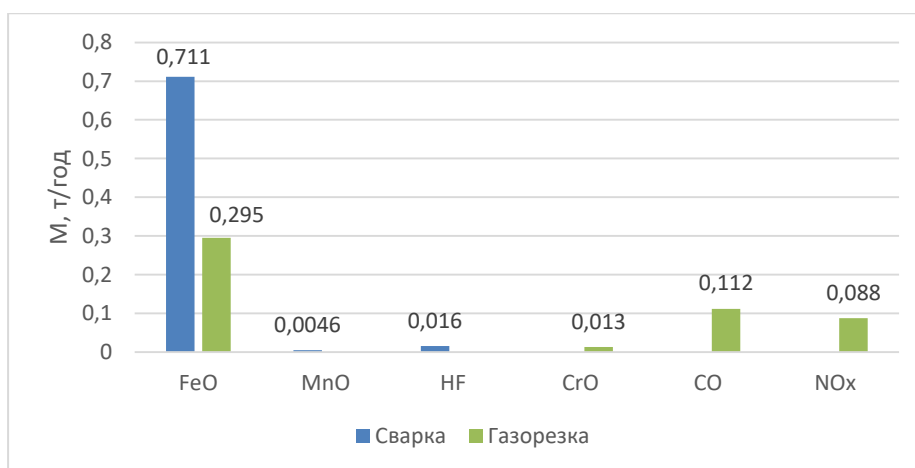


Рис. 3. Валовое выделение вредных веществ при проведении сварочных работ и газорезки в прокатном цехе, т/год

Исходя из графика, можно сделать вывод, что больше всего выделяется железа (FeO) при сварке ($M = 0,711$ т/г).

В работе проанализирована структура металлургической отрасли России, включая добычу, обогащение и переработку металлических руд. Изучены производственные участки и технологические процессы, влияющие на окружающую среду. Основные загрязнители: неорганическая пыль SiO_2 , диоксид серы (SO_2), диоксид азота (NO_2), оксид углерода (CO).

Рассчитана масса выбросов вредных веществ: в доменном цеху – 102,8 т/год (CO – 82 т/год), в литейном цехе – 214,8 т/год (пыль – 131,6 т/год), при механической обработке – 2,485 т/год аэрозоля СОЖ. На шлифовальном участке наблюдаются высокие выбросы абразивной пыли и аэрозолей. При сварочных работах и газорезке выделяются оксиды железа.

Библиографический список

1. Экологические проблемы почвы в городской среде Антонова С.Р., Кострюкова Н.В. В сборнике: Гражданская оборона и природно-технические системы. Сборник статей по материалам XX Международной научно-практической конференции. Воронеж, 2024. С. 116-119.
2. Размер вреда в результате загрязнения почв, возникшего при поступлении в почву загрязняющих веществ Нафикова Э.В., Александров Д.В., Шаниязова А.Ф., Сидорова А.Н. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023617236, 06.04.2023. Заявка № 2023616038 от 28.03.2023.
3. Оценка загрязнения почв в зоне влияния предприятий металлургической отрасли / Е. Н. Елизарьева, Ю. А. Янбаев, Н. Н. Редькина [и др.] // Вестник Оренбургского государственного университета. 2017. № 9(209). С. 8-13. EDN YLQHPS.
4. Елизарьева Е.Н. Токсическое действие тяжелых металлов // Актуальные вопросы университетской науки: Сборник научных трудов. Том Выпуск 2. Уфа: Башкирский государственный университет, 2016. С. 110-120. EDN VXHLMF.

© Якупова Э.Р., Кузнецова В.Д., Островская Е.С., 2025

Е.С. ОСТРОВСКАЯ, Э.Р. ЯКУПОВА, В.Д. КУЗНЕЦОВА

kiskaty785@mail.ru

Науч. руковод. – канд. хим. наук, доцент **Н.В. КОСТРЮКОВА**

Уфимский университет науки и технологий

ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ТРУДА НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ ГАЛЬВАНИКА

Аннотация: в статье представлены результаты анализа условий труда на рабочем месте гальваника при хромировании деталей. Рассмотрены опасные и вредные производственные факторы, характерные для гальванического производства, включая химические, физические и психофизиологические воздействия.

Ключевые слова: гальваническое производство; хромирование; условия труда; вредные факторы

Гальваническое производство характеризуется высокой интенсивностью воздействия вредных факторов на работника, поскольку технологический процесс предполагает использование агрессивных химических веществ и электролитов, относящихся к наиболее опасным категориям [1,4]. Создание безопасных условий труда в подобных производствах регламентируется законодательством Российской Федерации, включая Федеральный закон № 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда» [2], а также приказ Минтруда России № 817н, определяющий методику оценки факторов рабочей среды.

Согласно классификатору опасных и вредных производственных факторов ГОСТ 12.0.003–2015, на рабочем месте гальваника присутствуют:

Физические факторы:

Шум, генерируемый вентиляционными установками, компрессорами и сушильным оборудованием;

Микроклимат, характеризующийся пониженной температурой, повышенной влажностью и скоростью движения воздуха;

Пониженная освещенность рабочей зоны.

Химические факторы:

пары и аэрозоли серной кислоты, соляной кислоты, хромового ангидрида; едкие щёлочи;

оксиды азота.

Перечисленные вещества входят в список опасных соединений приказа № 988н/1420н.

Психофизиологические факторы:

статическая работа;

повторяющиеся движения;

физические нагрузки при перемещении деталей;
напряжение зрительного аппарата.

Влияние соединений хрома класса опасности А подробно описано в научной литературе, где отмечается их способность вызывать хронические поражения дыхательных путей и кожных покровов [3].

ПАО «ММК» осуществляет управление охраной труда на основе стандартов ISO 45001 и внутренней политики предприятия. В компании реализуются мероприятия по снижению травматизма: обучение персонала, обеспечение СИЗ, проведение СОУТ, медицинские осмотры и контроль состояния условий труда.

Статистика производственного травматизма за последние годы отражает его устойчивое снижение, что подтверждает эффективность внедрённых мер [3].

В соответствии с ГОСТ 12.0.003–2015 и санитарными нормами, действие вредных факторов на рабочем месте гальваника может приводить к:

хроническим респираторным заболеваниям;

дерматитам и экземам;

отравлениям парами кислот;

химическим ожогам;

снижению работоспособности при воздействии неблагоприятного микроклимата.

Хромовые соединения вызывают изъязвления кожи, риниты, перфорацию перегородки носа и обладают канцерогенным эффектом. Использование кислотных растворов сопровождается поражениями дыхательных путей [5].

Согласно СП 52.13330.2016 и ГОСТ Р 55710–2013, минимальная освещённость для рабочих мест в гальваническом цехе должна составлять 200 лк. Фактическое значение – 150 лк, что соответствует классу 3.1 (вредный).

Нормы допустимого уровня шума определены ГОСТ 12.1.003–2014. Эквивалентный уровень шума – 82 дБА, при норме 80 дБА. Класс условий труда – 2 (допустимый).

Результаты измерений температуры воздуха, относительной влажности воздуха и скорости движения воздуха представлены в таблицах 1, 2, 3.

Таблица 1

Результаты измерений температуры воздуха

Помещение	Категория работ	Температура воздуха, °С		
		Оптимальная	Допустимая	Фактическая
Гальванический цех	IIa	19,0-21,0	18,9-17,0	14,5

Согласно данным таблицы 1 в гальваническом цеху класс условий труда по показателю «температура воздуха» достигает 3.1 (вредный).

Таблица 2

Результаты измерений относительной влажности воздуха

Помещение	Категория работ	Влажность воздуха, %		
		Оптимальная	Допустимая	Фактическая
Гальванический цех	Па	60-40	15- <40; > 60-75	80

Согласно данным таблицы 2 в гальваническом цеху класс условий труда по показателю «влажность воздуха» достигает 3.1 (вредный).

Таблица 3

Результаты измерений скорости движения воздуха

Помещение	Категория работ	Скорость движения воздуха, м/с		
		Оптимальная	Допустимая	Фактическая
Гальванический цех	Па	≤ 0,2	≤ 0,1	0,3

Согласно данным таблицы 3 в гальваническом цеху класс условий труда по показателю «скорость движения воздуха» достигает 3.1 (вредный).

Таким образом, общий класс условий труда в помещении 3.1 (вредный).

В таблице 4 приведены предельно допустимые концентрации вредных газов и паров в атмосфере и класс их опасности.

Таблица 4

Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных газов и паров в атмосфере и класс их опасности

Наименование вещества	Формула	Фактическое значение, мг/м ³	Величина ПДК, мг/м ³	Преимущественное агрегатное состояние в воздухе в условиях производства	Класс опасности
Серная кислота	H ₂ SO ₄	2,8	1	а	2
Хрома оксид	CrO ₃	2,3	1	а	1
Водород хлористый	HCl	4,3	5	п	2
Едкая щелочь	NaOH	0,15	0,05	а	2

Как видно из таблицы 4, превышения по серной кислоте – в 2.8 раза; хромовый ангидрид – в 2,3 раза; едкая щёлочь – в 3 раза. Итоговый класс по химическому фактору – 3.1 (вредный).

Тяжесть и напряжённость трудового процесса по приказу Минтруда № 817н: масса поднимаемых грузов – 20 кг; стереотипные движения – до 10 000; работа стоя – до 60 % смены. Можно сделать вывод, что класс условий труда по тяжести трудового процесса соответствует классу 3.1, напряжённость труда – 2.

Итоговый класс условий труда определяется по наихудшему значению

факторов. На основании химического фактора, микроклимата, освещения и тяжести труда установлено: итоговый класс условий труда – 3.2 (вредный)

Работнику при этом положены компенсации согласно трудовому кодексу Российской Федерации: дополнительный отпуск ≥ 7 дней; повышенная оплата труда (+4 % и более); выдача СИЗ; выдача молока или равноценных продуктов.

Система Элмери – система оценки уровня безопасности рабочего места, которая отслеживает факторы, влияющие на безопасность рабочего места. Они сгруппированы в семь групп: производственного процесса; порядка и чистоты; состояния оборудования; параметров среды; эргономики; проездов и проходов; готовности к оказанию помощи. Наиболее отрицательные оценки были получены по: освещению; микроклимату; концентрации химических веществ; шуму. Итоговый индекс указывает на необходимость инженерных мероприятий.

Рабочее место гальваника относится к категории вредных, что подтверждается установленным классом условий труда 3.2. Наиболее значимым фактором является химическое воздействие, усиленное неблагоприятным микроклиматом и недостаточной освещённостью. Применение комплекса инженерных мер, улучшение вентиляции, освещения, а также правильный подбор СИЗ позволят снизить уровень профессиональных рисков и обеспечить выполнение нормативных требований охраны труда.

Библиографический список

1. Насырова Э.С., Нафикова Э.В., Камаева Э.Д., Фазылова А.В. Пожарная безопасность как фактор обеспечения устойчивого развития // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2022 Т. 11. №2 (58). С.181-187.

2. Приказ Минтруда России от 21.11.2023 № 817н «Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению».

3. Колесников А.А. Гальваника хромирования: новый взгляд // Альтернативная энергетика и экология. 2015. №. 4 (168). С. 86-101.

4. Кострюкова Н.В., Антонова С.Р. Экологические проблемы почвы в городской среде // Гражданская оборона и природно-технические системы: сборник статей по материалам XX Международной научно-практической конференции. Воронеж, 2024. С.116-119.

5. Смирнова Т.П., Кострюкова Н.В., Елизарьев А.Н. Оказание первой помощи в чрезвычайных ситуациях: практикум для студентов, изучающих дисциплины «Оказание доврачебной помощи при авариях и ЧС», «Оказание медицинской помощи при авариях и чрезвычайных ситуациях», «Медицина катастроф и психологическая устойчивость в ЧС» / Уфа, 2021.

© Якупова Э.Р., Кузнецова В.Д., Островская Е.С., 2025

П.Д. ОХОТНИКОВА, К.Р. БАЙРАМГУЛОВА, А.С. ШАПОШНИКОВ

oxotnikovapolina@gmail.com

Науч. руковод. – ст. препод. **Д.А. ТАРАКАНОВ**

Уфимский университет науки и технологий

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АВАРИИ РАЗЛИВОВ НЕФТИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Аннотация: статья рассматривает экологические аварии, связанные с добычей, переработкой и транспортировкой нефти и нефтепродуктов в РФ. Оценивается степень воздействия промышленных предприятий на окружающую среду, включая загрязнение атмосферы, гидросферы и литосферы, а также риски с аварийными ситуациями. Проведен анализ текущего состояния экологической ответственности 11 промышленных предприятий.

Ключевые слова: экологические последствия; промышленные предприятия; нефтяная промышленность; нефтепродукты; охрана окружающей среды; экологическое воздействие; устойчивое развитие

Промышленные предприятия, занимающиеся добычей, переработкой и хранением нефти и нефтепродуктов, несут в себе риск серьезных экологических аварий. Нефтяные разливы, даже локальные, могут нанести существенный и длительный вред окружающей среде несмотря на то, что по масштабам они могут быть меньше, чем крупные морские катастрофы. Загрязнение может иметь различные источники, начиная от аварий на хранилищах и трубопроводах, заканчивая утечками во время технологических процессов. Разливы, затрагивающие почву, воду и атмосферу, создают серьезную угрозу как для местных экосистем, так и для благополучия людей, живущих вблизи промышленных объектов.

Каждый год человечество извлекает из недр Земли примерно 300 миллиардов тонн минерального сырья. При этом конечная продукция составляет 2-3% от этого объема. Огромное количество отходов, образующихся в процессе добычи, попадает в окружающую среду. Среди них 2,5% составляют газы, 4% жидкостей и большая часть в твердом виде. Из этих твердых отходов 2% представляют серьезную опасность, являясь токсичными, канцерогенными или мутагенными [1, 2].

Россия, будучи одним из ведущих мировых экспортеров нефти и газа, сталкивается с существенными экологическими вызовами во многих своих регионах, что делает эту проблему крайне актуальной [3]. Детальное изучение последствий деятельности нефтегазовой отрасли позволит понять её влияние на экологию и сопутствующие проблемы. Особую опасность для существования жизни представляет загрязнение окружающей среды нефтепродуктами, которое

неизбежно сопровождает весь цикл добычи нефти, начиная с поисково-разведочных работ и заканчивая переработкой. Продукция нефтяной промышленности, попадая в окружающую среду, вызывает разрушительные изменения в атмосфере, гидросфере, литосфере [4, 5].

Выбросы парниковых газов (углекислый газ, метан), связанные с нефтяной промышленностью (добыча, переработка, транспортировка), способствуют изменению климата [6-8]. Эти газы препятствуют рассеиванию солнечного тепла. Выбросы вредных газов (диоксид серы, диоксид азота и углеводороды) являются следствием работы нефтеперерабатывающих заводов. Эти загрязнители попадают в атмосферу из-за утечек оборудования, высокотемпературных процессов горения и нагрева рабочих жидкостей [9].

Нефтяные загрязнения водных экосистем: нефтепродукты попадают в водоемы при добыче, транспортировке и в результате аварийных ситуаций с нефтяными танкерами. В воде они существуют в различных формах: как плёнка на поверхности, в виде растворённых компонентов, устойчивых эмульсий, а также в виде осадка тяжёлых фракций на дне. Загрязнение подземных вод нефтепродуктами и химическими реагентами, задействованными в технологических процессах разработки месторождений, приводит к трансформации их гидрохимического режима [7-10].

Загрязнение почвы нефтепродуктами: присутствие нефтяных углеводородов негативно влияет на физические и химические характеристики почвы, изменяя её структуру и свойства, приводит к нарушению рельефа, в частности, к проседанию пород из-за обрушения подземных пустот, образовавшихся при извлечении ископаемых. Это может вызвать техногенное землетрясение [8-10].

Таким образом, продукция этой отрасли, попадая в атмосферу, гидросферу, литосферу, вызывает опасные изменения, угрожающие здоровью живых организмов и стабильности экосистем.

Рассмотрим рейтинг экологических последствий на промышленных предприятиях РФ: в этот список попало 11 российских компаний, в том числе «Роснефть», «Газпром», «Газпром нефть», «Лукойл», «Татнефть», «Сургутнефтегаз», «Башнефть», «Сахалин Энерджи» и др. Их оценивали по трем ключевым параметрам: эффективности управления охраной окружающей среды, масштабу экологического воздействия и прозрачности в предоставлении информации. Рейтинг формировался исключительно из открытых источников, а первые позиции заняли «Сургутнефтегаз», «Сахалин Энерджи», «Газпром» [11].

Таблица 1

Рейтинг экологической ответственности нефтегазовых компаний РФ

Итоговое место	Компания	Итоговый балл
1	Сургутнефтегаз	1,6164
2	Сахалин Энерджи (С – 2)	1,5253
3	Газпром	1,3545
4	Татнефть	1,287

Итоговое место	Компания	Итоговый балл
5	Иркутская НК	1,1106
6	Салым Петролеум	1,0996
7	Роснефть	1,086
8	Зарубежнефть	1,0556
9	Лукойл	0,9943
10	Газпром нефть	0,8717
11	Башнефть	0,7315

Результаты данного рейтинга служат наглядным инструментом для выявления существующих различий в экологической политике и практиках ведущих промышленных предприятий России. Он является значимым индикатором, позволяющим оценить усилия компаний в области устойчивого развития и предоставить общественности информацию об их экологической деятельности. Результаты рейтинга могут стать фундаментом для дальнейшего анализа, стимулирования компаний к повышению экологической ответственности и способности совершенствования отраслевых стандартов.

Таким образом, в ходе работы выявлено, что добыча, переработка и транспортировка нефти и нефтепродуктов неизбежно сопровождаются значительным негативным воздействием на окружающую среду, что подтверждается аварийными случаями. Установлено, что деятельность нефтегазовых компаний оказывает разностороннее влияние на экосистемы: загрязнение почвы, воды и атмосферы. Результаты анализа рейтинга экологической ответственности нефтегазовых компаний РФ показывают, что лидирующие позиции занимают «Сургутнефтегаз», «Сахалин Энерджи», «Газпром». Это служит наглядным индикатором уровня экологической политики и практики российских промышленных компаний.

Библиографический список

1. Степаненко И.Б., Соромотин А.В., Лекомцев А.В. Экологические проблемы, вызванные деятельностью предприятий нефтегазового сектора и действия компаний по снижению вреда экологии // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы», 2019.

2. Гиззатуллина И.И., Кузнецова В.К., Ахметова В.А. Анализ аварий на нефтяной промышленности // Мавлютовские чтения: материалы XVIII Всероссийской молодёжной научной конференции. В 9-ти томах, Уфа, 25-29 ноября 2024 года. Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2024. С. 44-47. EDN HGKFBVX.

3. Коврига Е.В., Горовенко Л.А. Нормативы по защите окружающей среды: учебное пособие. Армавир: РИО АГПУ, 2017. 124 с.

4. Барабанщиков Д.А., Сердюкова А.Ф. Экологические проблемы нефтяной промышленности России // Молодой ученый. 2016. № 26 (130). С. 727-731.

5. Нафикова Э.В., Шаниязова А.Ф., Александров Д.В., Хужина Р.Р. Геоэкологическая оценка нефтезагрязненных ландшафтов Республики Башкортостан // Геоинформатика. 2024. № 4. С. 57-69.

6. Парниковый эффект: причины и последствия [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://plus-one.ru/manual/2022/06/24/parnikovyy-effekt-prichiny-i-posledstviya>. Дата обращения: 04.11.25

7. Коршунова Т.Ю., Логинов О.Н. Нефтяное загрязнение водной среды: особенности [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://esg-library.mgimo.ru/upload/iblock/00e/83u>. Дата обращения: 04.11.25

8. A.Elizaryev, D.Tarakanov, S.Aksenov [et al.] / Influence of seasonal changes in climatic conditions on losses at oil tanks filling (on example of the Republic of Bashkortostan) / E3S Web of Conferences: 13th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2020, Rostovon-Don, 26–28 февраля 2020 года. EDP Sciences: EDP Sciences, 2020. P. 12021. DOI 10.1051/e3sconf/202017512021. EDN YMVGAA.

9. Экология почв земельных ресурсов в нефтегазовом комплексе [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=872843>. Дата обращения: 05.11.25

10. R.Fedeli, S.Celletti, D.Alexandrov [et al.] / Biochar-mediated bioremediation: a sustainable strategy to increase Avena sativa L. tolerance to crude oil soil contamination / Environmental Science and Pollution Research. 2024. Vol. 31, No. 40. P. 52774-52783. DOI 10.1007/s11356-024-34732-6. EDN RLIBHA.

11. Рейтинг экологической ответственности нефтегазовых компаний_РФ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.ruwiki.ru/wiki/>. Дата обращения: 05.11.25

© Охотникова П.Д., Байрамгулова К.Р., Шапошников А.С., 2025

С.С. ПОПОВ

porov_semen_34@mail.ru

Науч. руковод. – асс. **Д.В. АЛЕКСАНДРОВ**

Уфимский университет науки и технологий

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Аннотация: в статье рассмотрены основные источники загрязнения окружающей среды при функционировании фармацевтических предприятий и приведен анализ современных технологий очистки сточных вод. Особое внимание уделено применению ресурсосберегающих решений и наилучших доступных технологий, обеспечивающих снижение антропогенной нагрузки на гидросферу и атмосферу. Приведены сравнительные данные по эффективности методов очистки.

Ключевые слова: фармацевтическое производство; сточные воды; загрязнение; очистные сооружения; наилучшие доступные технологии; экологическая безопасность; ресурсосбережение

Фармацевтическая промышленность относится к числу стратегически значимых отраслей, обеспечивающих разработку и производство лекарственных средств, необходимых для поддержания здоровья населения. Вместе с тем данная отрасль является источником повышенной экологической нагрузки, обусловленной применением большого количества химических реагентов, органических растворителей и вспомогательных веществ.

Возрастающий масштаб фармацевтического производства и разнообразие технологических процессов формируют сложный комплекс воздействий на окружающую среду. Среди них – выбросы летучих органических соединений, образование токсичных сточных вод и твердых отходов, требующих специализированной системы обращения [1].

Целью настоящего обзора является систематизация данных о видах и масштабах загрязнений, характерных для фармацевтических предприятий, и анализ современных направлений повышения экологической безопасности их функционирования.

Фармацевтические предприятия воздействуют на окружающую среду по трем основным направлениям:

- выбросы в атмосферу,
- сброс сточных вод,
- образование твердых отходов производства.

Основные виды загрязнений фармацевтического производства приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные виды загрязнений фармацевтического производства

Вид загрязнения	Основные источники	Типичные вещества	Экологические последствия
Атмосферные выбросы	Реакторы, сушилки, дозирующие установки, розлив	Этиловый спирт, ацетон, формальдегид, оксиды азота	Загрязнение воздуха, образование фотохимического смога
Сточные воды	Мойка оборудования, фильтрация, экстракция	Органические растворители, соли тяжелых металлов, остаточные АФИ	Токсичность, нарушение биоценозов водных объектов
Твердые отходы	Остатки субстанций, фильтрующие материалы, упаковка	Фармацевтические субстанции, полимеры, реагенты	Загрязнение почв, вторичное загрязнение вод

Таким образом, экологическая нагрузка фармацевтического производства имеет многокомпонентный характер, охватывающий все основные природные среды.

Одной из наиболее острых проблем является очистка сточных вод. Их состав отличается нестабильностью и высокой концентрацией трудноразлагаемых веществ – спиртов, кетонов, эфиров, кислот, антибиотиков и прочих органических соединений.

Показатели химической (ХПК) и биохимической потребности в кислороде (БПК) таких стоков в 10–20 раз превышают значения для бытовых сточных вод. Присутствие поверхностно-активных веществ снижает эффективность традиционных биологических методов очистки. Поэтому на практике применяются комбинированные многоступенчатые системы.

Подобные системы позволяют снизить содержание органических веществ и остаточных субстанций на 90-98 %, обеспечивая соблюдение нормативов ПДК при сбросе в водные объекты [2].

Современные фармацевтические предприятия переходят от традиционных установок механико-биологической очистки к технологиям наилучших доступных методов (НДТ). Их внедрение направлено на повышение эффективности удаления стойких органических соединений и снижение водопотребления. Примеры таких методов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Эффективность и особенности современных методов очистки сточных вод

Метод	Принцип действия	Эффективность, %	Преимущества	Ограничения
Мембранная фильтрация (ультра-, нанофильтрация, осмос)	Фильтрация раствора через пористые мембраны	80-95	Компактность, возможность рециркуляции воды	Высокая стоимость мембран, чувствительность к засорению
Сорбция на активированных углях, цеолитах, доломите	Поглощение загрязнителей на поверхности сорбента	70-90	Простота эксплуатации, возможность регенерации	Необходима замена сорбента
Каталитическое окисление (TiO_2 , MnO_2 , Fe^{3+})	Разрушение органических соединений активными радикалами	90-99	Высокая степень очистки, нейтрализация токсичных веществ	Энергозатратность, сложность управления процессом
Биологическая очистка (аэробные и анаэробные биореакторы)	Разложение органических веществ микроорганизмами	85-98	Экологичность, низкие эксплуатационные расходы	Снижение эффективности при высоких концентрациях токсикантов

Для повышения общей эффективности очистки используется последовательное сочетание нескольких методов — физико-химического, биологического и мембранного [3].

Современная концепция экологической безопасности фармацевтических производств основана на принципах замкнутого водооборота и минимизации отходов.

Основные направления включают:

повторное использование очищенной воды в технологических и санитарных целях;

регенерацию растворителей и сорбентов;

утилизацию и обезвреживание шламов с последующим использованием в строительных материалах;

внедрение систем мониторинга качества сточных вод и выбросов в реальном времени.

Внедрение ресурсосберегающих схем позволяет снизить объем сброса сточных вод на 25-40 %, уменьшить энергопотребление на 10-15 % и обеспечить соответствие экологическим нормативам без снижения производительности.

Эффективное управление экологическими рисками фармацевтического

предприятия требует комплексного подхода, включающего:

разработку программ производственного экологического контроля;

автоматизированный учет выбросов и стоков;

внедрение систем менеджмента ISO 14001;

регулярную оценку воздействия на окружающую среду (ОВОС) при модернизации оборудования;

обучение персонала принципам экологически безопасного производства.

Особое внимание уделяется контролю за обращением с лекарственными субстанциями и реагентами, исключающему их попадание в окружающую среду на всех стадиях жизненного цикла продукции.

Фармацевтическая промышленность относится к числу отраслей с высокой экологической нагрузкой, поскольку в технологических процессах широко применяются химически активные вещества и органические растворители, оказывающие воздействие на воздух, воду и почву. Для снижения уровня загрязнения требуется комплексный подход, основанный на внедрении многоступенчатых систем очистки сточных вод, использующих наилучшие доступные технологии (НДТ).

Наибольшую эффективность демонстрируют комбинированные схемы, включающие физико-химические, биологические и мембранные методы обработки, а также внедрение принципов ресурсосбережения и замкнутых водооборотных циклов. Это обеспечивает устойчивое и экологически безопасное функционирование фармацевтических предприятий при минимальном воздействии на окружающую среду.

Библиографический список

1. Нафикова Э.В., Соколова О.В., Александров Д.В. // Устойчивое развитие территорий: теория и практика: материалы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. В 2-х томах, Сибай, 14–16 ноября 2019 года. Том 2. – Сибай: Сибайский информационный центр-филиал ГУП РБ Издательский дом «Республика Башкортостан», 2019. С. 186-188.

2. Антонова Н.А., Домашненко Ю.Е., Васильев С.М. Определение многоцелевой эффективности системы очистки природной воды для капельного орошения методом критериальной оценки // Инновации в сельском хозяйстве. 2017. № 1 (22). С. 260-267.

3. Александров Д.В., Нафикова Э.В., Соколова О.В. // Экологический мониторинг опасных промышленных объектов: современные достижения, перспективы и обеспечение экологической безопасности населения: сборник научных трудов по материалам Всероссийской научно-практической конференции, Саратов, 11–13 декабря 2019 года. Том Часть 1. Саратов: Общество с ограниченной ответственностью «Амирит», 2019. С. 3-6.

© Попов С.С., 2025

С.С. ПОПОВ

popov_semen_34@mail.ru

Науч. руковод. – асс. **Д.В. АЛЕКСАНДРОВ**

Уфимский университет науки и технологий

ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ В УСЛОВИЯХ КАРСТООПАСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Аннотация: в статье рассмотрены вопросы оценки техногенных рисков и обеспечения безопасности фармацевтических предприятий, функционирующих на карстоопасных территориях. Описаны геоэкологические факторы, влияющие на устойчивость промышленных площадок, приведена схема сценария развития чрезвычайной ситуации. Предложены инженерные, технологические и организационные меры по снижению вероятности аварий и минимизации их последствий.

Ключевые слова: фармацевтическое производство; техногенный риск; чрезвычайная ситуация; карст; промышленная безопасность; геомониторинг; прогнозирование

Современные фармацевтические предприятия относятся к категории химически и экологически опасных объектов, так как их производственные циклы включают обращение с органическими растворителями, кислотами, щелочами и активными фармацевтическими ингредиентами. Размещение таких объектов на территориях, подверженных геодинамическим процессам – в частности, карстовым деформациям, – значительно повышает вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций природно-техногенного характера.

Актуальность исследований в этой области определяется необходимостью прогнозирования рисков и разработки инженерных, организационных и технологических мер, направленных на предупреждение аварий и минимизацию их последствий для населения и окружающей среды.

Карст – это совокупность геологических процессов, обусловленных растворением водорастворимых пород (известняков, доломитов, гипсов, ангидритов) и образованием подземных полостей, воронок, провалов и суффозионных каналов. Развитие карста зависит от литологического состава пород, гидрогеологических условий, уровня подземных вод и интенсивности антропогенной нагрузки [1].

При строительстве и эксплуатации промышленных предприятий карстовые явления представляют собой фактор скрытой опасности (таблица 1), который может привести к:

деформации и разрушению фундаментов и несущих конструкций;

разгерметизации подземных инженерных сетей и резервуаров;
загрязнению подземных и грунтовых вод промышленными стоками;
авариям с выбросом или проливом опасных веществ.

Таблица 1

Основные геоэкологические факторы, влияющие на устойчивость
промышленных площадок

Фактор	Проявление	Потенциальные последствия
Геологическое строение	Наличие растворимых пород, трещиноватость, полости	Осадки, провалы, деформации зданий
Гидрогеологический режим	Колебания уровня подземных вод, агрессивность воды	Развитие карстовых процессов, фильтрация загрязнений
Антропогенная нагрузка	Вибрации, утечка стоков, тепловое воздействие	Активизация карстовых деформаций
Инженерная подготовка площадки	Недостаточная гидроизоляция, нарушение дренажа	Ускоренное разрушение основания, аварии

В фармацевтическом производстве обращаются десятки химически активных веществ, что повышает риск вторичных экологических и санитарно-гигиенических последствий при авариях. В числе наиболее опасных факторов выделяются:

выбросы токсичных паров (этанол, ацетон, хлороформ, кислоты);
проливы концентрированных растворов и органических реагентов;
разрушение складских емкостей и трубопроводов при подвижках грунта;
возгорания или взрывы горючих веществ при контакте с воздухом [2].

Сложность оценки риска заключается в сочетании внутренних (технологических) и внешних (геологических) угроз. Поэтому эффективное управление безопасностью должно включать геомониторинг и прогнозирование природных процессов наравне с контролем производственной среды.

Для прогнозирования последствий ЧС на фармацевтических предприятиях используются сценарные методы, основанные на анализе вероятности возникновения исходных событий и их каскадного развития.

При моделировании учитываются: глубина залегания карстующихся пород, состав подземных вод, физико-химические свойства веществ, объем возможных выбросов и метеоусловия на момент аварии.

Комплекс мер по снижению риска чрезвычайных ситуаций на фармацевтических предприятиях включает следующие направления:

Инженерно-геологические мероприятия:

детальное обследование площадки перед строительством;
регулярный геомониторинг состояния грунтов и фундаментов;
применение свайных фундаментов и противокарстовых конструкций.

Технологические решения:

герметизация подземных коммуникаций и резервуаров;

использование химически стойких материалов;

создание локальных систем сбора аварийных проливов.

Организационные меры:

разработка планов предупреждения и ликвидации аварий;

проведение учений персонала;

создание системы раннего оповещения и химического контроля воздуха.

Экологические и санитарные меры:

постоянный контроль качества подземных и поверхностных вод;

установка очистных барьеров и сорбционных ловушек;

оперативное удаление загрязненного грунта при аварии [3, 4].

Для эффективного управления безопасностью фармацевтических предприятий целесообразно внедрение интегрированных систем мониторинга, объединяющих данные геодезических, гидрогеологических и технологических наблюдений.

Рекомендовано использование геоинформационных систем (ГИС) для пространственного анализа карстоопасных зон, моделирования распространения загрязняющих веществ и расчета потенциальных зон поражения.

Кроме того, внедрение стандартов ISO 45001 и ISO 14001 обеспечивает системность в управлении промышленной и экологической безопасностью.

Фармацевтические предприятия, функционирующие в условиях карстоопасных территорий, подвержены повышенному техногенному риску, связанному с возможностью деформации оснований и утечек химически опасных веществ.

Наиболее эффективным направлением обеспечения безопасности является сочетание инженерно-геологических исследований, применения противокарстовых конструкций и внедрения систем геомониторинга. Интеграция технологий прогнозирования и экологического контроля позволяет минимизировать вероятность аварий и обеспечить устойчивое развитие промышленных объектов.

Библиографический список

1. Нафикова Э.В., Александров Д.В., Гаянова К.Р. // Проблемы обеспечения безопасности (Безопасность-2021): материалы III Международной научно-практической конференции. В 2-х томах, Уфа, 11 марта 2021 года. Том 1. Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2021. С. 80-86

2. Анализ аварий на объектах нефтепереработки и нефтепродуктообеспечения / Д.А. Тараканов, Д.А. Тараканов, А.Н. Елизарьев, П.А. Михайлов // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2018. Т. 1. С. 637-640. EDN YXLPPN.

3. Картографирование переноса и рассеяния загрязняющих веществ автотранспорта / Д.В. Александров, Э.В. Нафикова, И.И. Ахияров // Международный научно-исследовательский журнал. 2024. № 6(144). EDN MIJCHF.

4. Анализ методических подходов к оценке пожарной опасности резервуарных парков при «больших дыханиях» / А.Н. Елизарьев, В.М. Гапонов, Т.Р. Юсупов [и др.] // Успехи современного естествознания. 2018. № 7. С. 116-120.

© Попов С.С., 2025

УДК 623.488

М.Е. РОГАТИНА

exper5x@icloud.com

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **Э.С. НАСЫРОВА**

Уфимский университет науки и технологий

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОМОНТЕРА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Аннотация: в статье анализируются профессиональные риски электромонтера на тепловых электростанциях. Приведены статистические данные, выделяющие эту профессию как наиболее травмоопасную в энергетике. Рассмотрены основные опасные факторы и организационные меры по обеспечению безопасности труда.

Ключевые слова: тепловая электростанция; электромонтер; охрана труда; электротравматизм; опасный производственный фактор

Тепловые электростанции (ТЭС) остаются одним из основных источников электроэнергии, представляя собой комплекс объектов повышенной опасности [1,2]. Электромонтер является ключевой фигурой в обеспечении бесперебойной и безопасной работы электрооборудования ТЭС. Его деятельность связана с высокими рисками, что обуславливает необходимость глубокого изучения условий труда и факторов опасности.

Деятельность электромонтера на ТЭС охватывает техническое обслуживание, ремонт, монтаж и эксплуатацию силовых трансформаторов, распределительных устройств, систем релейной защиты и автоматики. К работе допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие профессиональное обучение, медицинский осмотр и проверку знаний правил по охране труда. Обязательным является наличие группы по электробезопасности не ниже II, а для выполнения большинства работ – III или IV.

Рабочее место электромонтера должно быть организовано в соответствии с типовыми картами, обеспечивающими безопасность и эффективность труда. Рациональная площадь составляет 6-7 м² и оборудуется верстаком, средствами

защиты, технической документацией и инструментом.

Главной особенностью профессии является постоянное воздействие комплекса опасных и вредных производственных факторов (таблица 1).

Таблица 1

Опасные факторы и формы их проявления на ТЭС

Тип фактора	Примеры проявления	Вероятные последствия
Электрический	Контакт с токоведущими частями, воздействие электромагнитного поля	Электротравмы (I, II, III или IV степени), ожоги (токовый или дуговой), нарушение сердечной деятельности
Механический	Падение с высоты, травма от инструмента	Переломы, ушибы, травмы позвоночника
Химический	Контакт с маслами, растворителями	Дерматиты, отравления, аллергические реакции
Физический	Шум, вибрация, экстремальная температура	Снижение слуха, заболевания опорно-двигательного аппарата
Психофизиологический	Стрессовые ситуации, монотонность	Нервные расстройства, хроническая усталость

Например, 11 января 2017 на одной из ТЭЦ, при выполнении осмотра выключателя 110 кВ ТГ6 электромонтер по ремонту электрооборудования электростанций 6 разряда приблизился к токоведущим частям, находящимся под напряжением 110 кВ, на расстояние менее допустимого, и как следствие получил электротравму, несовместимую с жизнью. На другой электростанции 4 июня 2017 года при выполнении работ по вырубке кустарника вдоль шины заземления электромонтер по обслуживанию электрооборудования электростанций 5 разряда получил также электротравму несовместимую с жизнью.

Статистические данные Ростехнадзора демонстрируют, что, несмотря на общую положительную динамику снижения травматизма, профессия электромонтера остается одной из наиболее рискованных в электроэнергетике. Анализ распределения несчастных случаев со смертельным исходом за 2020-2024 гг. показывает устойчивую концентрацию травматизма среди определенных категорий работников (рис. 1).

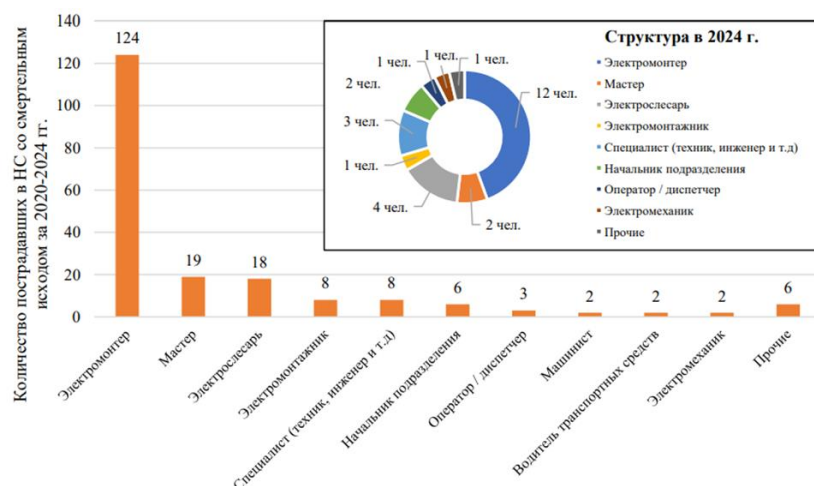


Рис. 1. Распределение погибших в несчастных случаях со смертельным исходом за 2020-2024 гг. по профессиям

Как видно из рис. 1, на долю электромонтеров в среднем за пятилетний период пришлось 63% всех несчастных случаев со смертельным исходом. Это убедительно свидетельствует о необходимости как соблюдения правил охраны труда, так и разработки целевых мер защиты именно для данной профессиональной группы.

В соответствии со специальной оценкой условий труда старшего электромонтера по обслуживанию электрооборудования электростанций в котельном, турбинном, топливно-транспортном цехах 6 разряда класс условий труда – вредные 2 степени (подкласс 3.2). Соответственно, во время выполнения должностных обязанностей электромонтера на него будут воздействовать вредные и (или) опасные производственные факторы, при этом уровень воздействий может привести к профессиональным заболеваниям.

Таким образом, работа электромонтера на ТЭС характеризуется высокой ответственностью и сопряжена с многочисленными рисками. Основными мерами по снижению травматизма являются строгое соблюдение инструкции по охране труда для электромонтеров по ремонту и обслуживанию электрооборудования ИОТ-18-2023, непрерывное обучение и повышение квалификации персонала, обеспечение средствами индивидуальной защиты и правильная организация рабочих мест.

Библиографический список

1. Gordeev V., Nasyrova E., Elizaryev A., Fazylova A., Kamaeva E. Hazard assessment of hot water boiler at thermal power plant // E3S Web of Conferences: International Scientific Siberian Transport Forum - TransSiberia 2023, Novosibirsk, Russia, 16-19 мая 2023 года. Vol. 402. Novosibirsk, Russia: EDP Sciences, 2023. – P. 07041.
2. Мухаметзянов М.М., Ерушонков А.Н., Лапонов С.В. Техническое диагностирование и расчёт остаточного ресурса оборудования // Естественные и технические науки. 2025. № 9(208). С. 149-152.

© Рогатина М.Е., 2025

А.Э. РОСТОВЩИКОВА

anarostovsikova440@gmail.com

Науч. руковод. – асс. **Д.В. АЛЕКСАНДРОВ**

Уфимский университет науки и технологий

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ФИТОТОКСИЧНОСТИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ

Аннотация: в статье рассмотрены современные методы оценки фитотоксичности нефтезагрязненных почв. Проанализированы традиционные биотесты, физиологические и биохимические показатели, а также возможности фрактального анализа как инновационного инструмента диагностики. Показана роль интеграции различных подходов для комплексной оценки состояния растений и прогнозирования устойчивости экосистем.

Ключевые слова: нефтезагрязнение; фитотоксичность; биотестирование; хлорофилл; флуоресценция; фрактальный анализ; биоиндикация

Нефтезагрязнение почв остается одной из наиболее острых проблем геоэкологии, поскольку продукты нефти изменяют физико-химические свойства грунта, нарушают структуру почвенного профиля и снижают его биологическую активность. Одним из ключевых направлений оценки состояния таких экосистем является определение фитотоксичности, то есть способности загрязненной почвы угнетать рост и развитие растений.

Классические подходы (учет всхожести, биомассы, длины побегов) обеспечивают общую характеристику токсичности, однако они не всегда позволяют выявить скрытые механизмы стрессовых реакций. В последние годы активно развиваются инструментальные и биоиндикационные методы, включая спектрофотометрические, флуориметрические и фрактальные способы анализа. Их интеграция формирует современный комплекс диагностики экологического состояния нефтезагрязненных земель.

Классические биотесты основаны на оценке жизнеспособности растений при контакте с загрязненным субстратом. В качестве тест-объектов обычно используются быстрорастущие виды – овес (*Avena sativa* L.), пшеница (*Triticum aestivum* L.), редька (*Raphanus sativus* L.), люцерна (*Medicago sativa* L.) [1].

Показателями служат:

процент всхожести семян;

длина корней и побегов;

масса надземной и корневой биомассы;

коэффициент устойчивости (отношение показателей опыт/контроль).

Несмотря на простоту, такие тесты (таблица 1) обладают высокой вариативностью и требуют многократных повторов. Кроме того, они не

отражают физиологические изменения в растениях, происходящие под воздействием углеводов.

Таблица 1

Преимущества и ограничения классических методов биотестирования

Показатель	Преимущества	Ограничения
Всхожесть	Простота, оперативность	Не отражает физиологическое состояние растений
Длина побегов, корней	Возможность сравнения динамики роста	Высокая зависимость от внешних условий
Биомасса	Интегральный показатель устойчивости	Требуется длительных экспериментов
Морфологический индекс (опыт/контроль)	Сравнительная оценка токсичности	Не учитывает клеточные механизмы повреждений

Физиологические методы направлены на определение первичных реакций растений на стресс, включая фотосинтетическую активность, дыхание, накопление пигментов и антиоксидантов.

Наиболее информативным показателем считается флуоресценция хлорофилла, отражающая эффективность работы фотосистемы II (ФСII). Снижение коэффициентов F_v/F_m и $Y(II)$ указывает на угнетение фотосинтеза при нефтяном загрязнении [2,3].

Дополнительно анализируют:

содержание хлорофиллов a и b (спектрофотометрически);

активность пероксидазы, каталазы, супероксиддисмутазы;

уровень малонового диальдегида (МДА) — показатель перекисного окисления липидов.

Такие параметры позволяют выявить сублетальные эффекты токсичности задолго до визуального угнетения растений.

Современная концепция экологической диагностики нефтезагрязненных земель предполагает многоуровневую систему оценки, включающую:

Морфометрический анализ (биомасса, длина, всхожесть).

Биохимические индексы (активность ферментов, пигментный состав).

Физико-оптические методы (флуоресценция хлорофилла, спектры отражения).

Математическое моделирование (фрактальный анализ, интегральные индексы).

Такая интеграция позволяет не только выявить степень токсического воздействия, но и установить природу стрессового фактора, различая химическую, физическую и биологическую составляющие деградации почвенно-растительных систем.

Дальнейшее развитие оценки фитотоксичности связано с:

внедрением сенсорных технологий и машинного зрения для автоматического распознавания повреждений;

использованием спектральных индексов (NDVI, PRI, CI) для дистанционного мониторинга состояния растений;

разработкой интегральных биоиндикационных моделей, объединяющих данные полевых, лабораторных и спутниковых наблюдений.

Такие подходы создают основу для формирования цифровых баз данных по экологическому состоянию почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами.

Методы оценки фитотоксичности почв прошли путь от простых биотестов к высокоточным физико-химическим и фрактальным технологиям. Современные подходы обеспечивают комплексную диагностику воздействия нефти на растения и позволяют прогнозировать восстановительные процессы в экосистемах.

Интеграция морфологических, биохимических и геометрических параметров формирует основу для создания универсальной системы экологического мониторинга нефтезагрязненных земель.

Библиографический список

1. Геоэкологическая оценка особенностей фиторемедиации при использовании *Falloria sachalinensis* в условиях антропогенного загрязнения тяжелыми металлами почв Башкирского Зауралья / Е.Н. Елизарьева, А.А. Фахертдинова, А.Н. Елизарьев [и др.] // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2022. Т. 42. С. 41-57. DOI 10.26516/2073-3402.2022.42.41.

2. Александров Д.В. Системный подход к рекультивации нефтезагрязненных территорий с учетом геоэкологической дифференциации (на примере Республики Башкортостан) // Экология промышленного производства. 2025. № 3(131). С. 20-26. DOI 10.52190/2073-2589_2025_3_20.

3. Нафикова Э.В., Александров Д.В., Тюрин М.А. Разработка технологии получения сорбента на основе биоугля и микоризы для удаления нефтяных загрязнений // Наука, образование, производство для противодействия техногенным угрозам и решения экологических проблем (Техносферная безопасность-2024): материалы XXI Международной научно-практической конференции, Уфа, 08 октября 2024 года. Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2024. С. 210-214. EDN GIXPGR.

© Ростовщикова А.Э., 2025

А.Э. РОСТОВЩИКОВА

anarostovsikova440@gmail.com

Науч. руковод. – асс. **Д.В. АЛЕКСАНДРОВ**

Уфимский университет науки и технологий

БИОЛОГИЧЕСКАЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЯ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ОГРАНИЧЕНИЯ

Аннотация: рассмотрены современные технологии биологической рекультивации нефтезагрязненных почв. Описаны основные этапы и принципы процесса, приведены данные о применении микробиологических препаратов, сорбентов и биостимуляторов. Проведено сравнение эффективности различных методов и указаны ограничения их применения. Особое внимание уделено интеграции биоремедиации и фиторекультивации в единую систему восстановления экосистем.

Ключевые слова: нефтезагрязнение; биоремедиация; рекультивация; микроорганизмы-деструкторы; сорбенты; микориза; фиторекультивация; экологическое восстановление

Загрязнение почв нефтепродуктами остается одной из наиболее распространенных форм техногенного воздействия на окружающую среду. Попадание нефти в почвенный покров приводит к изменению его физико-химических свойств, нарушению водно-воздушного режима, снижению микробиологической активности и полной деградации растительного покрова.

Одним из наиболее перспективных направлений восстановления таких земель является биологическая рекультивация, основанная на применении природных или модифицированных микроорганизмов, сорбентов и биостимуляторов. В отличие от механических или физико-химических методов, биологическая рекультивация обеспечивает глубокое разрушение углеводородов и восстановление естественных функций экосистемы [1,2].

Биологическая рекультивация представляет собой заключительный этап комплексного восстановления почв, включающий деструкцию нефтепродуктов, стабилизацию структуры и формирование устойчивого растительного покрова.

Процесс осуществляется в несколько стадий (таблица 1):

Подготовка субстрата (разрыхление, внесение сорбента, выравнивание влажности).

Внесение микробиологических препаратов (штаммы нефтедеструкторов, микоризные грибы).

Посев устойчивых трав или злаков.

Таблица 1

Этапы и задачи биологической рекультивации нефтезагрязненных почв

Этап	Основная цель	Основные средства
Подготовительный	Снижение концентрации нефти, создание благоприятной среды	Вспашка, аэрация, внесение извести, сорбентов
Биологический	Биодеградация углеводородов	Микроорганизмы-деструкторы, ферменты, удобрения
Фитомелиоративный	Формирование растительного покрова	Посев овса, мятлика, клевера, люцерны
Контрольный	Оценка степени восстановления	Биотестирование, анализ ПАУ, определение pH и БПК

Основой биологической рекультивации является деятельность нефтедеструктирующих микроорганизмов, способных использовать углеводороды в качестве источника углерода и энергии. Наиболее эффективными считаются бактерии родов *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, *Bacillus*, *Mycobacterium* и грибы *Aspergillus*, *Penicillium*, *Candida*.

Современные технологии предусматривают:

внесение готовых биопрепаратов (биоаугментация);

активацию естественной микрофлоры за счет оптимизации аэрации, влажности и питательных условий (биотимуляция);

создание микробных консорциумов, устойчивых к колебаниям температуры и pH [3].

Применение биопрепаратов позволяет ускорить деструкцию нефти в 2-3 раза и снизить ее концентрацию в почве до нормативных значений в течение 1-3 месяцев в зависимости от степени загрязнения.

Эффективность биоремедиации повышается при одновременном использовании минеральных сорбентов и биостимулирующих добавок, обеспечивающих:

снижение токсичности нефтепродуктов;

удержание влаги и питательных веществ;

оптимизацию условий для роста микробов и растений.

К числу эффективных сорбентов относятся цеолиты, диатомит, доломитовая мука, цеолитсодержащие глины, торф. Их применение позволяет стабилизировать влажность и улучшить структуру почвы [4].

Биостимуляторы – гуминовые вещества, вермикомпост, биоуголь, микоризные грибы – способствуют ускорению прорастания растений и восстановлению почвенного микробиома.

Таблица 2

Сравнительная эффективность различных типов сорбентов и биостимуляторов

Материал	Основное действие	Снижение нефти, %	Примечание
Цеолит	Сорбция углеводов, улучшение аэрации	45-60	Минеральный, многообразный
Доломитовая мука	Нейтрализация кислотности, источник Mg и Ca	50-65	Эффективна в сочетании с микоризой
Биоуголь	Адсорбция, биостимуляция микробов	55-70	Повышает водоудерживающую способность
Гуматы	Стимуляция роста растений	40-55	Применяются на завершающем этапе
Микоризные грибы	Повышение устойчивости растений	60-75	Формируют симбиоз с корнями злаков

На заключительном этапе выполняется фитомелиорация – засев участков устойчивыми растениями, способными переносить остаточные концентрации углеводов и восстанавливать почвенную биоту.

Наиболее часто применяются:

овес (*Avena sativa* L.),

коострец безостый (*Bromus inermis*),

клевер (*Trifolium pratense*),

люцерна (*Medicago sativa*).

Фитомелиорация способствует формированию гумусового горизонта и возвращению почвы к продуктивному состоянию.

Эффективность и ограничения биоремедиационных технологий

К числу преимуществ биологической рекультивации относятся:

экологическая безопасность и отсутствие вторичного загрязнения;

возможность применения *in situ* без удаления грунта;

восстановление биопродуктивности почв.

Однако метод имеет и ограничения:

зависимость эффективности от температуры и влажности;

длительность процесса при глубоком загрязнении;

необходимость регулярного контроля микробиологической активности.

Для повышения эффективности перспективным направлением является комбинирование биоремедиации с физико-химическими методами (например, предварительная сорбционная обработка, последующее биоразложение).

Биологическая рекультивация нефтезагрязненных почв представляет собой наиболее экологически оправданное и экономически целесообразное направление восстановления нарушенных территорий. Наибольшая эффективность достигается при совместном использовании микробных консорциумов, минеральных сорбентов и микоризных симбионтов. Разработка новых биопрепаратов и интеграция методов контроля (биотесты,

флуориметрия, фрактальный анализ) обеспечивают переход к интеллектуальным системам управления процессом рекультивации, ориентированным на устойчивое восстановление почвенного покрова.

Библиографический список

1. Тараканов Д.А., Тараканов Д.А., Елизарьев А.Н., Михайлов П.А. Анализ аварий на объектах нефтепереработки и нефтепродуктообеспечения // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2018. Т. 1. С. 637-640.

2. Biochar-mediated bioremediation: a sustainable strategy to increase *Avena sativa* L. tolerance to crude oil soil contamination / R. Fedeli, S. Celletti, D. Alexandrov [et al.] // Environmental Science and Pollution Research. 2024. Vol. 31, №. 40. P. 52774-52783. DOI 10.1007/s11356-024-34732-6.

3. Геоэкологическая оценка особенностей фиторемедиации при использовании *Falloria sachalinensis* в условиях антропогенного загрязнения тяжелыми металлами почв Башкирского Зауралья / Е.Н. Елизарьева, А.А. Фахертдинова, А.Н. Елизарьев [и др.] // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2022. Т. 42. С. 41-57. DOI 10.26516/2073-3402.2022.42.41.

4. Нафикова Э.В., Шаниязова А.Ф., Александров Д.В., Хужина Р.Р. Геоэкологическая оценка нефтезагрязненных ландшафтов Республики Башкортостан // Геоинформатика. 2024. № 4. С. 57-69.

© Ростовщикова А.Э., 2025

В.С. РЫБАКОВА

verrybvv@mail.ru

Науч. руковод. – канд. геогр. наук, доцент **Э.В. НАФИКОВА**

Уфимский университет науки и технологий

ПЕРСПЕКТИВЫ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ АНТИПИРЕНОВ

Аннотация: в статье рассматривается потенциал применения больших языковых моделей (LLM) в области исследований антипиренов. Проанализированы ключевые возможности LLM, включая анализ и систематизацию больших массивов научной информации, генерацию гипотез и объяснение сложных физико-химических процессов на естественном языке. Особое внимание уделено задачам оценки эффективности антипиренов, где LLM могут способствовать прогнозированию свойств и анализу данных огневых испытаний. Выявлены основные ограничения, связанные с вычислительной сложностью, рисками предвзятости и недостоверностью выходных данных.

Ключевые слова: большие языковые модели; LLM; антипирены; огнестойкость; наукометрический анализ; искусственный интеллект; этика ИИ; прогнозирование свойств

Современные исследования в области пожарной безопасности и разработки новых материалов характеризуются экспоненциальным ростом объема научных публикаций, патентов и экспериментальных данных. В этом контексте антипирены – вещества, снижающие горючесть материалов, – являются объектом интенсивного изучения [1,2]. Однако обработка и синтез разрозненной информации становятся серьезной задачей для ученых. Большие языковые модели (LLM), как передовой инструмент обработки естественного языка (Natural Language Processing, NLP), предлагают новые подходы к решению этих задач [3]. Цель данной статьи является анализ возможностей, ограничений и этических аспектов применения LLM в научных исследованиях антипиренов.

Большие языковые модели демонстрируют значительный потенциал в области исследований антипиренов, прежде всего, в анализе и систематизации информации. LLM способны обрабатывать огромные корпуса текстов, включая научные статьи, технические отчеты и базы данных, выявляя скрытые зависимости и структурируя информацию. Исследователь может формулировать запросы на естественном языке, например, про механизмы ингибирования горения характерны для галогенированных антипиренов в полимерах. Модель, проанализировав релевантные источники, способна

предоставить сводный ответ, объясняющий химические процессы, такие как радикально-цепной механизм в газовой фазе.

Способность LLM к генерации связного текста позволяет использовать их для формулирования научных гипотез и интерпретации данных. Это особенно ценно для прогнозирования структурно-свойственных отношений, когда модель, обученная на данных о химической структуре и эффективности антипиренов, может предлагать новые молекулы-кандидаты с заданными параметрами огнестойкости. Кроме того, рассуждающие LLM (Reasoning LLMs) могут моделировать цепочки умозаключений, выстраивая логику от химического состава антипирена до его влияния на такие параметры, как температура воспламенения или скорость распространения пламени.

На практике это находит применение в таких задачах, как исследование влияния антипиренов на горючесть материалов. LLM могут анализировать и обобщать данные о том, как фосфорсодержащие антипирены способствуют образованию защитного слоя (кокса) [4,5] на поверхности полимеров, создавая барьер для тепла и кислорода. В рамках сравнительной оценки эффективности LLM могут анализировать данные стандартизированных огневых испытаний (например, по ГОСТ Р 53292-2009 или ASTM E1354) для выбора наиболее перспективного состава для древесины, пластиков или текстиля.

Однако использование LLM связано с рядом ограничений. Ключевой проблемой является вычислительная сложность: обучение и тонкая настройка моделей для работы с узкоспециализированной научной терминологией требуют значительных ресурсов, что может быть барьером для научных групп. Другим серьезным вызовом являются риски предвзятости и так называемых «переобучений». Поскольку LLM генерируют ответы на основе статистических закономерностей в данных, они могут продуцировать наиболее вероятный, но неточный ответ, игнорируя редкие, но значимые случаи, или создавать правдоподобную, но фактически неверную информацию. Для минимизации этих рисков необходимы строгий отбор и валидация обучающих наборов данных, а также разработка методов, повышающих точность выводов модели.

Не менее важны этические аспекты применения LLM. Угрозы конфиденциальности возникают из-за того, что обучающие датасеты могут непреднамеренно включать неопубликованные результаты исследований, коммерческие секреты или персональные данные. LLM, запомнив такие фрагменты, могут раскрыть их в процессе генерации текста. Для снижения этих рисков необходимы четкие этические руководства, а также использование методов дифференциальной приватности. Центральное место в этической рамке занимают риски недостоверности, когда фактические ошибки в сгенерированных текстах могут привести к принятию некорректных научных решений. Критически важным является внедрение подхода «человек в цикле» (human-in-the-loop), при котором эксперт-исследователь проверяет, редактирует и валидирует все выходные данные модели перед их использованием в публикациях или при принятии решений.

Большие языковые модели обладают значительным потенциалом для

трансформации научных исследований в области антипиренов, выступая в роли мощного инструмента для анализа данных, генерации гипотез и ускорения научного поиска [6-8]. Они открывают новые возможности для оценки эффективности антипиренов и прогнозирования их свойств. Однако их внедрение должно сопровождаться осознанием фундаментальных ограничений, связанных с вычислительными затратами, предвзятостью и недостоверностью результатов. Этические риски, в первую очередь касающиеся конфиденциальности данных, требуют разработки надежных методов защиты и нормативного регулирования. Таким образом, наиболее эффективной представляется гибридная стратегия, в которой LLM выступает как интеллектуальный ассистент, расширяющий возможности исследователя, а финальное решение и ответственность остаются за человеком-экспертом.

Библиографический список

1. Давлетов Р.Р., Нафикова Э.В. Анализ функционирования объекта по производству сжиженного природного газа с точки зрения экологической и пожарной опасности // Прикладная физика и математика. 2024. № 4. С. 3-11.
2. Маликова Р.Р., Нафикова Э.В. Проектирование системы получения новых материалов для защиты металлических конструкций // Инновации. Интеллект. Культура: материалы VII Международной научно-практической конференции, посвященной 190-летию со дня рождения Д.И. Менделеева, 30-летию Тобольского индустриального института. В 2-х томах, Тобольск, 19 апреля 2024 года. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2024. – С. 271-275.
3. Сабиров Д.Ш. Цифровая химия - новое направление современной математической химии // Вестник Башкирского университета. 2021. Т. 26, № 1. С. 27-32. DOI 10.33184/bulletin-bsu-2021.1.5.
4. Хархуш А.А., Юртов Е.В., Бахарева Н.И. Стратегии антипиренов и эффект физического барьера наночастиц для улучшения тепловых характеристик полимера // Химическая технология. 2021. Т. 22. №. 3. С. 98-108.
5. Нафикова Э.В., Маликова Р.Р., Сулейманов Ф.Н. Оценка эксплуатационной стойкости интумесцентных составов металлических конструкций // Пожарная безопасность. 2026. №1.
6. Малофеев Р.Е., Ахтямов Р.Г., Тараканов Д.А. [и др.]. Анализ особенностей прогнозирования последствий эффекта Bleve при хранении и транспорте углеводородных энергоресурсов // Грузовик. 2025. № 5. С. 29-34.
7. Ишбулдин Р.И., Лапонов С.В., Ерушонков А.Н., Иванов С.П. Анализ конструкций смесителей для нефтегазовой промышленности // Естественные и технические науки. 2024. № 7(194). С. 159-161.
8. Мухаметзянов М.М., Ерушонков А.Н., Лапонов С.В. Техническое диагностирование и расчёт остаточного ресурса оборудования // Естественные и технические науки. 2025. № 9(208). С. 149-152.

© Рыбакова В.С., 2025

В.С. РЫБАКОВА

verybvv@mail.ru

Науч. руковод. – канд. геогр. наук, доцент **Э.В. НАФИКОВА**

Уфимский университет науки и технологий

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ И ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОГНЕЗАЩИТНЫХ АНТИПИРЕНОВ

Аннотация: в данной статье проводится комплексный анализ экологических и токсикологических рисков, связанных с применением современных огнезащитных составов. Рассматриваются пути миграции антипиренов в окружающей среде, механизмы их биоаккумуляции и трансформации в природных системах. Особое внимание уделено сравнительной оценке токсикологического профиля основных классов антипиренов - бромированных, хлорорганических и органофосфатных соединений.

Ключевые слова: антипирены; экотоксикология; стойкие органические загрязнители; биоаккумуляция; оценка риска; огнезащитные составы; экологическая безопасность

Обеспечение пожарной безопасности конструкций и технологических объектов имеет первостепенное значение, особенно в условиях возрастающей сложности промышленных систем, где риски пожаров и их экологических последствий требуют комплексного анализа [2]. Разработка эффективных систем защиты, в частности для металлических конструкций, является активно развиваемым направлением, где постоянно ищутся новые материалы и подходы [1, 3]. Современные исследования все чаще акцентируют внимание на их потенциальных экологических рисках и токсикологических аспектах.

Традиционные антипирены, такие как галогенсодержащие соединения (например, бромированные антипирены), фосфорсодержащие и борсодержащие добавки, могут представлять угрозу для окружающей среды на различных этапах своего жизненного цикла: от производства и применения до утилизации [4]. Их воздействие проявляется в возможности загрязнения почв, водных ресурсов, атмосферного воздуха, а также в потенциальном кумулятивном эффекте на флору и фауну. Особое беспокойство вызывают летучие органические соединения, выделяющиеся из огнезащитных покрытий, и продукты их деструкции при воздействии высоких температур, которые могут оказывать прямое или опосредованное влияние на здоровье человека, проявляясь в канцерогенных, мутагенных или тератогенных свойствах, а также в эндокринных нарушениях. Это обуславливает необходимость глубокого изучения экологического профиля каждого нового или модифицированного антипирена.

Бромированные антипирены, являясь одними из наиболее проблемных антропогенных загрязнителей, представляют серьезную угрозу для экологических систем вследствие своей исключительной устойчивости в окружающей среде и выраженной способности к биоаккумуляции в трофических цепях. Их масштабное промышленное использование в сочетании с недостаточной эффективностью очистки технологических выбросов привело к формированию глобальных экологических проблем, создающих долгосрочные риски как для природы, так и для здоровья человека. Экологическая опасность бромированных антипиренов проявляется в нескольких направлениях. В процессе эксплуатации и деградации данных соединений происходит образование высокотоксичных продуктов трансформации, при этом некоторые метаболиты, как показано на примере фотолитического разложения тетрабромбисфенола А, могут превосходить исходное соединение по токсичности на пять порядков.

Особую озабоченность вызывает установленное влияние бромированных антипиренов на живые организмы. Нарушая гормональную регуляцию у различных видов водных и наземных животных. В отношении человека основными путями экспозиции выступают ингаляционное поступление, перкутанная абсорбция и алиментарный путь через контаминированные продукты питания. Наибольшему риску подвержены дети раннего возраста, что связано с возможностью трансплацентарного переноса и накопления данных соединений в грудном молоке, создающего потенциал для воздействия в критические периоды развития.

Хлорорганические антипирены относятся к категории высокоперсистентных химических загрязнителей, представляющих значительную угрозу для экологической безопасности и качества пищевых продуктов. Их экологическая опасность обусловлена исключительной устойчивостью в различных природных средах. При попадании в почвенные экосистемы данные соединения сохраняются в течение периода от 2 до 15 лет, при этом длительность их персистенции определяется комплексом факторов, включая почвенные характеристики (влажность, тип, кислотность) и температурный режим.

В водных экосистемах хлорорганические антипирены проявляют устойчивость на протяжении нескольких недель или месяцев, в течение которых активно поглощаются гидробионтами и аккумулируются в водных растениях и организмах. Наибольшую экологическую озабоченность вызывает их выраженное токсическое действие на гидробионтов. Многочисленные исследования демонстрируют, что данные соединения оказывают дегенеративное влияние на эмбриональное развитие ихтиофауны и беспозвоночных организмов, а также вызывают стойкое ухудшение репродуктивных показателей потомства. Эти эффекты создают серьезные долгосрочные риски для сохранения целостности водных экосистем и поддержания биологического разнообразия, что определяет необходимость строгого контроля за применением и распространением данной группы

антипиренов.

Органофосфатные антипирены (ОФА), изначально предложенные в качестве безопасной альтернативы бромированным соединениям, в настоящее время признаны новой группой приоритетных загрязнителей окружающей среды [5]. Несмотря на сравнительно меньшую персистентность, их повсеместное распространение и высокая мобильность обуславливают значительные экологические риски. Исследования демонстрируют активную миграцию ОФА из потребительских товаров в окружающую среду, где они обнаруживаются в системе «помещение-город-природа»: от домашней пыли и воздуха закрытых пространств до природных водных систем и почвенных покровов. Гидрофильные свойства многих ОФА способствуют их активному переносу в водной среде, включая проникновение в грунтовые воды, а также бионакоплению в гидробионтах. Особую опасность представляет способность этих соединений к трансформации с образованием более токсичных метаболитов, таких как хлоралкильные фосфаты, обладающих повышенной стабильностью и биологической активностью. Токсикологический профиль ОФА характеризуется политропным действием на живые организмы.

Эпидемиологические исследования подтверждают корреляцию между уровнем экспозиции ОФА и нарушениями репродуктивной функции, включая снижение фертильности, аномалии развития потомства и дисфункцию щитовидной железы. Установленная способность некоторых ОФА к биоаккумуляции и хронической токсичности диктует необходимость пересмотра существующих регламентов их применения и разработки адекватных методов экологического мониторинга.

Помимо основных групп антипиренов, существуют альтернативные классы соединений с различными механизмами огнезащитного действия. Неорганические антипирены (гидроксиды алюминия и магния) отличаются низкой токсичностью, но требуют высоких нагрузок. Азотсодержащие соединения (меламин и его производные) проявляют эффективность преимущественно в комбинации с другими антипиренами. Минеральные наполнители (каолин, тальк) обеспечивают физическое барьерное действие, а наноструктурированные материалы позволяют достигать эффекта при низких концентрациях. Отдельное внимание уделяется разработке биогенных антипиренов на основе возобновляемого сырья, характеризующихся пониженной экотоксичностью. Каждый из этих классов обладает специфическими преимуществами и ограничениями, определяющими области их рационального применения.

Неорганические антипирены демонстрируют наиболее благоприятный профиль безопасности. Гидроксиды алюминия и магния характеризуются низкой биодоступностью и не проявляют токсических эффектов при нормальных условиях эксплуатации. Однако при термическом разложении возможно образование мелкодисперсных частиц оксидов, представляющих риск при ингаляционном воздействии. Экологическое воздействие минимально благодаря низкой растворимости и быстрой седиментации в водных системах.

Азотсодержащие антипирены обладают умеренной токсичностью. Меламин и его производные проявляют нефротоксическое действие при хроническом воздействии высоких концентраций. Основной риск связан с возможностью образования меламин-формальдегидных олигомеров, обладающих раздражающими свойствами и сенсibiliзирующей активностью. В окружающей среде характеризуются средней персистентностью с потенциалом биоаккумуляции в водных экосистемах.

Минеральные наполнители считаются нетоксичными при пероральном и дермальном воздействии. Потенциальные риски связаны с пылеобразованием при обработке материалов - ингаляция силикатных частиц может вызывать респираторные заболевания при длительном воздействии. Экологическое воздействие минимально, однако накопление в донных отложениях водных объектов может приводить к изменению физико-химических характеристик среды обитания гидробионтов.

Наноразмерные антипирены требуют тщательной токсикологической оценки. Углеродные нанотрубки демонстрируют фиброгенный потенциал при ингаляционном поступлении, сравнимый с асбестом. Наноглины могут индуцировать оксидативный стресс в клеточных системах. Особую озабоченность представляет способность наноматериалов к транслокации через биологические барьеры и длительной персистенции в экосистемах.

Биогенные антипирены характеризуются низкой острой токсичностью, однако данные об их хроническом воздействии ограничены. Модифицированные полисахариды могут служить субстратом для микроорганизмов, потенциально нарушая баланс природных микробных сообществ. Фосфорилированные производные способны к биodeградации с образованием нестабильных интермедиатов, требующих дополнительного изучения их экотоксикологических свойств.

Схема негативного воздействия антипиренов на организм человека представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема проявления негативного воздействия антипиренов на организм человека

Современные подходы к минимизации экологических рисков антипиренов развиваются по трем основным направлениям. Первое направление связано с созданием новых материалов – либо принципиально новых огнестойких полимеров, не требующих антипиренов, либо соединений, разработанных по принципам «зеленой химии» с управляемой биоразлагаемостью и пониженной токсичностью. Особый интерес представляют антипирены, активирующиеся только при термическом воздействии [5-8].

Второе направление предполагает совершенствование способов иммобилизации антипиренов в материале для предотвращения миграции. Это достигается за счет создания ковалентных связей с полимерной матрицей, использования микрокапсулирования и синтеза олигомерных форм с пониженной миграционной способностью.

Третье направление включает совершенствование нормативной базы и методов оценки. Внедрение комплексных схем тестирования, учитывающих полный жизненный цикл материалов, и развитие международных стандартов позволят объективно оценивать экологическую безопасность антипиренов.

Дополнительным перспективным направлением является разработка технологий рециклинга и обезвреживания материалов с антипиренами в рамках концепции циркулярной экономики. Дальнейшие исследования должны быть сосредоточены на изучении долгосрочных эффектов новых антипиренов и разработке предиктивных моделей оценки их безопасности.

Библиографический список

1. Маликова Р.Р., Нафикова Э.В. Проектирование системы получения новых материалов для защиты металлических конструкций // Инновации. Интеллект. Культура: материалы VII Международной научно-практической конференции, посвященной 190-летию со дня рождения Д.И. Менделеева, 30-летию Тобольского индустриального института. В 2-х томах, Тобольск, 19 апреля 2024 года. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2024. С. 271-275.
2. Давлетов Р.Р., Нафикова Э.В. Анализ функционирования объекта по производству сжиженного природного газа с точки зрения экологической и пожарной опасности // Прикладная физика и математика. 2024. № 4. С. 3-11. DOI 10.25791/pfim.04.2024.1300.
3. Хужина Р.Р. Оценка применимости фиторемедиационных методов восстановления территорий, загрязненных различными типами нефтепродуктов / Р.Р. Хужина, Э.В. Нафикова, Д.В. Александров // Наука, образование, производство для противодействия техногенным угрозам и решения экологических проблем (Техносферная безопасность- 2025): материалы XXII Международной научно-практической конференции, Уфа, 06 мая 2025 года. – Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2025. С. 191-196.
4. Леонова Д.И. Роль антипиренов в токсичности продуктов горения полимерных материалов // Актуальні проблеми транспортної медицини. 2010.
5. Ширяев С.Д., Лобанов А.В. Химико-токсикологическая характеристика фосфорорганических соединений // Химическая безопасность. 2023. Т. 7. №. 1. – С. 48-58.
6. Каган Ю.С., Панышина Т.Н., Сасинович Л.М. Биохимические эффекты токсического действия синтетических пиретроидов // Гигиена и санитария. 1986. №. 1. С. 9-11.
7. Нафикова Э.В. Инженерная экология / Э.В. Нафикова, Д.В. Александров, К.Е. Бондарь. Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2024. 144 с.
8. Шулаев Н.С., Лапонов С.В., Ибрагимов И.Г., Иванов С.П. Энергопотребление процессов эмульгирования в малообъемных перемешивающих аппаратах // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. 2025. № 5. С. 254-268. DOI 10.17122/ogbus-2025-5-254-268.

© Рыбакова В.С., 2025

А.И. САФОНОВА

ketsumiry@gmail.com

Науч. руковод. – ассистент **Д.В. АЛЕКСАНДРОВ**

Уфимский университет науки и технологий

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЕПРОДУКТАМИ

Аннотация: в статье рассмотрены геоэкологические механизмы восстановления почв, загрязненных нефтепродуктами. Проанализированы физико-химические, микробиологические и биогеохимические процессы, лежащие в основе самоочищения. Показаны этапы деградации и стабилизации почвенной системы, а также роль растений и микробиоты в формировании устойчивого состояния. Предложен структурно-функциональный подход к оценке посттехногенной сукцессии.

Ключевые слова: нефтезагрязнение; почва; самоочищение; биогеохимические процессы; микробиота; геоэкологический баланс; структурно-функциональный подход; устойчивость экосистем

Нефтезагрязнение почв представляет собой сложный процесс антропогенной трансформации природной среды, при котором нарушаются физические, химические и биологические функции почвенного покрова. Нефтепродукты, проникая в верхние горизонты, изменяют соотношение фаз «твердое–жидкое–газообразное», блокируют поры, нарушают дыхание корней и жизнедеятельность почвенной биоты.

Несмотря на длительный и инерционный характер деградации, почвенные системы обладают способностью к естественному восстановлению (самоочищению), основанному на действии геоэкологических механизмов: сорбции, миграции, биоразложения и биогеохимической трансформации нефтяных углеводородов [1].

Цель статьи – рассмотреть структурно-функциональные механизмы восстановления нефтезагрязненных почв и выявить закономерности перехода от деградированного состояния к устойчивому.

Процесс восстановления почв после нефтяного загрязнения имеет сукцессионный характер, то есть развивается во времени в несколько стадий (таблица 1).

Таблица 1

Основные этапы деградации и восстановления почвенного покрова

Этап	Характеристика состояния почвы	Преобладающие процессы
I. Загрязнение	Поступление нефти, блокировка пор, нарушение аэрации	Гидрофобизация, угнетение микробиоты
II. Первичная адаптация	Частичное испарение легких фракций, миграция углеводов	Сорбция, химическое окисление
III. Биохимическая активизация	Формирование популяций нефтеструктуров	Биодеградация, восстановление структуры
IV. Растительное возобновление	Появление устойчивых видов растений	Фитомелиорация, гумусообразование
V. Стабилизация	Восстановление агрегатной структуры и плодородия	Саморегуляция, биогеохимический баланс

Таким образом, процесс восстановления представляет собой взаимодействие абиотических (физико-химических) и биотических (микробиологических и растительных) факторов, формирующих новое динамическое равновесие в системе «почва–нефть–биота» [2].

Первоначальная стадия рекультивации включает физико-химические процессы, определяющие перераспределение нефти в почвенном профиле. К ним относятся:

Сорбция и капиллярная миграция нефтепродуктов по профилю;

Фотохимическое и абиотическое окисление легких углеводов;

Разложение эмульсий и диспергирование капель нефти;

Образование устойчивых органоминеральных комплексов, связывающих нефть с частицами глины и гумуса.

Эти процессы формируют предпосылки для восстановления воздухо- и водопроницаемости почвы и создают условия для активизации микробиологической деятельности.

Микроорганизмы являются основным фактором естественного самоочищения почв. После стабилизации токсического фона активизируются углеводородоокисляющие бактерии и грибы, которые используют нефтепродукты как источник углерода и энергии.

Важнейшие механизмы:

деструкция углеводов (окисление алканов, ароматических соединений);

биосорбция и биokoагуляция нефтяных фракций клеточными структурами;

биоэмульгирование и повышение доступности субстрата;

синтез поверхностно-активных веществ (ПАВ), ускоряющих разложение углеводов.

Формируется новый биогеохимический цикл углерода, включающий нефть как дополнительный субстрат. Через несколько месяцев наблюдается восстановление активности ферментов (дегидрогеназы, уреазы, каталазы), что

свидетельствует о нормализации метаболических процессов [3,4].

Финальная стадия восстановления связана с возобновлением растительного покрова. Устойчивые виды (овес, клевер, кострец, пырей) играют роль фиторекультиваторов, выполняющих функции:

- стабилизации микроклимата почвы;
- накопления органического вещества;
- стимулирования микоризных и бактериальных симбиозов;
- ускорения гумусообразования.

Растения снижают концентрацию углеводов не только за счет фиторемедиации, но и благодаря созданию благоприятной микросреды для микробных консорциумов. Через 2–3 года при оптимальных условиях формируется устойчивая растительная сукцессия и частично восстанавливается структура горизонта A_0 – A_1 .

По мере стабилизации биогеохимических потоков восстанавливаются основные экосистемные функции почвы:

- продукционная (рост растений),
- сорбционная (удержание влаги и органики),
- барьерная (задержка токсикантов),
- саморегулирующая (поддержание микробного равновесия).

Восстановление сопровождается формированием нового равновесного состояния, отличного от исходного, но устойчивого к повторным техногенным воздействиям. Этот этап соответствует геоэкологическому принципу *адаптивного равновесия*, при котором система сохраняет функциональность при частичном изменении структуры.

Понимание геоэкологических механизмов восстановления имеет ключевое значение для проектирования эффективных рекультивационных мероприятий. На основе выявленных закономерностей формируется структурно-функциональный подход, предполагающий:

- прогноз динамики самоочищения;
- выбор оптимальных биологических агентов;
- определение времени перехода системы в устойчивое состояние;
- минимизацию затрат при максимальном экологическом эффекте.

Интеграция биогеохимических наблюдений, ГИС-картирования и биоиндикационных данных позволяет разрабатывать модели посттехногенной сукцессии, что открывает путь к созданию цифровых систем управления восстановлением деградированных земель.

Восстановление нефтезагрязненных почв – это сложный, многоступенчатый геоэкологический процесс, включающий физико-химические, микробиологические и фиторекультивационные механизмы. Эти процессы обеспечивают постепенное снижение токсичности, восстановление биогеохимических циклов и возвращение почвы к устойчивому функциональному состоянию.

Применение структурно-функционального подхода позволяет рассматривать почву как самоорганизующуюся систему, способную к адаптивному

равновесию и долговременному восстановлению экологических функций.

Библиографический список

1. Анализ аварий на объектах нефтепереработки и нефтепродуктообеспечения / Д.А. Тараканов, Д.А. Тараканов, А.Н. Елизарьев, П.А. Михайлов // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2018. Т. 1. С. 637-640. EDN YXLPPN.
2. Разработка технологии получения сорбента на основе биоугля и микоризы для удаления нефтяных загрязнений / Э.В. Нафикова, Д.В. Александров, М.А. Тюрин // Наука, образование, производство для противодействия техногенным угрозам и решения экологических проблем (Техносферная безопасность-2024): материалы XXI Международной научно-практической конференции, Уфа, 08 октября 2024 года. Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2024. С. 210-214. EDN GIXPGR.
3. Гафурова А.Р. Оценка и прогнозирование миграции нефти и нефтепродуктов в окружающей среде / А.Р. Гафурова, Д.В. Александров, Э.В. Нафикова // Современные проблемы охраны труда и окружающей среды: сборник трудов XXXV Международной научно-практической конференции, Химки, 26 февраля 2025 года. Химки: Академия гражданской защиты МЧС России им. генерал-лейтенанта Д.И. Михайлика, 2025. С. 78-86. EDN NMDWFX.
4. Пространственный анализ разливов нефти и нефтепродуктов на территории Республики Башкортостан с использованием геоинформационных систем / Д.В. Александров, Э.В. Нафикова, А.А. Асылбекова [и др.] // Экология и промышленность России. 2025. Т. 29, № 10. С. 60-66. DOI 10.18412/1816-0395-2025-10-60-66. EDN OUNWFM.

© Сафонова А.И., 2025

А.И. САФОНОВА, А.Н. СИДОРОВА

ketsumiry@gmail.com

Науч. руковод. – асс. **Я.Р. ШАЙХУЛИСЛАМОВ**

Уфимский университет науки и технологий

ОБЗОР ВЛИЯНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ И МИКРОПЛАСТИКА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ЧЕЛОВЕКА

Аннотация: авторами рассмотрена проблема, присутствия микропластика в окружающей среде, которая вызвана постоянно растущим производством полимерных материалов и расширяющимся использованием пластиковых изделий, что увеличивает количество микропластика накапливаемое в экосистеме. Рассмотрено влияние микропластика на почву, водные объекты и атмосферу. Проанализированы процессы, связанные с распространением микропластика, изучено его воздействие на физиологические функции организмов.

Ключевые слова: микропластик; экосистема; утилизация полимерных материалов; полимеры; фотополимеры; пластмасса

Микропластик представляет собой частицы полимерных материалов с размером менее 5 мм в любом измерении. Частицы микропластика могут образовываться в результате деградации пластиковых изделий или напрямую как отходы пластиковой промышленности. В период с 2019 по 2025 год количество исследований на тему вреда микропластика увеличилось в связи с ростом распространения полимерных изделий и негативного воздействия на геосферу и жизнь человека. Частицы микропластика могут образовываться в результате механического истирания и деградации полимерных материалов в окружающей среде или при конденсации молекул при нагревании или сжигании пластика. Вещества, входящие в состав полимерных изделий способны вызывать иммуносупрессию, канцерогенез и активировать воспалительные реакции и нарушение физиологических функций человека и других организмов. Активное развитие аддитивных технологий приводит к генерации микро- и наноразмерных пластиковых частиц, одним из источников которых является исходное сырьё, используемое в порошковых или струйных 3D-принтерах [1].

Утилизация полимерных материалов представляет собой сложную задачу, сопряженную с многочисленными рисками для окружающей среды. Недостаточно эффективные методы утилизации, как захоронение на полигонах, приводят к загрязнению почв и водных объектов, а также к образованию микропластика, оказывающего негативное воздействие на живые организмы [2]. Для снижения рисков необходимо внедрять инновационные

подходы к переработке пластика, включая вовлечение молодежи в экологические проекты и создание студенческих мастерских, направленных на переработку пластика и формирование экологической культуры [3,4]. Переход к безотходному производству и использование переработанных полимеров в качестве вторичного сырья является важным шагом на пути к снижению негативного воздействия пластиковых отходов на окружающую среду [4].

Распространение в разнообразных экосистемах

В следствие широкого использования полимерных материалов возникает проблема массового загрязнения окружающей среды, что обуславливает необходимость в более глубоком изучении процессов загрязнения водной и почвенной среды. Многие объекты, напечатанные на 3D-принтере, сложно переработать из-за состава используемых материалов и послойного построения. Понимание полного жизненного цикла материалов, напечатанных на 3D-принтере, от производства до утилизации, имеет решающее значение для снижения воздействия на окружающую среду и максимального использования ресурсов [5].

Почва. Основным источником полимеров в почвах является сельское хозяйство, применение пластиковой мульчи и покрытых полимерами удобрений приводит к массовому попаданию пластиковых частиц в почвы. Существенный вклад в загрязнение окружающей среды вносят фильтрат с полигонов твёрдых бытовых отходов, рассеянный мусор, а также применение мелиорантов, таких как осадок сточных вод и компоста. Наибольшая концентрация микропластика до сотен и тысяч частиц на килограмм сухой почвы наблюдается в сельскохозяйственных угодьях. Наиболее часто в почвах идентифицируют полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид, полистирол и полиэтилентерефталат. Накопление микропластика может существенно изменять свойства почвы, влияя на её пористость и способность удерживать воду. Присутствие микропластика может нарушать микробную активность, которая необходима для круговорота питательных веществ и поддержания плодородия почвы [6].

Водная среда. Загрязнение пресных водоемов формируется за счет городских, промышленных и сельскохозяйственных стоков, а также сточных вод с очистных сооружений. Рекреационная деятельность и мусор также вносят свой вклад [5]. Скопления пластика и микропластика продолжают обнаруживаться в окружающей среде Антарктики. Основной вклад в загрязнение мировых океанов вносят пластиковые отходы, которые транспортируются из городских центров и вглубь суши полноводными реками и регулярно сбрасываются в морскую среду в объёмах, исчисляемых в миллионах тон в год [7]. Ежегодно публикуются работы в виде полнотекстовых статей и кратких отчетов о загрязнение микропластиком на территории акваторий Российской федерации. Воздействие микропластика может провоцировать чувство ложного насыщения, следствием которого является снижение объема потребления питательных веществ, также в процессе поглощения микропластик может негативно влиять на органы желудочно-

кишечного тракта, что влияет на рост и выживаемость живых организмов, присутствующих в водных экосистемах. Распространение пластиков порождает серьезные проблемы для судоходства, траления и рыбоводства. Благодаря своим флотационным и сорбционным свойствам, микропластик выступают в роли дополнительного переносчика загрязнителей, транспортируя и распространяя вредные и токсичные соединения. Первичные микропластики - это синтетические полимерные частицы, изначально производимые в микронном размере, используемые в составе косметической продукции, а вторичные микропластики образуются при деградации более крупных пластиковых продуктов. Поскольку частицы микропластика имеют малый размер, в связи с чем биодоступны для большинства живых организмов. Микропластик поглощается различными водными организмами, нарушают их физиологические процессы и впоследствии перемещаются вверх по пищевой цепи оказывая воздействие на каждый проходимый пищевой уровень, также и на здоровье человека [1].

Атмосфера. Широкое распространение микропластика затрагивает не только морскую и прибрежную среду, но и атмосферу. В последние годы важность переноса микропластика по воздуху возросла; в результате они могут оседать в воде или на суше. Эта мобильность существенно влияет на динамику пластикового загрязнения в различных экосистемах. В городских районах микропластик концентрируется в почве и дорожной пыли. Ветер и движение транспорта легко поднимают и повторно взмывают легкие полимерные материалы в воздушные потоки. Вдыхание частиц микропластика может быть вредно для здоровья человека. Эти частицы могут глубоко задерживаться в легких и вызывать длительное воспаление, образование рубцовой ткани и уплотнения [1]. Также при использовании стереолитографии все фотополимерные смолы выделяют в воздух вещества, оказывающие сенсibiliзирующее действие на человека, что может привести к серьезным длительным последствиям.

В результате исследования научных работ, связанных с присутствием и накоплением микропластика в окружающей среде, было определено, что микропластик и производственные процессы, связанные с пластиковым производством и 3D-печатью оказывают негативное воздействие на геосферу. В настоящий момент накопление микропластика обнаруживают внутри человеческого тела, и количество исследований, сообщающих об этих фактах, увеличивается. Следуя из этого актуальность темы подтверждена и требует дальнейшего более глубокого изучения. Изменяя методы производства и утилизации пластика, мы можем существенно сократить вред для окружающей среды, здоровья человека и других живых организмов.

Библиографический список

1. Ioni Y. V. et al. Microplastic generation, distribution, and removal from the environment: a review // Russ. Chem. Rev. 2025. Т. 94. С. 3.
2. Сидорова А.Н. Влияние микропластика на окружающую среду // Мавлютовские чтения: материалы XVI Всероссийской молодежной научной конференции. В 6-ти томах, Уфа, 25–27 октября 2022 года. Том 4. Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2022. С. 223-225.
3. Сидорова А.Н., Шайхулисламов Я.Р. Реализация проекта деятельности студенческой мастерской по переработке пластика для экологического образования детей и молодежи // Мавлютовские чтения: материалы XVIII Всероссийской молодёжной научной конференции. В 9-ти томах, Уфа, 25–29 ноября 2024 года. Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2024. С. 95-99.
4. Нафикова Э.В., Сидорова А.Н., Чувашаева К.Р., Ахияров И.И. Экологические аспекты организации студенческой мастерской по переработке пластика: от просвещения к безотходному производству // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2025. Т. 33, № 1. DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-4.
5. Szechyńska-Hebda M. Let's Print an Ecology in 3D (and 4D) // Materials. 2024. Т. 17. №. 10. С. 2194.
6. Zhang X. Degradation of polymer materials in the environment and its impact on the health of experimental animals: a review // Polymers. 2024. Т. 16. №. 19. С. 2807.
7. Jaikumar I.M. A comprehensive review of microplastic pollution in freshwater and marine environments // Green Analytical Chemistry. 2025. Т. 12. С. 100202.

© Сафонова А.И., 2025

А.А. СУБЫЧЕВА, Е.С. ГУРЬЯНОВ, Э.А. ГАЙНЕТДИНОВА

subychevaalexandra@yandex.ru

Науч. руковод. – ст. препод. **Дм.А. ТАРАКАНОВ**

Уфимский университет науки и технологий

ОБЗОР МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ С ОБРАЩЕНИЕМ АЦЕТОНА

Аннотация: в данной статье рассматриваются методы оценки профессиональных рисков для обеспечения безопасности при работе с ацетоном на производственных объектах, включая систему Элмери, матричный метод и метод Файн-Кинни, применяемые для анализа опасностей, связанных с обращением данного химического вещества.

Ключевые слова: ацетон; профессиональный риск; оценка риска; система Элмери; матричный метод; метод Файн-Кинни; безопасность труда

На сегодняшний день работа с ацетоном (пропанолом) является неотъемлемой частью технологических процессов на множестве промышленных предприятий: от химической и фармацевтической промышленности до производства лакокрасочных материалов, пластмасс и электроники. Несмотря на его широкое применение, ацетон представляет собой высоколетучую жидкость с низкой температурой вспышки, что делает его потенциально опасным веществом, способным вызывать пожары, взрывы и оказывать токсическое воздействие на персонал [1-3].

В результате технологических операций, таких как дозирование, перемешивание, транспортировка или очистка оборудования, происходит выделение паров ацетона в воздух рабочей зоны. Это создает условия для возникновения физических и химических опасностей, включая воспламенение, отравление, раздражение слизистых оболочек и поражение центральной нервной системы. Следовательно, обеспечение безопасности при обращении с ацетоном требует системного подхода, основанного на идентификации, анализе и управлении профессиональными рисками [4].

Оценка профессиональных рисков при работе с ацетоном проводится в три этапа:

Идентификация опасностей. На этом этапе определяются все возможные источники опасности, связанные с ацетоном: его физико-химические свойства (легковоспламеняемость, летучесть), токсичность, возможность образования взрывоопасных смесей с воздухом, а также опасности, связанные с организационными недостатками (например, отсутствие средств индивидуальной защиты или неэффективная вентиляция).

Анализ рисков. Здесь оцениваются уровень и допустимость риска,

вероятность возникновения опасного события и тяжесть его последствий. Этот этап позволяет определить, какие меры безопасности необходимы для снижения риска до приемлемого уровня.

Разработка мероприятий по снижению риска. На основе полученных данных разрабатываются и внедряются корректирующие меры — от технических (установка местной вытяжной вентиляции, использование взрывозащищенного оборудования) до организационных (обучение персонала, введение режимов работы, регулярный контроль концентрации паров в воздухе).

Для проведения комплексной оценки рисков применяются различные методы. Одним из них является система Элмери, которая позволяет определить уровень безопасности рабочего места путем анализа семи групп факторов: производственный процесс, порядок и чистота, безопасность машин и оборудования, факторы окружающей среды, эргономика, проходы и проезды, возможности для спасения и оказания первой помощи [5]. При оценке каждого фактора используется анкета, где он оценивается как «хорошо», «плохо» или «отсутствует». Например, при работе с ацетоном критически важным является наличие эффективной вентиляции (фактор «окружающая среда») и наличие средств пожаротушения (фактор «возможности для спасения») [6].

Другим широко используемым инструментом является матричный метод. Он ранжирует риски на основе двух параметров: вероятности возникновения опасного события и тяжести его последствий. Результаты оценки наглядно представляются в виде таблицы – матрицы, где каждая ячейка соответствует определенному уровню риска.

Третий метод — метод Файн-Кинни — также основан на умножении трех показателей: вероятности (L), тяжести последствий (E) и частоты воздействия (C). Общий индекс риска (R):

$$R = L \cdot E \cdot C.$$

Этот метод позволяет получить количественную оценку риска, что удобно для сравнения различных опасностей. Однако, как и матричный метод, он может быть субъективным, поскольку оценка показателей часто зависит от мнения экспертов [7].

Наиболее эффективными методами оценки рисков являются матричный метод и метод Файн-Кинни, благодаря их наглядности и простоте расчетов. Однако для достижения максимальной объективности рекомендуется использовать несколько методов одновременно, чтобы компенсировать недостатки каждого из них [8].

Для приведения рисков до приемлемых значений необходимо разрабатывать и внедрять конкретные корректирующие мероприятия, такие как:

Установка и обслуживание эффективной приточно-вытяжной вентиляции.

Использование взрывозащищенного электрооборудования.

Обеспечение персонала средствами индивидуальной защиты (респираторы, защитные очки, перчатки).

Регулярное обучение работников правилам безопасности при работе с легковоспламеняющимися жидкостями.

Введение системы постоянного контроля за концентрацией паров ацетона в воздухе рабочей зоны.

Только комплексный и системный подход позволит минимизировать риски и обеспечить безопасные условия труда для персонала, работающего с ацетоном.

Библиографический список

1. Кузьмина Л.Н., Шепелев В.В. Оценка профессиональных рисков на предприятиях химической промышленности. М.: Химия, 2018. 256 с.

2. Малофеев Р.Е. Инструментарий оценки уровня опасностей в техносфере / Р.Е. Малофеев, М.В. Кудакеев, Д.А. Тараканов // Наука, образование, производство для противодействия техногенным угрозам и решения экологических проблем (Техносферная безопасность- 2025): материалы XXII Международной научно-практической конференции, Уфа, 06 мая 2025 года. Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2025. С. 127-131. EDN APVYWP.

3. Влияние выбросов химических веществ на окружающую среду при пожарах на нефтеперерабатывающих заводах в Республике Башкортостан / И.И. Гиззатуллина, Д.А. Тараканов, А.М. Максютков, В.К. Кузнецова // Перспективы экологического развития России и стран СНГ: материалы 6-й Международной научно-практической конференции, проводимой в рамках XXIII Уральской горно-промышленной декады, Екатеринбург, 03–04 апреля 2025 года. Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2025. С. 21-23. EDN LINTAJ.

4. Иванова Е.С., Смирнов Д.А. Современные методы оценки профессиональных рисков. // Журнал «Охрана труда». 2023. № 5. С. 34-37.

5. Расчет индивидуального профессионального риска на участке обращения с ацетоном. Отчет о проведении оценки риска. ООО «Химзащита», 2024.

6. Анализ безопасности рабочих мест с использованием системы Элмери. Методические указания. М.: Центр охраны труда, 2021.

7. Сравнительный анализ методов оценки профессиональных рисков. Вестник безопасности труда. 2022. № 8. С. 45-48.

8. Комплексная оценка рисков на химическом производстве. Сборник научных трудов. Нижний Новгород: ННГУ, 2023. С. 112-118.

© Субычева А.А., 2025

И.С. СУНЯЙКИН, А.М. МАКСЮТОВ, В.А. ФЕДОСОВ

maxiutovalik@yandex.ru

Науч. руковод. – ст. препод. **Дм.А. ТАРАКАНОВ**

Уфимский университет науки и технологий

АНАЛИЗ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ

Аннотация: статья исследует роль автотранспорта как главного источника загрязнения воздуха в городах. В выхлопных газах более 200 компонентов, включая оксид углерода, оксиды азота, углеводороды. Вклад автотранспорта в выбросы может достигать 60-80%. Анализируется влияние скорости и режима движения на выбросы, а также ветрового режима на рассеивание загрязняющих веществ. Выявлены зоны с максимальной концентрацией вредных выбросов – перекрестки и участки с интенсивным движением.

Ключевые слова: автомобиль; загрязнение атмосферного воздуха; транспортные средства; выхлопные газы

Автомобили — один из главных источников загрязнения воздуха в городе. Они ответственны за 60-70% выбросов вредных газов. Особенность автомобильного транспорта как загрязнителя заключается в его низком расположении, что увеличивает риск для здоровья людей при вдыхании загрязненного воздуха [1].

С каждым годом количество автомобилей увеличивается, что ведёт к повышению уровня загрязняющих веществ в воздухе, почве и воде. Наибольшее загрязнение наблюдается на перекрёстках из-за частых торможений и разгонов, которые вызывают максимальный выброс твёрдых частиц и выхлопных газов [1].

Приоритетными загрязнителями, которые поступают от автотранспорта, являются отработавшие газы, свинец, оксид углерода, оксиды азота, бенз(а)пирен, летучие углеводороды и другие. В настоящее время зафиксировано более 200 компонентов, которые входят в состав отработанных газов автотранспорта [2-3].

В среднем ежегодно автомобиль расходует около двух тонн бензина, выделяя в атмосферу 20-25 тысяч м³ продуктов сгорания. Состав этих выбросов входят примерно 700 килограммов углекислого газа, 40 килограммов оксидов азота, 230 килограммов углеводородов и 5 килограммов твёрдых частиц [2-3].

Транспортные средства оказывают значительное влияние на загрязнение воздуха в крупных российских городах. В Санкт-Петербурге их вклад превышает 60%, в Москве он составляет более 30% всех выбросов твёрдых

частиц и до 55% выбросов оксидов азота. В отдельные годы Казани этот показатель достигал 70%, а в Уфе превышает 20%. В Красноярске автотранспортные средства вносят 33% в общее загрязнение воздуха, а в Сочи их выбросы составляет более 80% от всех загрязняющих веществ.

На рис. 1 представлена диаграмма доли выбросов автотранспорта в выбросах загрязняющих веществ в крупных городах мира.

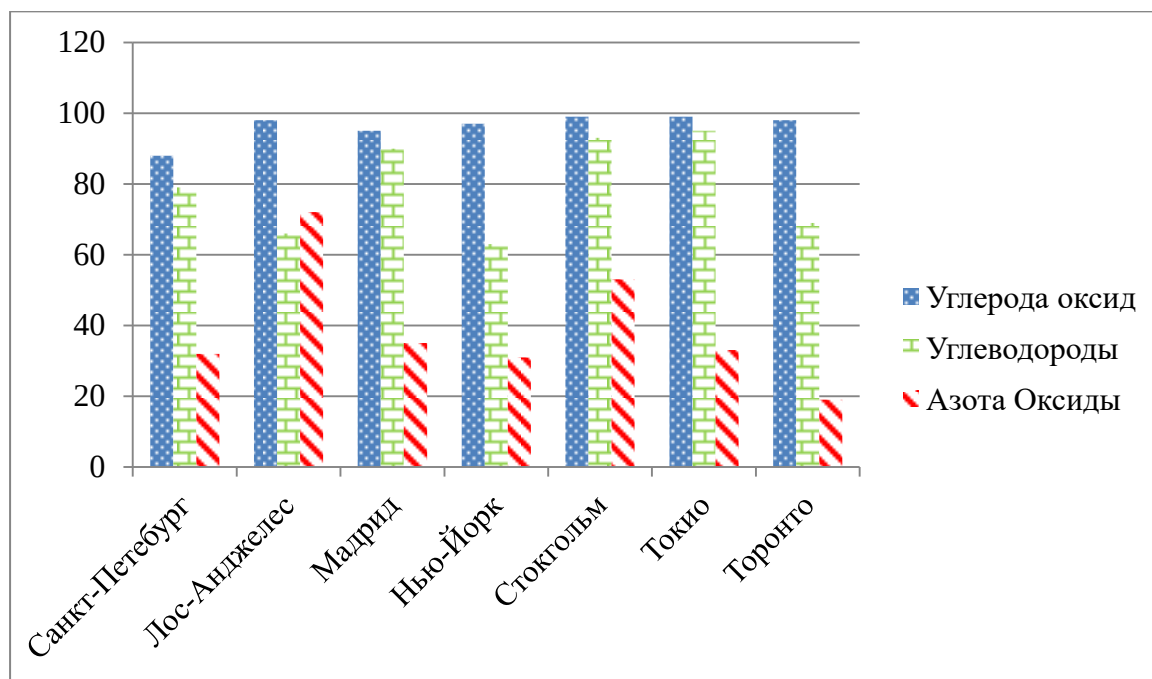


Рис. 1. Доля выбросов автотранспорта в выбросах загрязняющих веществ в крупных городах мира [3]

На рис. 1 показано распределение долей выбросов автотранспорта в атмосферном загрязнении крупных городов мира по трём основным загрязняющим веществам: оксид углерода, углеводороды и оксид азота. Анализ диаграммы показывает, что наибольший вклад в загрязнение воздуха вносит оксид углерода, доля которого в большинстве городов составляет от 95 до 100%. Выбросы оксидов азота являются наименьшими и варьируются в диапазоне от 20 до 60%.

В среднем ежегодно автомобиль расходует около 2 тонн бензина выделяя в атмосферу 20-25.000 м³ продуктов сгорания состав этих выбросов входят примерно 700 кг углекислого газа 40 кг оксидов азота 230 кг углеводородов и 5 кг твёрдых частиц транспортные средства оказывают значительное влияние на загрязнение воздуха в крупных российских городах в Санкт-Петербурге и 60%, в Москве Он составляет более 30% всех выбросов твёрдых частиц и до 50% выбросов оксида в год 70%, а в Уфе превышает 20%, в Красноярске автотранспортные средства вносят 33% в общее загрязнение воздуха а в их выбросы составляет более 80% от всех загрязняющих веществ

Концентрация углеводородов в воздухе демонстрирует значительный

колебания: в Токио она сопоставимо с уровнем оксида углерода, тогда как в Стокгольме существенно ниже. Эти данные указывают на значительные различия в экологической обстановке и структуре автомобильного парка исследуемых мегаполисов.

Автомобили используют топливо, содержащее большое количество нефтепродуктов. В процессе их сгорания в атмосферу выделяются выхлопные газы, представляющие собой смесь различных газообразных веществ с разными химическими и физическими характеристиками [4].

Состав выхлопных газов включает продукты неполного и полного сгорания топлива, избыточный кислород, микропримеси и аэрозоли. Среди нормируемых компонентов выхлопных газов выделяется азот, кислород, водяной пар, не канцерогенные углеводороды, углекислый газ, оксид серы, альдегиды, бенз(а)пирен, сажа [5].

Самое большое количество загрязняющих веществ образуется в результате разгона автомобиля, так как двигателю необходимо большее количество топлива (рис. 2), при торможении и на холостом ходу выбрасывается наибольшее число углеводородов и оксидов углерода [6].

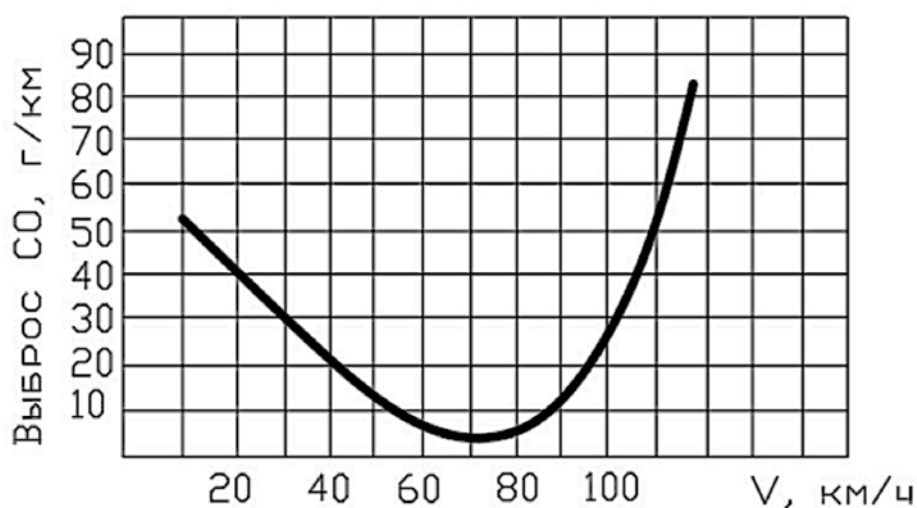


Рис. 2. Зависимость выбросов окиси углерода в атмосферу от скорости движения легкового автомобиля [6-8]

На рис. 2 представлен график зависимости выбросов окиси углерода в атмосферу от скорости движения легкового автомобиля. на котором видно, что наименьший выброс окиси углерода происходит при скорости 70 км/ч. Данная скорость является безопасной не только для движения транспортных потоков, но и для окружающей среды [9].

На распределение пылевых и газовых выбросов в атмосфере влияет ветровой режим. При отсутствии ветра происходит накопление загрязняющих веществ и повышается их концентрация в атмосфере [10].

Проведённый анализ с изучением статистических данных и графиков

позволяют сделать следующие выводы: автотранспорт является доминирующим источником специфических загрязняющих веществ в атмосфере мегаполисов, особенно оксидов углерода, доля которого в выбросах достигает 95-100%. Это подтверждает исключительную роль транспорта в формировании неблагоприятной экологической обстановки.

Анализ рис. 2 показывает, что объём выбросов, особенно оксида углерода, тесно связан с манерой передвижения автомобиля. Наименьшее количество вредных выбросов фиксируется при движении с постоянной скоростью около 70 км/ч. В то время как режимы с частыми разгонами и торможениями, например, на перекрёстках, приводят к их резкому увеличению. Это объясняет, почему максимальные концентрации загрязняющих веществ фиксируются в зонах с интенсивным и неоднородным транспортным потоком.

Таким образом, транспортные средства вносят значительный и структурно обоснованный вклад в загрязнение атмосферного воздуха. Низкое расположение источника выбросов усугубляет риски для здоровья людей, непосредственно вдыхающих загрязнённый воздух. Для снижения негативного воздействия необходимы меры, направленные на оптимизацию транспортных потоков и популяризацию режимов движения, минимизирующих выбросы.

Библиографический список

1. Ложкина О.В. Воздействие автомобильного транспорта на качество воздушной среды Санкт-Петербурга: проблемы и решения // Окружающая среда Санкт-Петербурга. 2020. № 5. С. 7-9.

2. Оценка преимуществ применения БПЛА в экологических целях / В.А. Ахметова, Д.А. Тараканов, И.И. Гиззатуллина, В.К. Кузнецова // Проблемы техносферной и экологической безопасности в промышленности, строительстве и городском хозяйстве: материалы III Международной научной конференции, Макеевка, 13 февраля 2025 года. Макеевка: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», 2025. С. 507-511. EDN REFTNH.

3. Пепина Л.А., Созонтова А. Н., Загрязнение атмосферного воздуха автомобильно-дорожным комплексом // Alfabuild. 2017. №1. С. 99-110.

4. Ситдикова А.А., Святова Н.В., Царева И.В. Анализ влияния выбросов автотранспорта в крупном промышленном городе на состояние загрязнения атмосферного воздуха // Современные проблемы науки и образования. 2015. №3.

5. Валеев Т.К., Сулейманов Р.А., Бакиров А.Б., Рахматуллин Н.Р., Рахматуллина Л.Р., Бактыбаева З.Б., Даукаев Р.А., Степанов Е.Г. ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека» в реализации федеральных проектов «Чистая вода» и «Чистый воздух» в Республике Башкортостан // Медицина труда и экология человека. 2021. №4. С. 231–248.

6. Колбасина Н.И., Котов М.М. Химический состав выхлопных газов

автотранспорта, его влияние на здоровье человека // Материалы X Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» Режим доступа Электронный доступ: <https://scienceforum.ru/2018/article/2018004431?disableGlobalInfoCollect=false> Дата обращения: 23.10.2025

7. Оценка загрязнения атмосферного воздуха на приаэродромной территории / В.А. Ахметова, Д.А. Тараканов, А.М. Максютлов, И.И. Гиззатуллина // Перспективы экологического развития России и стран СНГ: материалы 6-й Международной научно-практической конференции, проводимой в рамках XXIII Уральской горно-промышленной декады, Екатеринбург, 03–04 апреля 2025 года. Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2025. С. 19-20. EDN BIYTAO.

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 Хаида Мухсиновича Якубова и Зухуриддина Нуриддиновича Юсуфова, Душанбе, 03-04 мая 2019 года. Душанбе: Таджикский национальный университет, 2019. С. 202-208.

9. Красногорская Н.Н. Анализ эффективности реагентных методов удаления ионов тяжелых металлов из сточных вод // Безопасность жизнедеятельности. 2004. №. 3. С. 21-23.

10. Анализ основных источников загрязнения воздуха в промышленности на территории Республики Башкортостан / В.К. Кузнецова, Д.А. Тараканов, В. А. Ахметова, И.И. Гиззатуллина // Проблемы техносферной и экологической безопасности в промышленности, строительстве и городском хозяйстве: Материалы III Международной научной конференции, Макеевка, 13 февраля 2025 года. Макеевка: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», 2025. С. 519-522. EDN KRYIGS.

© Максютлов А.М., Суняйкин И.С., Федосов В.А., 2025

Д.Р. ФАТКУЛЛИН

fatkullindanis17@gmail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **А.А. НУРУТДИНОВ**

Уфимский университет науки и технологий

РАЗРАБОТКА ПАССИВНОГО ЭКЗОСКЕЛЕТА

Аннотация: в статье рассматривается перспективная разработка пассивного экзоскелета для применения в быту и промышленности. Анализируется необходимость снижения физической нагрузки на пользователя, принципы его работы и ключевые проблемы существующих аналогов, такие как высокая стоимость, сложность и ограниченная автономность. Предложено инновационное решение – создание конструкции на основе пассивных элементов, не требующих источника питания, с интеграцией системы адаптивной настройки под конкретные задачи пользователя.

Ключевые слова: пассивный экзоскелет; биомеханика; экзоскелет без привода; разгрузка опорно-двигательного аппарата; эргономика; вспомогательные технологии; физическая нагрузка; промышленный экзоскелет

Ежегодно значительное количество работников в логистических комплексах, строительной отрасли и на промышленных предприятиях подвергаются хроническим перегрузкам опорно-двигательного аппарата вследствие систематического подъёма и перемещения тяжестей. Указанные нагрузки, как показывает производственная практика, выступают основным фактором профессиональных заболеваний позвоночника и крупных суставов, формируя стойкие болевые синдромы, снижение трудоспособности и рост травматизма. По доступным сводным оценкам для Российской Федерации порядка 30 % всех зарегистрированных профессиональных заболеваний (около 1,6 тыс. случаев в год) приходится на патологии костно-мышечной системы, причём наибольшую уязвимость демонстрируют грузчики и комплектовщики, чья сменная суммарная масса подъёма нередко достигает 3 т и более [1]. В этих условиях объективно возрастает потребность в инженерно-технических средствах разгрузки биомеханических звеньев человека-оператора, позволяющих снизить пиковые моменты и циклическую усталость мышечно-связочного аппарата при сохранении производственной эффективности.

К числу наиболее перспективных пассивных экзоскелетных комплексов относится «Соматик 4», сконструированный преимущественно для поддержки верхних конечностей при выполнении операций над уровнем плечевого пояса (монтаж над головой, длительная фиксация инструмента и пр.) [2]. Конструктивно изделие опирается на силовую раму, перераспределяющую внешнюю нагрузку и частично замещающую изометрическое усилие

дельтовидной и трапецевидной мускулатуры, что позволяет существенно ограничить мышечное утомление при продолжительной статодинамической работе. Вместе с тем данная система обладает заметной собственной массой и инерционностью, что увеличивает энергоцену перемещений, усложняет тонкую моторную координацию и предъявляет повышенные требования к антропометрическому подбору. Стоимостные характеристики остаются высокими для частного пользователя, а сложность кинематической схемы и множества регулируемых степеней свободы обуславливает необходимость специальной подготовки персонала для корректной эксплуатации и обслуживания. Перечисленные обстоятельства объективно ограничивают внедрение устройства в сегменте малого бизнеса и в бытовых условиях, где критичны простота, быстрота переналадки и низкая совокупная стоимость владения.

Альтернативный подход репрезентирует система EkzoRaise CarboniX, использующая углепластиковые (карбоновые) упругие элементы для аккумуляирования и возврата механической энергии в фазах подъёма и удержания рук [3]. Применение композиционных материалов обеспечивает малую массу при высокой жёсткости и усталостной выносливости силовых элементов, что благоприятно сказывается на эргономике и длительности непрерывной работы. Экзоскелет не требует внешних источников питания и активируется автоматически при превышении порогового угла подъёма верхних конечностей; простота архитектуры положительно коррелирует с надёжностью и долговечностью. Однако функциональная область устройства фактически ограничена поддержкой плечевого пояса; отсутствие модуля разгрузки пояснично-крестцового отдела и механизма компенсации сгибательных моментов при наклонах не позволяет безопасно применять его при задачах, сопряжённых с подъёмом грузов с уровня пола и частой работой в наклонной позе. Тем самым диапазон производственных сценариев существенно сужен.

Предлагаемое нами инженерное решение представляет собой модульный пассивный экзоскелет, адресованный потребностям работников физического труда и нацеленный на снижение биомеханической нагрузки на позвоночный столб и периферические суставы, профилактику острых и хронических травм, а также на стабилизацию производительности при многократных циклах подъёма и удержания [4]. Концепция исходит из принципов блочно-модульной архитектуры и унификации: система состоит из взаимозаменяемых функциональных сегментов – поясничного модуля разгрузки (для перераспределения сгибательных моментов в пояснично-крестцовом отделе), плечевых поддержек (для ассистирования отведению и флексии плеча) и элементов разгрузки нижних конечностей (энергоёмкие упругие узлы для помощи при вставании/приседании). Каждый модуль работоспособен автономно, но может быть интегрирован в единую силовую раму посредством стандартизированных интерфейсов крепления.

Для целей серийного производства разработана унифицированная

система сочленений и крепежа, допускающая сборку различных конфигураций из ограниченного набора типоразмеров, что уменьшает номенклатуру деталей, упрощает логистику и снижает издержки жизненного цикла изделия. Модульность облегчает эксплуатационную переналадку под конкретные технологические операции (монтаж над головой, комплектация с пола, погрузочно-разгрузочные работы), а также упрощает ремонт и сервис – заменяемость узлов позволяет локализовать износ без вывода всей системы из эксплуатации. При проектировании уделено внимание биосовместимости материалов, кинематической согласованности со стандартными траекториями движения (сокращение паразитных моментов и трения в шарнирных парах), а также минимизации паразитной массы, приходящейся на дистальные сегменты конечностей. Предполагается, что такое конструктивно-технологическое решение обеспечит требуемый компромисс между эргономикой, экономичностью и профилактической эффективностью, расширив сферу применения экзоскелетов в массовых отраслях, где до настоящего времени барьеры стоимости и сложности эксплуатации сдерживали их широкое внедрение. Наши особенности:

Опорная часть экзоскелета оснащена регулируемыми алюминиевыми рамными элементами, которые переносят усилие с поясничного отдела пользователя на бедренные области. Такая конструкция позволяет эффективно снижать нагрузку на позвоночник при подъеме тяжестей или длительной работе в наклонном положении.



Рис. 1. Опорная часть экзоскелета

Голеностопный рычаг обеспечивает стабилизацию сустава и снижает мышечное напряжение при ходьбе или длительном стоянии. Конструкция выполнена из алюминиевого сплава с шарнирным соединением, повторяющим естественную траекторию движения стопы.



Рис. 2. Голеностопный рычаг экзоскелета

Пояс экзоскелета служит основным силовым узлом, равномерно распределяющим нагрузку с верхней части тела на тазобедренный отдел.



Рис. 3. Пояс экзоскелета

Основным материалом несущей конструкции выбран алюминиевый сплав, что обеспечивает коррозионную стойкость и высокую удельную прочность при сохранении минимальной массы. Все соединительные элементы и механические компоненты (шарниры, подшипники) используются из числа деталей массового машиностроения. Такой подход не только значительно снижает себестоимость производства, но и упрощает ремонт - пользователь может самостоятельно заменить вышедший из строя модуль.

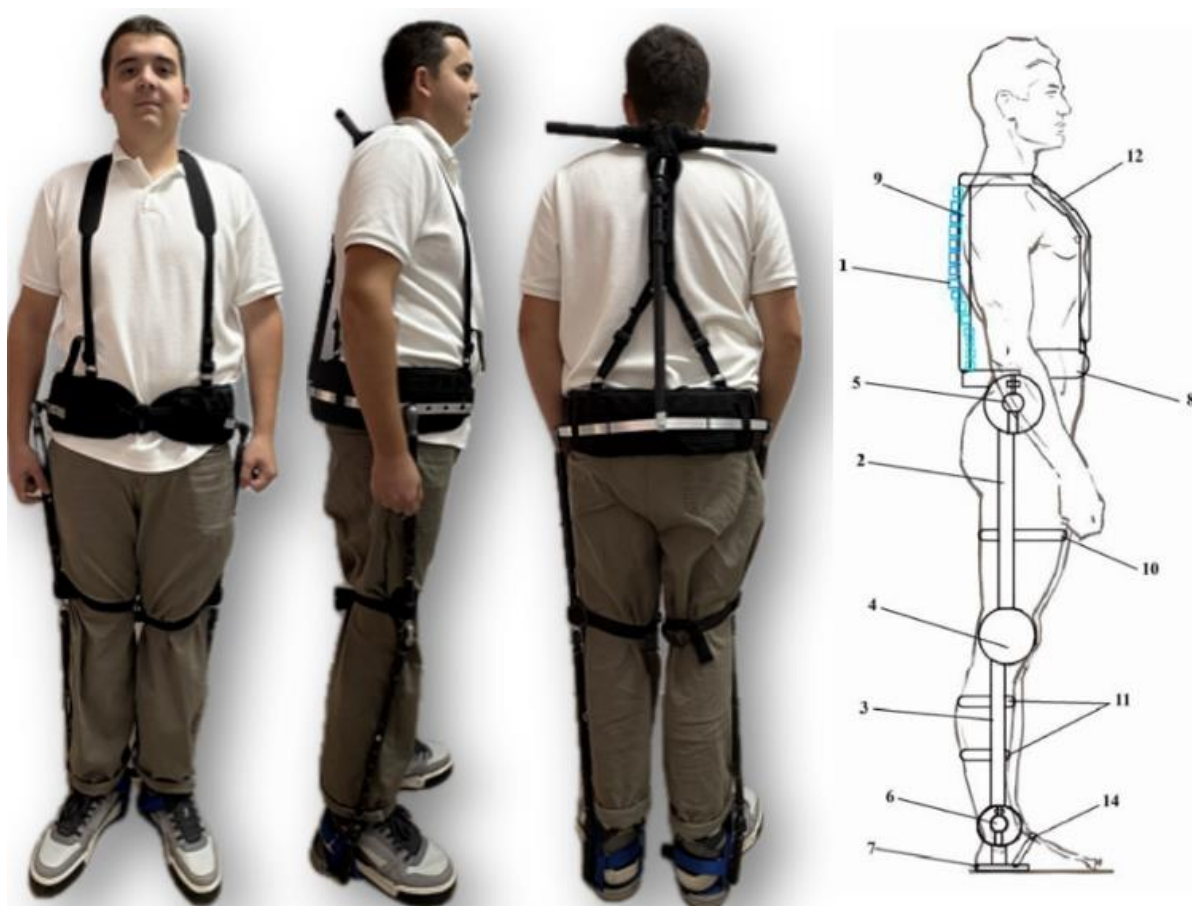


Рис. 4. Прототип экзоскелета

Ключевым преимуществом разработки является адаптивность: базовый каркас может комплектоваться различными типами пассивных элементов в зависимости от требуемого типа поддержки. Это позволяет создать персонализированную эргономическую систему для конкретных задач - от поднятия тяжестей до длительной статической работы. Упрощенная система регулировок обеспечивает точную подгонку под антропометрию пользователя без применения специального инструмента.

Мы предполагаем, что наша конструкция экзоскелета предлагает лучшее соотношение цены и простоты использования, что делает его перспективным решением для массового внедрения в логистике, промышленности и сельском хозяйстве. В отличие от аналогов, он не требует сложного обслуживания и не оснащен премиальными материалами, благодаря чему снижаются эксплуатационные расходы для предприятий. Хотя конструкция уступает в максимальной нагрузке и технологичности, наш продукт, при массовом его производстве, способен закрыть базовые потребности рынка.

Библиографический список

1. СУЭК на пути к «нулевому травматизму» / В.Б. Артемьев, В.В. Лисовский, Г.М. Циношкин, И.Л. Кравчук // Уголь. 2018. № 8(1109). С. 71-75.
2. Namari. Экзоскелет промышленный «Somatik 4» [Электронный ресурс].

Режим доступа: <https://hamari.ru/shop/tproduct/745965083-634220069482-ekzoskelet-promishlennii-somatik-4?ysclid=mi4ntxvsnl150276714>. Дата обращения: 04.11.2025.

3. Exorise. Carbonix: проект компании Exorise [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://exorise.com/projects/carbonix.html?ysclid=mi4ny9wngs81346>. Дата обращения: 04.11.2025.

4. Патент на полезную модель № 232300 U1 Российская Федерация, МПК В25J 11/00, А61Н 3/00. Пассивный экзоскелет: заявл. 17.12.2024: опубл. 05.03.2025 / А.В. Ахметшин, А.А. Нурутдинов, Э. С. Насырова [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский университет науки и технологий».

© Фаткуллин Д.Р., 2025

УДК 574.632

А.М. ФЕДЯНИНА

fedyaninaarin@yandex.ru

Науч. руковод. – асс. **Д.В. АЛЕКСАНДРОВ**

Уфимский университет науки и технологий

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Аннотация: в статье рассмотрено применение фрактального анализа для интегральной оценки качества воды. Показано, что традиционные гидрохимические методы не отражают структурную организацию загрязнений. Обоснована эффективность фрактальной размерности как универсального критерия, характеризующего степень упорядоченности и энтропийные свойства водной среды. Отмечены преимущества метода – универсальность, наглядность и возможность автоматизации, а также его перспективы интеграции с геоинформационными технологиями для пространственного анализа загрязнений.

Ключевые слова: фрактальный анализ; фрактальная размерность; качество воды; сточные воды; экологический мониторинг; гидрохимические показатели; интегральная оценка; энтропия; структурная упорядоченность; геоинформационные технологии

Современная система экологического мониторинга и управления водными ресурсами все в большей степени опирается на необходимость использования интегральных методов анализа, способных комплексно отражать совокупное воздействие множества загрязняющих факторов на

водные экосистемы. Одномерные подходы, ориентированные на контроль отдельных гидрохимических параметров – таких как биохимическое и химическое потребление кислорода, содержание нефтепродуктов, фенолов, взвешенных веществ, солей тяжелых металлов и др. – оказываются недостаточными при исследовании многокомпонентных водных систем. Они не позволяют оценить внутренние структурные взаимосвязи загрязнений и динамику самоорганизационных процессов, определяющих качество воды в целом.

Традиционно в отечественной и зарубежной практике эффективность очистки сточных вод оценивается по снижению концентрации загрязняющих веществ относительно установленных предельно допустимых концентраций (ПДК). Такой подход формально отражает достижение нормативных требований, но не дает информации о структурной целостности и степени упорядоченности химического состава воды после очистки. Вследствие этого возникает необходимость применения более комплексных методов, способных обобщить множество разнотипных показателей в единый аналитический критерий [1].

Ряд современных исследователей предлагают использовать математические и статистические инструменты для интеграции данных: регрессионные и корреляционные модели, методы многопараметрической оптимизации, процедуры взвешенных оценок, а также методы машинного обучения для прогнозирования тенденций изменения качества воды. Однако такие подходы требуют больших объемов исходных данных, значительных вычислительных ресурсов и зачастую не позволяют напрямую сопоставить результаты между объектами различной природы. Кроме того, классические статистические методы плохо описывают нелинейные зависимости, характерные для природных процессов [2].

В последние десятилетия наблюдается возрастающий интерес к интегральным методам, базирующимся на концепциях нелинейной динамики и теории самоорганизации природных систем. Одним из таких методов является фрактальный анализ, основанный на положениях фрактальной геометрии, разработанной Б. Мандельбротом [3]. Суть метода заключается в количественном описании структур, обладающих свойством самоподобия – то есть сохранением геометрических характеристик при изменении масштаба наблюдения. В экологии водных систем это свойство проявляется, например, в повторяемости закономерностей распределения загрязняющих веществ, морфологии взвесей или характере образования коллоидных агрегатов [2]. Сравнительная характеристика методов оценки приведена в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительная характеристика методов оценки качества воды

Критерий сравнения	Традиционные гидрохимические методы	Многопараметрические модели (регрессия, взвешенные оценки и др.)	Фрактальный анализ
Основная цель	Определение концентраций загрязняющих веществ	Интеграция и прогнозирование по множеству показателей	Комплексная оценка структурной организации загрязнений
Тип данных	Концентрации отдельных элементов	Многомерные числовые данные	Пространственные и морфологические характеристики
Необходимый объем данных	Средний	Высокий	Средний
Точность при нелинейных зависимостях	Низкая	Средняя	Высокая
Возможность интегральной оценки	Ограничена	Частично реализуема	Полностью реализуема
Интерпретация результатов	Табличная, по ПДК	Числовые индексы, сложная интерпретация	Единая числовая метрика, визуализируемая
Потенциал автоматизации	Низкий	Средний	Высокий
Ограничения	Требуется множества анализов	Зависимость от исходных данных	Необходима унификация параметров обработки изображений

Применение фрактального анализа в экологических исследованиях открывает новые возможности для количественного описания структурной организации загрязнений и оценки степени их пространственной упорядоченности. Фрактальная размерность служит универсальной метрикой сложности системы: чем выше ее значение, тем более хаотичен и неоднороден состав исследуемой среды; напротив, снижение размерности указывает на повышение степени упорядоченности и эффективности очистки.

Исследования, выполненные на промышленных предприятиях нефтехимического, целлюлозно-бумажного и металлургического профиля, показали, что при переходе от традиционных или физико-химических методов очистки к современным биотехнологическим и мембранным схемам происходит снижение фрактальной размерности. Этот факт интерпретируется как уменьшение структурной энтропии сточных вод, что свидетельствует об устойчивом восстановлении структуры системы после воздействия загрязняющих веществ. Таким образом, изменение фрактальной размерности

может рассматриваться как количественный индикатор эффективности очистки [3].

Главным преимуществом фрактального анализа является его универсальность: метод позволяет свертывать многомерные гидрохимические данные в единую интегральную оценку состояния водной среды. Он дает возможность объективно сопоставлять эффективность различных технологий очистки и экологическое состояние водных объектов, различающихся по составу и происхождению загрязнений. В отличие от традиционных методов, фрактальный анализ позволяет получать результат в виде единого числового показателя, что существенно упрощает интерпретацию и визуализацию данных при мониторинге.

В то же время применение метода требует строгого соблюдения методических условий: единых параметров масштабирования, разрешения изображений и алгоритмов вычисления фрактальной размерности. Различия в используемых программных пакетах (например, FracLac, ImageJ, Venoit и др.) могут приводить к расхождениям в результатах, поэтому для корректного сравнения необходимо проводить анализ в унифицированной вычислительной среде. Также важно учитывать, что сам показатель фрактальной размерности отражает лишь геометрическую сложность распределения загрязнений и не позволяет определить их химическую природу или источник. Для повышения достоверности анализа результаты фрактальной диагностики должны сопоставляться с традиционными гидрохимическими параметрами – БПК, ХПК, концентрацией нефтепродуктов, ионов тяжелых металлов и другими показателями. Преимущества и недостатки применения методов фрактального анализа в водной экологии приведены в таблице 2.

Таблица 2

Преимущества и недостатки применения фрактального анализа в водной экологии

Аспект	Преимущества	Ограничения
1	2	3
Универсальность	Применим к любым типам сточных вод и водных объектов	Требуется калибровка методики под разные программы обработки
Комплексность	Позволяет объединить разнородные данные в единую оценку	Не определяет химическую природу загрязнений
Визуализация	Дает наглядное графическое представление структуры загрязнений	Возможны искажения при неверном выборе масштаба
Скорость анализа	Позволяет выполнять экспресс-оценку состояния воды	Требуется предварительной цифровой обработки изображений
Интерпретация	Отражает степень структурной упорядоченности и энтропию системы	Требуется сопоставления с гидрохимическими параметрами

1	2	3
Перспективность	Может стать основой для интегральных индексов экологического риска	Необходима стандартизация алгоритмов и базы эталонных данных

Дальнейшее развитие фрактального анализа в водной экологии связано с его интеграцией в геоинформационные и аналитические системы экологического мониторинга. Использование ГИС позволяет выполнять пространственное картирование фрактальных индексов, выявлять зоны повышенной структурной неоднородности и моделировать динамику самоочищения водотоков. Наиболее перспективным направлением представляется разработка специализированных программных модулей, которые обеспечат автоматизированный расчет фрактальной размерности и формирование базы данных фрактальных характеристик различных типов водных объектов.

В перспективе фрактальный подход может быть дополнен временными моделями, позволяющими отслеживать динамику изменения состава сточных вод в процессе очистки и оценивать стабильность работы очистных сооружений. Разработка фрактальных индексов экологического риска, объединяющих химическую, структурную и динамическую информацию, станет логическим этапом эволюции данного направления. Это позволит создать единую интегральную систему количественной оценки устойчивости водных экосистем и эффективности природоохранных мероприятий.

Таким образом, фрактальный анализ можно рассматривать как перспективный инструмент комплексной диагностики качества воды, сочетающий в себе универсальность, наглядность и потенциал автоматизации. Его использование в рамках систем экологического мониторинга создает предпосылки для формирования новых стандартов оценки состояния водных объектов, ориентированных не только на концентрационные показатели, но и на структурно-информационные характеристики водной среды.

Библиографический список

1. Нафикова Э.В., Александров Д.В., Платонова А.С. и др. Оценка эффективности очистки сточных вод с помощью фрактального анализа // Вестник НЦ БЖД. 2021. № 3 (49). С. 94-102.
2. Нафикова Э.В., Александров Д.В., Мартынова О.Г., Ахметшин Р.И., Чувашаева К.Р. Оценка эффективности системы очистки сточных вод нефтеперерабатывающего предприятия с помощью фрактального анализа // Техносферная безопасность. 2022. № 1 (34). С. 9–15.
3. Насонов А.Н. и др. Фракталы в науках о Земле. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2018. 82 с.

А.М. ФЕДЯНИНА

fedyaninaarin@yandex.ru

Науч. руковод. – асс. Д.В. АЛЕКСАНДРОВ

*Уфимский университет науки и технологий***ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕННОЙ ВОДЫ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

Аннотация: в статье проанализированы ключевые источники и последствия антропогенного загрязнения водных ресурсов. Установлено, что основными факторами деградации водных экосистем являются промышленные сточные воды, сельскохозяйственные стоки, утечки нефти и накопление химических отходов. Отмечено их негативное влияние на гидробиоценозы, качество питьевой воды и здоровье населения.

Ключевые слова: загрязнение водных ресурсов; сточные воды; нефтепродукты; тяжелые металлы; экосистема; очистка воды; охрана окружающей среды; экологическая безопасность

Загрязнение воды является одной из наиболее серьезных экологических проблем современности, оказывающей разрушительное воздействие на окружающую среду и здоровье человека. Вода, как важный природный ресурс, необходима для жизнедеятельности всех живых существ. Ее загрязнение приводит к нарушению экосистем, ухудшению качества жизни и даже угрозе существованию некоторых видов [1, 2].

С развитием промышленности состояние водных ресурсов в реках и озерах непрерывно ухудшается. Большую часть без достаточной очистки после использования возвращают обратно в водоемы в виде сточных вод. При этом присутствующие в них загрязнители приводят к ухудшению запаха и химического состава жидкости. Основные источники и причины загрязнений приведены в таблице 1.

Таблица 1

Классификация основных типов загрязнения водных экосистем и меры их предотвращения

№ п/п	Вид (тип) загрязнения водных объектов	Наименование основных источников этого загрязнения	Основное неблагоприятное воздействие на население/окружающую среду	Основные меры борьбы
1.	Промышленные сточные воды	- промышленность; - крупные загрязняющие отрасли; - неэкологичный состав стоков;	- загрязнение водоемов; - влияние на экосистему; - накопление токсичных веществ в донных отложениях;	- улучшение очистки сточных вод; - контроль за сбросом отходов; - стимулирование, внедрения

		– недостаточная эффективность локальных очистных сооружений; – аварийные сбросы.	- плохое качество воды.	- экологически чистых технологий; - модернизация очистных сооружений предприятий; - мониторинг качества воды.
2.	Химическое загрязнение	- промышленные токсичные отходы; - транспорт; - утечка и несанкционированное захоронение химических отходов - электронные отходы.	- ухудшение здоровья; - развитие токсикозов, заболеваний печени и почек; - накопление металлов в тканях водных видов.	- мониторинг качества воды; - очищение и восстановление экосистем; - организация пунктов безопасной утилизации токсичных отходов; - снижение выбросов загрязняющих веществ.
3.	Загрязнения нефтью и нефтепродуктам и	- промышленность; - морской и речной транспорт; - аварийные разливы при транспортировке и хранении; - неправильная утилизация нефтепродуктов.	- экологические последствия; - неблагоприятное влияние на здоровье человека; - экономические последствия.	- улучшение проектирования и материалов; - регулярный мониторинг и техническое обслуживание; - применение сорбентов природного происхождения при ликвидации разливов - сбор и ликвидация разливов.
4.	Сельскохозяйственное загрязнение (агрохимикаты, органика)	- отходы животноводства; - применение минеральных удобрений и пестицидов; - неправильное обращение с отходами - сельскохозяйственные машины.	- загрязнение водоемов; - эвтрофикация; - повышение уровня солености; - вымывание нитратов и фосфатов в поверхностные и подземные воды - угроза для здоровья населения.	- эффективное использование воды; - защита водоемов; - внедрение технологий точного земледелия и экологических удобрений; - создание прибрежных буферных зон (лесополос, водоохраных полос); - анализ и контроль качества воды.

Проблема загрязнения водных ресурсов, вызванная промышленными выбросами, химическими отходами, утечками нефти и сельским хозяйством представляет собой серьезную угрозу как для экосистем, так и для здоровья

человека и живых организмов. Промышленные предприятия используют значительную долю пресной воды, однако лишь небольшая часть сточных вод очищается безопасным образом. Многие организации продолжают сбрасывать опасные отходы в водоемы без должной очистки, что приводит к загрязнению воды тяжелыми металлами и химическими веществами. Это, в свою очередь, вызывает гибель водных организмов, серьезно нарушает баланс экосистемы и ставит под угрозу здоровье людей, использующих загрязненные ресурсы. Сельское хозяйство, будучи крупнейшим потребителем пресной воды, также вносит свой вклад в ухудшение состояния водоемов. Применение минеральных удобрений и пестицидов приводит к искажению водного баланса и иссушению источников воды. Следовательно, при отсутствии эффективных мер по предотвращению указанных видов загрязнения в ближайшей перспективе может возникнуть дефицит качественной пресной воды. В регионах, где доступ к чистой воде и без того ограничен, ситуация становится особенно критичной, создавая дополнительные проблемы для общества [3].

Ухудшение качества питьевой воды также напрямую угрожает здоровью человека и животных. Химические загрязнения способны вызывать тяжелые заболевания, отравления, кишечные инфекции и даже приводить к эпидемиям. Купание в загрязненных водоемах или использование плохо очищенной воды может стать источником инфекционных заболеваний. Более того, употребление рыбы и морепродуктов, выловленных из загрязненных вод, неминуемо сказывается на пищеварительной системе и общем состоянии здоровья людей, что делает ситуацию еще более острой.

Не менее серьезным является влияние загрязнения на экосистемы водоемов. Загрязнение водных ресурсов приводит к болезням и гибели их обитателей, таких как рыбы, моллюски и водные растения. Большинство отходов, попадающих в воду, содержат тяжелые металлы, нефтепродукты и токсины, которые делают жизнь в водоемах невозможной. Это приводит к снижению биоразнообразия и разрушению природных экосистем, что в свою очередь угрожает выживанию многих видов.

Сброс отходов в водоемы создает так называемые «мусорные острова», состоящие из металлического мусора, пластика и других отходов. Эти «континенты» представляют собой опасность как для водной экосистемы, так и для человека, так как рыба, обитающая в таких загрязненных территориях, может попадать на стол людям. Ситуация усугубляется цветением водоемов, которое происходит из-за избытка органических веществ, удобрений и химикатов. Цветение приводит к образованию непроницаемой пленки на поверхности воды, что мешает поступлению света и кислорода, необходимых для жизни водных организмов, и таким образом еще больше ухудшает качество экосистемы [4].

Таким образом, загрязнение водных ресурсов представляет собой многогранную проблему, имеющую серьезные последствия для здоровья человека, животных и состояния экосистем. Эти проблемы требуют комплексного подхода и активных усилий со стороны общества для их

решения, начиная от уменьшения выбросов и заканчивая внедрением эффективных методов очистки воды.

Очистка загрязненной воды является важным аспектом обеспечения здоровой экосистемы и защиты водных ресурсов. Существуют различные методы, которые помогают справиться с этой проблемой, и каждый из них вносит свой вклад в улучшение качества воды. Основные методы очистки воды от загрязнений приведены в таблице 2.

Таблица 2

Основные методы предотвращения и снижения загрязнения водных ресурсов

№ п/п	Наименование метода	Краткая характеристика	Эффективность и экологический эффект	Основные направления применения
1	Очистка сточных вод	Комплекс физических, химических и биологических процессов, обеспечивающих удаление до 90 % загрязняющих веществ перед сбросом воды в водоемы. Используются фильтрация, аэрация, сорбция, биофильтры.	Существенно снижает токсичность сточных вод и предотвращает загрязнение водоемов.	Промышленные и коммунальные очистные сооружения, локальные системы предприятий.
2	Мониторинг и контроль качества воды [5]	Применение приборов (рН-метры, кондуктомеры, оксиметры) для контроля показателей воды на всех этапах очистки.	Позволяет своевременно выявлять отклонения и повышать эффективность очистных систем.	На очистных станциях, в лабораториях, при экологическом надзоре.
3	Сокращение пластиковых отходов	Снижение попадания пластика в водоемы путем отказа от одноразовой продукции, внедрения переработки и повторного использования.	Снижает уровень микропластика и токсичных соединений в водной среде.	Бытовая сфера, торговля, производство упаковки, перерабатывающая промышленность.
4	Рациональное водопользование (экономия воды)	Снижение потребления воды в быту за счет ограничения расхода, отключения воды при чистке зубов, сокращения времени душа и полива.	Сохраняет запасы пресной воды, снижает нагрузку на очистные сооружения.	Бытовое водопользование, коммунальное хозяйство, сельское хозяйство.
5	Использование септиков и локальных очистных систем	Биологическая и механическая очистка сточных вод с разделением твердых и жидких фракций, разложением органических веществ.	Снижает загрязнение грунтовых вод, предотвращает поступление органики и токсинов в водоемы.	Частные дома, малые предприятия, сельские населенные пункты.
6	Просветительская и образовательная деятельность	Формирование экологической культуры населения, информирование о способах экономии воды и правильной утилизации отходов.	Повышает эффективность природоохранных мер, формирует ответственное отношение к водным ресурсам.	Школы, вузы, СМИ, общественные организации.

Таким образом, представленные методы позволяют значительно снизить антропогенное воздействие на водные экосистемы. Их комплексное применение способствует восстановлению качества водных ресурсов, предотвращению деградации экосистем и формированию устойчивого водопользования.

Проведенный анализ показал, что загрязнение водных ресурсов является одной из наиболее острых экологических проблем, оказывающих многостороннее воздействие на природные экосистемы, климат и здоровье человека. Основными источниками загрязнения выступают промышленность, сельское хозяйство, транспорт и бытовые отходы, которые в совокупности формируют высокий уровень антропогенной нагрузки на водные объекты.

Установлено, что химическое и нефтяное загрязнение, а также поступление агрохимикатов и органики в водоемы вызывают деградацию водных экосистем, эвтрофикацию, накопление токсичных веществ и снижение биоразнообразия. Последствия этих процессов приводят к ухудшению качества питьевой воды, росту заболеваемости населения и нарушению природного баланса.

Для снижения негативного воздействия требуется комплексный подход, включающий совершенствование систем очистки сточных вод, внедрение локальных очистных сооружений, рациональное использование водных ресурсов и повышение экологической культуры населения. Эффективное сочетание технологических, организационных и образовательных мер позволит обеспечить устойчивое управление водными экосистемами и сохранить качество пресной воды для будущих поколений.

Библиографический список

1. Нафикова Э.В., Соколова О.В., Александров Д.В. Анализ проблемы загрязнения водотоков урбанизированных территорий // Устойчивое развитие территорий: теория и практика: материалы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. В 2-х томах, Сибай, 14–16 ноября 2019 года. Том 2. – Сибай: Сибайский информационный центр-филиал ГУП РБ Издательский дом «Республика Башкортостан», 2019. С. 186-188.

2. Хасанов И.А., Нутфуллина Е.И. Мониторинг гидроэкологического режима рек в условиях истощения водных ресурсов как элемент системы экологической безопасности // Региональные аспекты экономической безопасности: сборник материалов III Всероссийской молодежной научно-практической конференции с международным участием, Уфа, 28 октября 2022 года. Уфа: ФГБОУ «Уфимский университет науки и технологий», 2023. С. 86-90.

3. E. Nafikova, A. Elizaryev, A. Ismagilov [et al.] Assessment of geoecological conditions and the depletion risk of the river Belaya catchment area // E3S Web of

Conferences: Key Trends in Transportation Innovation, KTTI 2019, Khabarovsk, 24–26 октября 2019 года. Vol. 157. Khabarovsk: EDP Sciences, 2020. P. 02003.

4. Антонова Н.А., Домашненко Ю.Е., Васильев С.М. Определение многоцелевой эффективности системы очистки природной воды для капельного орошения методом критериальной оценки // Инновации в сельском хозяйстве. 2017. № 1 (22). С. 260–267.

5. E. Nafikova, D. Aleksandrov, A. Shaniyazova, Ch. Bondar. Hydroecological data recovery using artificial intelligence // E3S Web of Conferences: International Scientific and Practical Conference «Development and Modern Problems of Aquaculture» (AQUACULTURE 2022), Divnomorskoe village, Krasnodar region, Russia, 26 сентября – 02 2022 года. Vol. 381. EDP Sciences: EDP Sciences, 2023. P. 01036.

© Федянина А.М., 2025

УДК 631.4

А.Х. ХАБЛЕТДИНОВА

Albuseques@yandex.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **Е.Н. ЕЛИЗАРЬЕВА**

Уфимский университет науки технологий

ФИТОРЕМЕДИАЦИЯ ПОЧВ ТУКАНСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КАРЬЕРА, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НИКЕЛЕМ: КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД С УТИЛИЗАЦИЕЙ БИОМАССЫ

Аннотация: представлены результаты разработки технологии фиторемедиации для реабилитации почв Туканского железорудного карьера (Республика Башкортостан), характеризующихся превышением концентрации подвижных форм никеля в 1,275 раза относительно ПДК. Подобран ассортимент растений-фиторемедиантов, включающий *Brassica juncea* L. и *Thlaspi arvense* L. (фитоэкстракция), а также *Sisymbrium lipskyi* L. и *Festuca pratensis* L. (фитостабилизация).

Ключевые слова: фиторемедиация; тяжелые металлы; никель; гипераккумуляторы; пиролиз; Туканский карьер; утилизация биомассы

Загрязнение почв тяжелыми металлами относится к числу серьезных глобальных экологических проблем. Горнодобывающая и промышленная деятельность приводит к накоплению в почвах токсичных элементов (Pb, Cd, As, Hg, Cu, Zn), обладающих высокой устойчивостью [1,2]. В России около 13,3% территории характеризуется опасным уровнем загрязнения тяжелыми металлами, что особенно актуально для горнодобывающих регионов [3].

Традиционные методы очистки (выемка грунта, промывка, термическая

обработка) отличаются высокой стоимостью, энергоемкостью и часто приводят к деградации почв [4]. Альтернативой выступает фиторемедиация – экологически безопасная и экономически эффективная технология, использующая растения и ассоциированные микроорганизмы для удаления или стабилизации загрязнителей [5]. Экономическая эффективность метода подтверждается данными о его стоимости, которая в 4–6 раз ниже традиционных способов очистки [6].

Целью работы являлась разработка технологии фиторемедиации для почв Туканского железорудного карьера (Башкортостан), загрязненных никелем, с подбором видов-фиторемедиантов и обоснованием метода утилизации биомассы. Объект исследования - территория карьера с дерново-подзолистыми глинистыми почвами [7], где выявлено превышение концентрации подвижных форм никеля (5,1 мг/кг при ПДК 4 мг/кг) [7], [8]. Несмотря на допустимый суммарный показатель загрязнения ($Z_c = 1,275$), наличие подвижной формы Ni требует проведения ремедиационных мероприятий.

Методика подбора растений-фиторемедиантов включала анализ литературы по критериям: эффективность в отношении никеля, пригодность для фитоэкстракции или фитостабилизации, адаптивность к местным условиям. Результаты подбора представлены в таблице 1.

Таблица 1

Агроэкологическая характеристика перспективных видов-фиторемедиантов для рекультивации почв Туканского карьера

Вид растения, стратегия	Стратегия	Эффективность	Преимущества данного вида	Недостатки данного вида
Горчица полевая (<i>Brassica juncea</i> L.)	Фитоэкстракция	Аккумуляция Ni 85-100 мг/кг; КП = 2,1-3,5	Быстрый рост; высокая биомасса; простота агротехники.	Поверхностная корневая система; требует регулярного полива.
Гулявник Липский (<i>Sisymbrium lipskyi</i> L.)	Фитостабилизация	Аккумуляция до 280 мг/кг; КТ < 0,3	Глубокая корневая система; устойчивость к эрозии; самовозобновление.	Медленный начальный рост; ограниченная доступность семян.
Ярутка полевая (<i>Thlaspi arvense</i> L.)	Фитоэкстракция	Концентрация Ni 500-800 мг/кг; КП > 10	Гипераккумулятор; устойчивость к холоду; нетребовательность к почвам.	Низкая биомасса; сложность сбора.
Овсяница луговая (<i>Festuca pratensis</i> L.)	Фитостабилизация	Снижение подвижности Ni на 40-60%.	Формирование дернины; долговечность; устойчивость.	Незначительное поглощение металла; требует регулярного укоса.

Подобранный ассортимент включает как однолетние виды, характеризующиеся высокой скоростью роста и биомассообразованием, так и многолетники, обладающие глубокой корневой системой и устойчивостью к стрессовым условиям. Такой комплексный подход позволяет одновременно

решать задачи очищения и долговременной экологической стабилизации нарушенной территории.

Успешная реализация проекта фиторемедиации неизбежно приводит к образованию значительных объемов фитомассы, обогащенной тяжелыми металлами. Биомасса таких видов, как *Brassica juncea* L. и *Sisymbrium lipskyi* L., может содержать до 100-280 мг/кг никеля [4], что создает потенциальную угрозу вторичного загрязнения окружающей среды. Разработка научно обоснованного подхода к утилизации загрязненной фитомассы становится неотъемлемой и критически важной составляющей технологического цикла [3].

Проведенный сравнительный анализ современных методов утилизации показал, что для условий Туканского карьера наиболее предпочтительным является пиролиз. Данный выбор был сделан на основе комплексного анализа технологических, экологических и экономических параметров и имеет строгое научное обоснование.

Эффективная иммобилизация тяжелых металлов. В процессе пиролиза (500-600°C) 85-95% никеля переходит в стабильную форму в составе биоугля, что резко снижает его подвижность и биодоступность.

Формирование стабильной матрицы. Тяжелые металлы прочно фиксируются в структуре биоугля, минимизируя риск выщелачивания и вторичного загрязнения [9].

Оптимизация технологического цикла. Метод обеспечивает сокращение объема отходов до 70%, а пиролизные газы могут быть использованы для энергообеспечения процесса.

Рециклинг продуктов переработки. Полученный биоуголь может быть использован в качестве инертного наполнителя в строительных материалах, что соответствует принципам экономики замкнутого цикла.

Для условий Туканского карьера в качестве оптимального режима обработки биомассы *Brassica juncea* L. и *Sisymbrium lipskyi* L. рекомендуется температурный диапазон 500–600°C, обеспечивающий максимальный выход стабильного биоугля при эффективной иммобилизации никеля [9], [10].

Альтернативные методы утилизации показали меньшую эффективность для данных условий. Компостирование связано с риском ремобилизации металлов [3], гранулирование имеет ограничения по сырью и производительности, а инсинерация приводит к образованию высокотоксичной золы [4].

Таким образом, выбор пиролиза в качестве ключевого метода утилизации для Туканского карьера имеет комплексное научно-техническое обоснование, обеспечивая создание экологически безопасного и экономически рационального замкнутого цикла фиторемедиации.

Комплексная оценка эффективности проекта фиторемедиации для Туканского карьера, включающая подбор видов-фиторемедиантов и метод утилизации биомассы, представлена в таблице 2.

Комплексный анализ предложенного проекта фиторемедиации

Критерий оценки	Характеристика	Меры оптимизации
Сильные стороны	Комбинирование стратегий фитоэкстракции и фитостабилизации [10]; замкнутый цикл утилизации биомассы; низкие капитальные затраты.	Поэтапная реализация; мониторинг эффективности видов.
Слабые стороны	Длительные сроки (3-5 лет); сезонная зависимость; ограниченная глубина воздействия.	Применение мелиорантов; использование растений с разной глубиной корневой системы.
Природоохранные эффекты	Снижение концентрации подвижного Ni на 40-60%; восстановление растительного покрова и свойств почвы.	Регулярный экомониторинг; адаптация видового состава.
Экономические эффекты	Стоимость на 60-70% ниже традиционных методов; использование продуктов пиролиза.	Оптимизация логистики; использование местных ресурсов.
Ключевые риски	Климатические аномалии; недостаточная эффективность видов; технологические сбои.	Страхование урожая; создание резервного фонда; сервисные договоры.

Проведенный анализ демонстрирует значительные преимущества предложенного проекта фиторемедиации почв Туканского железорудного карьера, загрязненных никелем. Разработана комплексная технология, основанная на комбинированном использовании стратегий фитоэкстракции (*Brassica juncea* L. и *Thlaspi arvense* L.) и фитостабилизации (*Sisymbrium lipskyi* L. и *Festuca pratensis* L.).

Обоснован выбор пиролиза в качестве оптимального метода утилизации загрязненной фитомассы, обеспечивающего экологическую безопасность и возможность рециклинга продуктов переработки. Комплексный анализ подтвердил природоохранные преимущества проекта, включая снижение концентрации подвижного никеля на 40-60% [11], и экономическую эффективность, превышающую традиционные методы в 2-3 раза при существенно меньших капитальных затратах.

Таким образом, представленное решение является научно обоснованным, экономически эффективным и экологически безопасным подходом к восстановлению нарушенных экосистем, соответствующим принципам устойчивого развития.

Библиографический список

1. McIntyre, Terry. Phytoremediation of heavy metals from soils // Phytoremediation. 2003. pp. 97-123.
2. Елизарьева Е.Н., Янбаев Ю.А., Редькина Н.Н. [и др.] Оценка загрязнения почв в зоне влияния предприятий металлургической отрасли // Вестник Оренбургского государственного университета. 2017. № 9(209). С. 8-13.
3. Готфрид Н. С., Чаптаров Д. В., Терещенко Н. Н. Масштаб загрязнения почв тяжёлыми металлами в России // Молодой учёный. 2023. № 25 (472). С. 307–310.
4. Sharma J.K., Kumar N., Singh N.P., Santal A.R. Phytoremediation technologies and their mechanism for removal of heavy metal from contaminated soil: An approach for a sustainable environment // Frontiers in Plant Science. 2023. Vol. 14. Art. 1076876.
5. Chen H. M. Chemical methods and phytoremediation of soil contaminated with heavy metals // Chemosphere. 2000. vol. 41. №. 1-2. pp. 229-234.
6. Li C. A review on heavy metals contamination in soil: effects, sources, and remediation techniques // Soil and Sediment Contamination: An International Journal. 2019. Vol. 28. pp. 380-394.
7. Хаблетдинова А. Х. Мониторинг биогеохимического профиля *Trifolium pratense* L. в зоне влияния промышленной разработки Туканского карьера (Белорецкий район, Республика Башкортостан). Уфа. 2025. С. 25-29.
8. Бускунова Г. Г., Хаблетдинова А. Х. Оценка биогеохимического состояния *Origanum vulgare* L. в окрестностях Туканского карьера Белорецкого района Республики Башкортостан // Неделя науки - 2024: материалы Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции (Сибай, 24-25 апреля 2024 г.). Сибай: Уфимский университет науки и технологий. 2024. С. 257-259.
9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023617236 Российская Федерация. Размер вреда в результате загрязнения почв, возникшего при поступлении в почву загрязняющих веществ: № 2023616038: заявл. 28.03.2023: опубл. 06.04.2023 / Э. В. Нафикова, Д. В. Александров, А. Ф. Шаниязова, А. Н. Сидорова; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский университет науки и технологий».
10. Елизарьева Е.Н., Янбаев Ю.А., Кулагин А.Ю., Усманов И.Ю. Зависимость аккумуляции растениями никеля и кадмия от их концентрации // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2017. № 1. С. 109-116.
11. Елизарьева Е.Н. Токсическое действие тяжелых металлов // Актуальные вопросы университетской науки: сборник научных трудов. Т. 2. Уфа: Башкирский государственный университет. 2016. – С. 110-120.

© Хаблетдинова А.Х., 2025

А.Х. ХАБЛЕТДИНОВА

Albuseques@yandex.ru

Науч. руковод. – ст. препод. **С.А. МУСИНА**

Уфимский университет науки технологий

РОЛЬ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ В ОБОСНОВАНИИ ПРОГРАММ МОНИТОРИНГА И МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОЧВЫ

Аннотация: обоснована ключевая роль государственной экологической экспертизы в формировании программ мониторинга почв. Показано, что заключение ГЭЭ, обладая юридической силой, трансформирует прогнозные оценки в конкретные требования к мониторингу и мероприятиям. Это позволяет преодолеть формальный подход и обеспечить реальное снижение негативного воздействия на почвенные ресурсы.

Ключевые слова: государственная экологическая экспертиза; мониторинг почв; негативное воздействие; охрана почв; оценка воздействия на окружающую среду; мероприятия по снижению воздействия; нормативно-правовое регулирование; деградация почв

Почвы являются фундаментальным, невозобновляемым в короткие сроки природным ресурсом, обеспечивающим биологическое разнообразие, продовольственную безопасность и стабильность экосистем. Однако современный уровень промышленного и сельскохозяйственного развития приводит к их интенсивной деградации: загрязнению тяжелыми металлами, нефтепродуктами, пестицидами, засолению, заболачиванию и физическому разрушению [1].

Существующая система природоохранного регулирования предусматривает разработку мероприятий по снижению негативного воздействия (НВОС) и организацию мониторинга на стадии проектирования хозяйственных объектов. Тем не менее, практика показывает, что соответствующие разделы проектной документации зачастую носят формальный, обобщенный характер, не учитывают локальную специфику и не обеспечивают достаточных гарантий сохранения почвенного покрова [2]. Это создает разрыв между проектированием и реальной экологической безопасностью.

В этом контексте государственная экологическая экспертиза (ГЭЭ), являясь независимой проверкой соответствия документации требованиям законодательства, выступает ключевым элементом, обеспечивающим научную и техническую обоснованность планируемых мер. Вопросы оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) посвящены работы многих ученых, однако роль

именно экспертизы как конечного этапа, формирующего обязательные для исполнения предписания по мониторингу и мероприятиям, изучена недостаточно глубоко.

Анализ работ ведущих специалистов подтверждает центральный тезис нашего исследования о ключевой роли экологической экспертизы в обосновании мониторинга. Так, Джандубаева Ф.М. [3] обоснованно рассматривает процедуры ОВОС и ЭЭ как превентивный инструментарий, подчеркивая, что заключение ГЭЭ должно становиться научно-обоснованным основанием для последующих действий, а не формальным разрешением. Выявленный в ее работе высокий правовой статус заключения ГЭЭ создает юридический механизм для закрепления требований к программам мониторинга.

Исследование Путилова В.Ю. и Путиловой И.В. [4] развивает эту мысль, выделяя управленческую функцию ГЭЭ, которая делает ее «отправной точкой для организации последующего экологического контроля». Это напрямую указывает на законодательно закрепленную преемственность между экспертизой и контролем.

Методическое наполнение этой связи представлено в работе Пинаева В.Е. [5], который критикует формальный подход к разработке раздела мониторинга и предлагает практические критерии: индивидуализацию программы, привязку контролируемых показателей к конкретным источникам воздействия и установление четких критериев для корректирующих действий.

Проведенный анализ научных работ позволяет утверждать, что существующий правовой статус и методический аппарат экологической экспертизы создают все необходимые предпосылки для преодоления выявленного «разрыва» между проектными оценками и практикой мониторинга. Исследования подтверждают, что заключение ГЭЭ, обладая обязательной юридической силой, должно не только оценивать допустимость воздействия, но и выступать системообразующим документом, который через специальные условия напрямую предопределяет структуру, целевые показатели и регламент программы производственного экологического мониторинга, тем самым трансформируя экспертный прогноз в конкретный план контрольных и корректирующих действий, обеспечивающих снижение негативного воздействия на окружающую среду.

Современное правовое поле, регулирующее экологическую экспертизу и охрану почв, основывается на ряде ключевых федеральных законов и подзаконных актов. Анализ последних изменений позволяет выявить усиление роли ЭЭ как связующего звена между проектированием, контролем и минимизацией ущерба. Ниже представленная таблица систематизирует ключевые документы и их роль в формировании программ мониторинга через призму экологической экспертизы (таблица 1).

Таблица 1

Влияние нормативно-правовых актов на формирование требований к мониторингу и охране почв в рамках государственной экологической экспертизы

Нормативный правовой акт	Роль в системе экологической экспертизы
Федеральный закон № 174-ФЗ «Об экологической экспертизе» (ред. от 08.08.2024).	Закрепляет превентивную цель ЭЭ и обязательную юридическую силу ее положительного заключения. Прямо задает рамки, в которых условия заключения ГЭЭ должны определять параметры последующего экологического контроля, включая мониторинг почв [2].
Федеральный закон № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».	Устанавливает общую обязанность проведения ОВОС, создавая содержательную основу для материалов, поступающих на ЭЭ. Определяет правовые основы организации производственного экологического контроля и мониторинга [6].
Постановление Правительства РФ от 28.11.2024 № 1644 «О порядке проведения оценки воздействия на окружающую среду».	Детализирует порядок ОВОС, обеспечивая полноту и обоснованность информации о прогнозируемом воздействии на почвы [7]. Это позволяет ЭЭ более качественно формулировать требования к будущим программам мониторинга.
Новое Положение о проведении государственной экологической экспертизы (ГЭЭ), утверждённое Постановлением Правительства РФ от 28 мая 2024 года №694.	Регламентирует практическую организацию экспертизы, включая сроки (до 42 рабочих дней) и процедуры. Позволяет проводить ЭЭ параллельно с общественными обсуждениями, что ускоряет процесс без потери качества экспертной оценки [8].
Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».	Суды признают применимость санитарно-гигиенических нормативов для оценки состояния почв в рамках надзора. Это подтверждает, что выводы ЭЭ и последующий мониторинг должны опираться на установленные нормативы, а интерпретация данных должна учитывать погрешность измерений [9].

Проведенный анализ демонстрирует, что обновленное законодательство последовательно выстраивает экологическую экспертизу в качестве центрального элемента, обеспечивающего научную и правовую преемственность между стадией проектирования и этапом эксплуатации объекта. Материалы ОВОС, оцениваемые в рамках ЭЭ, содержат прогноз воздействия на почвы [10], а заключение ГЭЭ, обладающее обязательной силой, трансформирует этот прогноз в конкретные, юридически закрепленные требования к программе мониторинга и природоохранным мероприятиям.

Проведенное исследование позволило установить системообразующую

роль государственной экологической экспертизы в формировании эффективных программ мониторинга и мероприятий по снижению негативного воздействия на почвы [11]. Анализ нормативно-правовой базы показал, что заключение ГЭЭ, обладая обязательной юридической силой, создает правовой механизм для трансформации прогнозных оценок воздействия в конкретные требования к организации природоохранной деятельности.

Таким образом, государственная экологическая экспертиза является не только превентивным инструментом оценки допустимости воздействия, но и эффективным механизмом обеспечения научной обоснованности и практической реализации мер по охране почв, способствуя переходу от декларативности к реальной эффективности в области природопользования.

Библиографический список

1. Бускунова Г.Г., Хаблетдинова А.Х. Оценка биогеохимического состояния *Origanum vulgare* L. В окрестностях Туканского карьера Белорецкого района Республики Башкортостан// Неделя науки - 2024: Материалы Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции, Сибай, 24–25 апреля 2024 года. - Сибай: Уфимский университет науки и технологий. 2024. – С. 257-259.
2. Федеральный закон № 174-ФЗ «Об экологической экспертизе» (ред. от 08.08.2024).
3. Джандубаева Ф.М. Системы экологической экспертизы и оценки воздействия на окружающую среду в решении проблем природопользования и охраны окружающей среды // Записки Горного института. 2013. Т. 203. С. 22-24.
4. Путилов, В.Я., Путилова И.В. Об экологической экспертизе энергетических проектов и внедрении наилучших доступных природоохранных технологий// Альтернативная энергетика и экология. 2018. № 4/6 (252/254). С. 82–94.
5. Пинаев В.Е. Ключевые аспекты подготовки раздела по экологическому мониторингу для государственной экологической экспертизы (ГЭЭ) // Наукоедение: интернет-журнал. 2016. Т. 8. № 5.
6. Федеральный закон № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».
7. Постановление Правительства РФ от 28.11.2024 № 1644 «О порядке проведения оценки воздействия на окружающую среду».
8. Новое Положение о проведении государственной экологической экспертизы (ГЭЭ), утверждённое Постановлением Правительства РФ от 28 мая 2024 года № 694.
9. Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
10. Педаш Е.Д., Каримова Р.Г., Мусина С.А. Оценка воздействия на окружающую среду и экологическая экспертиза // Мавлютовские чтения:

Материалы XVII Всероссийской молодёжной научной конференции. В 9-ти томах, Уфа, 21-23 ноября 2023 года. Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2024. - С. 56-58.

11. Курамшина Н.Г., Мусина С.А., Кусова И.В. Почвы России в балансе углерода: состояние, проблемы // Экологические чтения - 2024: Сборник материалов XV Национальной научно-практической конференции, Омск, 4-5 июня 2024 года. Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2024. С. 532-537.

© Хаблетдинова А.Х., 2025

УДК 614.7

Я.И. ХАЙБУЛЛИНА, Д.А. МУРТАЗИН

haibullina.yana00@gmail.com

Науч. руковод. – ст. препод. **Дм.А. ТАРАКАНОВ**

Уфимский университет науки и технологий

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ: МОНИТОРИНГ И АНАЛИЗ ВРЕДА БЕНЗОЛА В КОМПОНЕНТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Аннотация: загрязнение окружающей среды бензолом как токсикантом антропогенного происхождения представляет серьезную опасность для населения. В статье рассмотрены источники поступления вещества в окружающую среду, влияние на организм человека. Приведены нормативные значения предельно допустимых концентраций и методы контроля бензола в окружающей среде. Сделан вывод о необходимости комплексного мониторинга и урегулирования выбросов бензола.

Ключевые слова: бензол; токсиканты; летучие органические вещества; здоровье человека; предельно допустимая концентрация; мониторинг; газовая хроматография; техносферная безопасность; источники загрязнения; промышленный выброс

Загрязнение атмосферы и воздушной среды токсичными соединениями остаётся одной из наиболее серьёзных экологических проблем современности. Это обусловлено тем, что воздействие данных веществ распространяется сразу на здоровье человека, устойчивость экосистем и климатические процессы [1].

Постоянными источниками риска выступают летучие органические вещества (например, бензол, толуол, формальдегид, фенол), тяжёлые металлы, а также оксиды серы и азота. Их устойчивое присутствие в воздухе обуславливает необходимость постоянного мониторинга и контроля [2].

Особое внимание следует уделить такому соединению как бензол, который признан опасным веществом для человека. Человеческий организм подвергается воздействию бензола в основном при вдыхании загрязнённого им

воздуха. Вблизи промышленных предприятий его концентрация может достигать 349 мкг/м^3 , в дыме одной сигареты содержится около 40 мкг бензола. Городской воздух может доставлять около 25 мкг в час. Также человек получает в среднем 5 мкг бензола с пищей в течение дня. При длительном воздействии даже на низких уровнях концентрации ($3,25 \text{ мг/м}^3$) бензол способен вызывать тяжёлые последствия: анемию, поражение костного мозга и лейкемию, а также продолжительное воздействие бензола может привести к хроническому отравлению [3].

Существует также риск острого отравления бензолом – при вдыхании паров, контакте с кожей или питье. Пары бензола особенно опасны при вдыхании в течение нескольких часов при концентрации выше 160 мг/м^3 . Симптомы включают головокружение, сонливость, проблемы с равновесием и координацией, аритмию, судороги, а также затрудненное дыхание и потерю сознания. Это также может вызвать фибрилляцию желудочков, остановку сердца и смерть [4].

Бензол является повсеместным загрязнителем воздуха, концентрация которого может сильно варьироваться в зависимости от местоположения. Годовой объём выпуска бензола в России составляет $1,3 \text{ млн тонн}$, из них около 75% приходится на предприятия нефтепереработки и нефтехимии [5]. По итогам 2023 года Приволжский федеральный округ явился основным производителем бензола в России. На него пришлось 61% отечественного производства, что составило 801 тыс. тонн . Второе место занял Сибирский федеральный округ – $19,1\%$ с объёмом 251 тыс. тонн . В совокупности на эти федеральные округа пришлось $80,1\%$ объёма производства.

Основными природными источниками бензола являются нефть и каменноугольная смола. Выбросы бензола наблюдаются при переработке сырой нефти, в химической промышленности, а также при сжигании нефти и угля. Бензол также испаряется с парами некоторых химических продуктов. Его можно найти в моющих средствах, пестицидах, смолах, красителях, красках, клеях и полиролях для мебели или полов [6, 7].

Согласно гигиеническим нормативам (ГН 2.2.5.686-98) предельно допустимая концентрация (ПДК) в воздухе рабочей зоны составляет 15 мг/м^3 , а среднесменная – 5 мг/м^3 . Для атмосферного воздуха населенных мест СанПиН 1.2.3685-21 устанавливает максимальную разовую ПДК $0,3 \text{ мг/м}^3$ и среднесуточную $0,06 \text{ мг/м}^3$. Контроль безопасности потребительских товаров в отношении бензола осуществляется в соответствии с Едиными санитарными требованиями, которые ограничивают допустимое выделение этого вещества из различных материалов в моделируемые среды. Такие нормы направлены на снижение поступления бензола в воздух помещений из изделий бытового назначения, включая пластики, клеи, лакокрасочные покрытия и другие объекты, способные выделять летучие органические соединения.

Для определения бензола в объектах окружающей среды (воздух, вода, почва) используются методы газовой хроматографии, высокопроизводительная жидкая хроматография и твердофазная микроэкстракция. Твердофазная

микроэкстракция – это простой и удобный метод обнаружения бензола, но менее чувствителен, чем газовая хроматография и высокопроизводительная жидкая хроматография, и он может не подходить для обнаружения бензола при очень низких концентрациях. Например, для анализа воздуха рабочей зоны и атмосферного воздуха применяются методики, утвержденные в государственных стандартах (таких как ГОСТ 12.1.005-88 для воздуха рабочей зоны) и руководствах по контролю загрязнения атмосферы. Проведенный комплексный анализ позволяет утверждать, что бензол остаётся одним из значимых токсикантов техногенного происхождения, оказывающих воздействие на качество атмосферного воздуха и здоровье населения. Нормативно установленные предельная допустимая концентрация, а также методическое обеспечение контроля позволяют выявлять и регулировать содержание бензола в различных объектах среды. Его опасность связана с высокой токсичностью и количеством источников распространения.

Библиографический список

1. Малофеев Р.Е., Кудакаев М.В., Тараканов Д.А. Инструментарий оценки уровня опасностей в техносфере // Наука, образование, производство для противодействия техногенным угрозам и решения экологических проблем (Техносферная безопасность-2025): материалы XXII Международной научно-практической конференции. 2025. С. 127-131. EDN APVYWP.

2. Ахметова В.А., Тараканов Д.А., Максютлов А.М., Гиззатуллина И.И. Оценка загрязнения атмосферного воздуха на приаэродромной территории // Перспективы экологического развития России и стран СНГ: материалы 6-й Международной научно-практической конференции, проводимой в рамках XXIII Уральской горно-промышленной декады. 2025. С. 19-20. EDN BIYTAO.

3. Гиззатуллина И.И., Тараканов Д.А., Максютлов А.М., Кузнецова В.К. Влияние выбросов химических веществ на окружающую среду при пожарах на нефтеперерабатывающих заводах в Республике Башкортостан // Перспективы экологического развития России и стран СНГ: материалы 6-й Международной научно-практической конференции, проводимой в рамках XXIII Уральской горно-промышленной декады. 2025. С. 21-23. EDN LINTAJ.

4. Paustenbach D.J., Bass R.D., Price P. Benzene toxicity and risk assessment, 1972-1992. Implications for future regulation. Environmental Health Perspectives Supplements, 1993, С. 177-200.

5. Литвинцев Ю.И., Трапезников Е.Г. Анализ российского рынка бензола // Сборник научных трудов ангарского государственного технического университета. 2024. №1.

6. Быковский Н.А., Кантор Е.А., Малкова М.А. Сточные воды производства изделий из титана - сырье для получения $Ti(OH)_4$, NaOH и HCl // Экология и промышленность России. 2021. Т. 25, № 2. С. 8-11.

7. Бензол – характеристика и возникновение [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://doktortoday.ru/blog/view/benzol-kharakteristika-i-vozniknovenie-kakovy-simptomu-otравleniya-benzolom>. Дата обращения 14.11.25.

© Хайбуллина Я.И., Муртазин Д.А., 2025

Ф.Р. ХАМИТОВ

Khamitov-fidan@inbox.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **Э.С. НАСЫРОВА**

Уфимский университет науки и технологий

КОМПОНЕНТЫ СОСТАВА ПРИРОДНЫХ ВОД, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ КАЧЕСТВО ВОДНОГО ОБЪЕКТА

Аннотация: в данной статье рассмотрены факторы, формирующие компонентный состав воды в водных объектах. Качество воды городских водных объектов зависит как от природных, так и антропогенных факторов (сброс сточных вод, диффузные источники).

Ключевые слова: водный объект; качество; компонентный состав; загрязняющее вещество

Экологическое состояние водоемов, как природных компонентов природно-технических систем, обуславливает социальную привлекательность и эстетическое восприятие урбанизированной территории [1]. В тоже время городские водные объекты являются приемниками загрязняющих веществ, влияющих на формирование их качества и изменяющих их компонентный состав.

В природе вода в химически чистом состоянии не встречается, поскольку ее основная способность – растворять различные вещества. Из-за постоянного соприкосновения с разнообразными веществами в процессе круговорота, вода представляет собой сложный раствор. Состав воды в водном объекте зависит от вида и растворимости веществ, с которыми он соприкасается и от условий, в которых происходит взаимодействие.

Вернадский В.И. сравнивал каплю воды с микрокосмосом, поскольку в воде обнаружено около 90 стабильных химических элементов. Кларк Ф. утверждал, что закономерность распространения химических элементов может быть выявлена при анализе среднего химического состава земной коры. В честь этого американского химика Ферсман А.Е. предложил среднее содержание химического элемента в земной коре или в какой-либо ее части называть кларком. Распределение химических элементов в природных водах подчиняется геохимическим закономерностям:

– закон Оддо-Гаркина: уменьшение концентрации элементов наблюдается с увеличением порядкового номера в химической таблице Менделеева, а распространенность четных химических элементов, больше чем соседних нечетных. Ядра, содержащие 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126 протонов или нейтронов особенно устойчивы (магические числа). Наиболее устойчивы дважды магические ядра, содержащие магическое число и протонов и

– закон Ферсмана: распространённость химических элементов в земной коре зависит от их атомного (порядкового) номера (рис. 1).

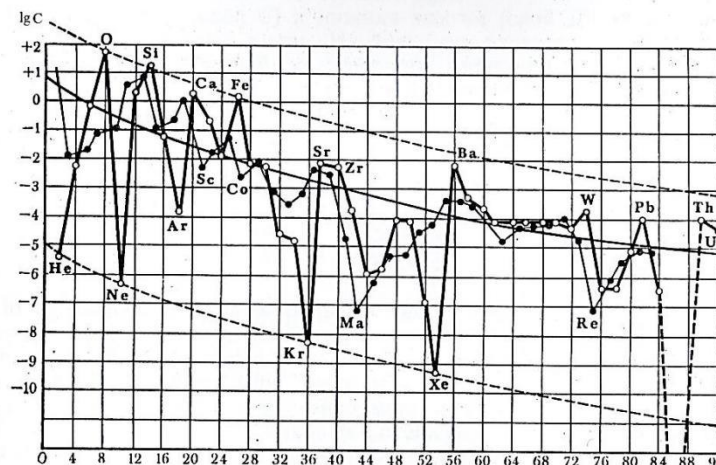


Рис. 1. Распространённость химических элементов в земной коре
(lg C – логарифмы атомных кларков по Ферсману) [2]

– основной закон геохимии Гольдшмидта: содержание химических элементов зависит от строения их атомного ядра, а их миграция – от строения электронных оболочек, которая определяет химические свойства элементов.

В природных водах химические элементы присутствуют как в виде простых (образованы атомами только одного химического элемента: H^+ , Mg^{2+} ; Cl^-) и сложных (образованы атомами хотя бы двух химических элементов: OH^- ; NH_4^+ , HCO_3^-) ионов.

Химические вещества и элементы в составе природных вод условно делят на шесть групп [3]: 1) главные ионы (макрокомпоненты); 2) растворенные газы; 3) биогенные вещества; 4) органические вещества; 5) микроэлементы (микрокомпоненты); 6) загрязняющие вещества – нефтепродукты, фенолы, пестициды, синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), детергенты и др. По агрегатному состоянию химические вещества в поверхностных водах чаще всего встречаются в виде коллоидов.

Кроме того, природная вода представляет собой многокомпонентную смесь изотопологов. Комбинации 5 стабильных изотопов водорода и кислорода дают набор 9 молекул-изотопологов воды. Изотопный состав воды водотоков показывает изменение во времени соотношения поступающих в реки осадков (в сутки на Землю выпадает 1,5 т тритиевой-дейтерированной воды) и подземных вод. При увеличении площади бассейна реки на изотопный состав воды оказывают воздействие поверхностный сток и испарение. Вода обогащается дейтерием там, где интенсивно идет испарение: обычная вода испаряется быстрее, чем тяжелая. Из-за этого в нее дейтерия меньше, чем в обычной воде.

Под воздействием природных и антропогенных факторов происходит

метаморфизация химического состава вод в водных объектах. Это процесс направленного изменения химического состава, сопровождающийся переходом состава воды в другой класс. Валяшко М.Г. ввел понятие прямой и обратной метаморфизации [4]. Например, от гидрокарбонатного к сульфатному, а затем к хлоридному – прямая. От хлоридного к сульфатному и далее к гидрокарбонатному – обратная. На малых озерах прослеживается прямая схема метаморфизации вод по механизму испарительного концентрирования, когда с увеличением карбонатности возрастают содержания SO_4^{2-} , Cl^- и pH. Причиной метаморфизации является смешение воды различных типов. Данное явление наблюдается при впадении водотока в водоем: река в озеро или река в водохранилище, либо при слиянии нескольких водотоков (например, слияние рек Волга и Ока в Нижнем Новгороде).

Наличие загрязняющих веществ в составе вод водных объектов обуславливает их класс качества и пригодность для конкретных целей водопользования. Основная водная артерия Республики Башкортостана – река Белая. Качество вод и компонентный состав р. Белая формируется как под влиянием природных факторов, так и антропогенных. основными источниками негативного воздействия на реку Белая являются сточные воды предприятий жилищно-коммунального хозяйства, черной металлургии, химической, нефтехимической, нефтедобывающей, лесозаготовительной, деревообрабатывающей, машиностроительной и металлообрабатывающей отраслей экономики, а также диффузные источники (территория предприятий, сельхозугодия и населенные пункты). В 2024 году качество воды р. Белая в преобладающем числе створов характеризовалось 3-м классом. Перечень характерных загрязняющих веществ р. Белая включал органические вещества по (ХПК и БПК₅), соединения железа и марганца, также хлориды, сульфаты, фенолы, нефтепродукты, соединения цинка, меди и никеля [5].

Библиографический список

1. Кальсин Н.А., Насырова Э.С. Геоэкологические опасности природно-технических систем // Устойчивость природных ландшафтов и их компонентов к внешнему воздействию: сборник материалов Международной научно-практической конференции, Грозный, 18–19 октября 2024 года. Грозный: Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова, 2024. С. 237-241.

2. Геохимия биосферы [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.kgau.ru/distance/ebtf_01/mahlaev/geohimiya-bad/index.html. Дата обращения 08.11.2025.

3. Никаноров А.М. Гидрохимия. СпБ.: Гидрометеиздат, 2001. 231 с.

4. Романова С.Г., Пономаренко О.И. Особенности химического состава воды водохранилищ, сооруженных на реках // Гидрометеорология и экология. 2015. №2. С. 109-120.

5. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2024 году,

© Хамитов Ф.Р., 2025

Ф.Р. ХАМИТОВ

Khamitov-fidan@inbox.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **Э.С. НАСЫРОВА**

Уфимский университет науки и технологий

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ХИМИЧЕСКОМУ СОСТАВУ ВОДЫ

Аннотация: в данной статье рассмотрены способы визуализации химического состава воды для определения гидрохимического типа. Основными формами графического представления состава воды являются формула Курлова, столбчатая диаграмма, треугольник Фере, круг Толстихина и график Пайпера.

Ключевые слова: водный объект; химический состав; качество

Качество водного объекта – это свойства вод, сформированные в процессе химических, физических и биологических процессов, как в водном объекте, так и на водосборе. Оценка качества водных объектов заключается в установлении через систему показателей соответствия требованиям водопользования [1,2]. В Российской Федерации выделяют более 10 видов водопользований (промышленные нужды, орошение, сброс сточных вод и т.д.).

Химический состав определяет качество воды и представлен главными ионами (макрокомпонентами), разделяемыми на анионы и катионы. Наличие определенного иона указывает на его источник поступления: естественный или антропогенный. Например, поступление сточных вод с предприятий химической, силикатной, содовой промышленности приведет к увеличению карбонат ионов в воде; коммунально-бытовые сточные воды и сточные воды нефтеперерабатывающих заводов – хлорид ион. Следует отметить, что источником поступления хлорид ионов являются также текстильная промышленность, где для отбеливания тканей используют гипохлорит натрия, и кожевенные заводы – здесь происходит вымывание поваренной соли, используемой для консервирования солевым методом шкур крупного рогатого скота.

Химический состав воды, как поверхностных, так и подземных водных объектов обычно представляется формульным способом и графическим методом, для лучшего восприятия информации и емкого представления информации. Например, основным видом интерпретации химического состава воды является формула Курлова М.Г., выраженная в виде псевдодробей. Например:

$$pH 7,8 \quad M 0,099 \quad \frac{HCO_3^- 78 SO_4^{2-} 15}{Ca^{2+} 73 Mg^{2+} 23}$$

Вода слабощелочная, ультрапресная гидрокарбонатно-кальциевая. По pH класс качества воды – чистая.

Графически химический состав воды может быть представлен столбчатой диаграммой, треугольником Ферре, кругом Толстихина и др. Для построения столбчатой диаграммы в соответствующем масштабе вычерчивается прямоугольник, разделяемый на две равные части по длинной стороне. С левой стороны в масштабе откладывают в процент-эквивалентах катионы, а с правой точно так же – содержание анионов в убывающем порядке. Общая минерализация воды приводится под диаграммой. Построим столбчатую диаграмму состава воды, соответствующей формуле Курлова (рис. 1а).

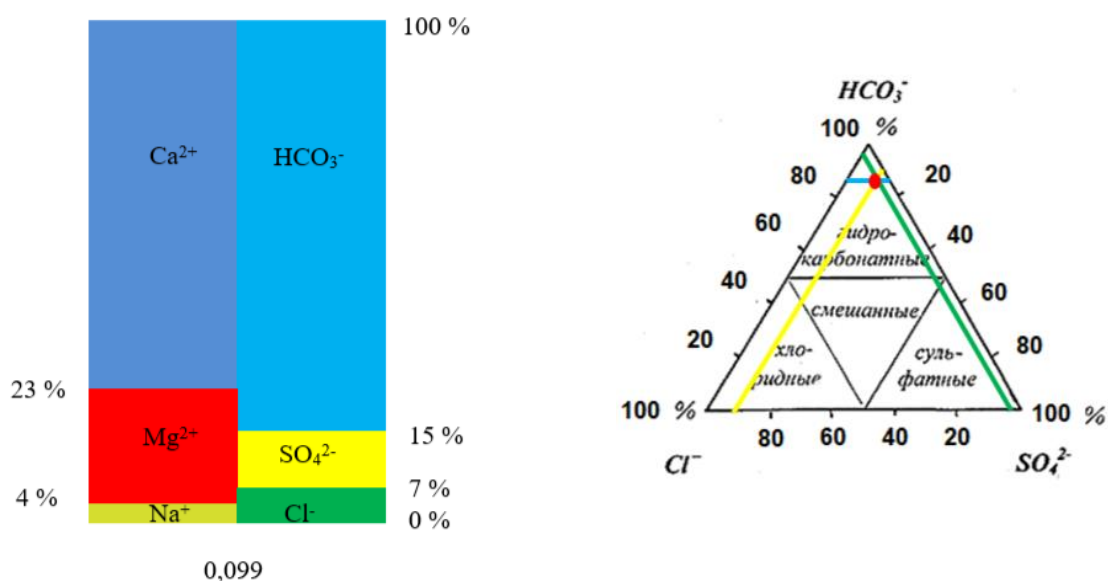


Рис. 1. Графическая интерпретация химического состава воды в виде:
а) столбчатой диаграммы; б) треугольника Ферре

Участки столбчатой диаграммы, соответствующие содержанию разных ионов, закрашивают цветом соответствующему аниону/катиону: HCO₃⁻ – голубой, SO₄²⁻ – желтый, Cl⁻ – зеленый; Ca²⁺ – синий, Mg²⁺ – красный, (Na⁺+K⁺) – зеленовато-желтый.

Треугольник Ферре изображают отдельно для анионов и катионов. В каждом треугольнике отмечается точка, характеризующая состав воды. Например, состав воды: Cl⁻ 3 %; HCO₃⁻ 85 %; SO₄²⁻ 12 % приведен на рис. 1б. Как видно из рис. 1б, вода по данному химическому составу является гидрокарбонатной.

Толстихин Н.И. предложил для описания химического состава воды использовать круг, разделенный на две половины вертикальным диаметром. В каждой из половинок круга выделяются секторы, соответствующие

процентам количества вещества эквивалентов в одной половине анионов, в другой катионов.

Зарубежные исследователи используют аналогичный треугольнику Фере – график Пайпера (Piper graph) (рис. 2).

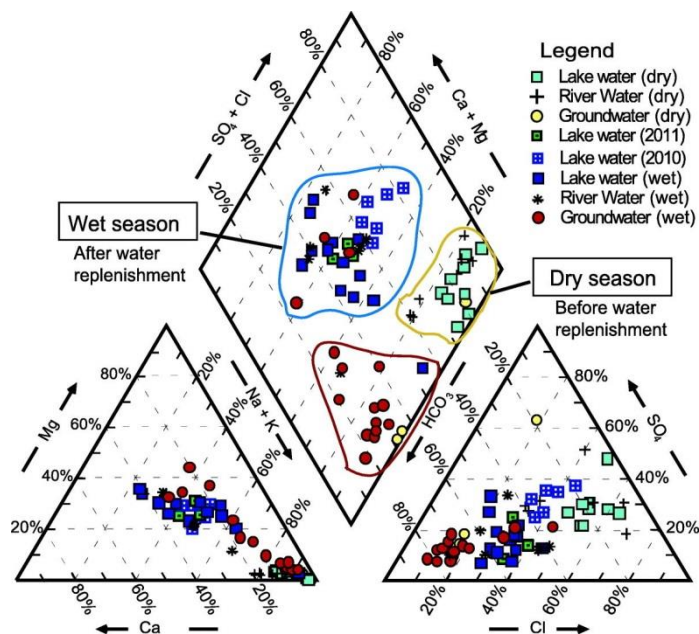


Рис. 2. Пример графика Пайпера [3]

График Пайпера включает три компонента – два треугольника и центральный ромбовидный график – для отображения относительного процентного содержания основных катионов (кальций, магний, натрий) и анионов (бикарбонат, сульфат, хлорид).

Таким образом, в настоящее время существуют различные способы визуализации химического способа воды для дальнейшего определения гидрохимического типа воды и качества водного объекта.

Библиографический список

1. Кальсин Н.А., Насырова Э.С. Геоэкологические опасности природно-технических систем // Устойчивость природных ландшафтов и их компонентов к внешнему воздействию: сборник материалов Международной научно-практической конференции, Грозный, 18–19 октября 2024 года. Грозный: Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова, 2024. С. 237-241.
2. Быковский Н.А., Пучкова Л.Н., Фанакова Н.Н. Очистка сточных вод от нефтепродуктов отстаиванием // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2022. № 3(137). С. 192-199. DOI 10.17122/ntj-oil-2022-3-192-199.
3. Zhao Y., Han J., Zhang B., Gong J. Impact of transferred water on the hydrochemistry and water quality of surface water and groundwater in Baiyangdian Lake, North China // Geoscience Frontiers. 2021. Т. 12. №. 3. С. 101086.

© Хамитов Ф.Р., 2025

А.А. ХАНАФИН

amirkhanafin@gmail.com

Науч. руковод. – асс. **Д.В. АЛЕКСАНДРОВ**

Уфимский университет науки и технологий

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПОЧВАХ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЕПРОДУКТАМИ

Аннотация: в статье рассмотрена экологическая роль микробных сообществ в нефтезагрязненных почвах. Проанализированы механизмы биodeградации углеводов, ферментные системы нефтедеструкторов, их таксономическое разнообразие и взаимодействие с растениями. Показаны факторы, влияющие на активность микробиоты, и перспективы применения микробных консорциумов в управляемой рекультивации.

Ключевые слова: нефтезагрязнение; микроорганизмы-деструкторы; биodeградация; ферментные системы; ризосфера; микробный консорциум; почвенная микробиота; экологическое восстановление

Микроорганизмы являются ключевым компонентом геоэкологических систем и выполняют важнейшую роль в трансформации органического вещества, круговороте углерода и поддержании плодородия почв. При загрязнении нефтепродуктами именно микробиота первой реагирует на изменение среды, демонстрируя адаптационные механизмы и способность к деградации углеводов.

Нефтезагрязнение резко снижает разнообразие микробных сообществ, однако в течение нескольких недель начинается формирование специализированных популяций – нефтедеструкторов, обладающих ферментными системами, способными разрушать сложные органические соединения. Понимание закономерностей этих процессов лежит в основе современных технологий биоремедиации и оценки устойчивости экосистем [1, 2].

Почвенные микроорганизмы осуществляют биохимическое звено глобального углеводородного цикла, регулируя миграцию и трансформацию нефти и ее производных. Основные функции микробиоты в загрязненных почвах:

разрушение углеводов (деструкция нефти, масел, полициклических ароматических углеводов);

минерализация органических остатков;

стабилизация азотного и серного циклов;

детоксикация среды и поддержание окислительно-восстановительного баланса.

При низких концентрациях нефти наблюдается стимулирующий эффект: рост численности отдельных сапротрофных и углеводородоокисляющих форм, адаптированных к новым условиям. При высоких – массовая гибель чувствительных видов и формирование монотипных консорциумов.

Биодеградация нефти – это последовательный процесс окислительно-восстановительных реакций, протекающих при участии специфических ферментных систем.

Основные стадии:

Адсорбция углеводородных молекул на клеточной поверхности.

Активация посредством монооксигеназ и диоксигеназ.

Расщепление цепей углеводородов до спиртов, альдегидов и кислот.

Полное окисление до углекислого газа и воды (таблица 1).

Эти процессы реализуются аэробно (при наличии кислорода) или анаэробно – с использованием нитратов, сульфатов и железа (III) в качестве акцепторов электронов.

Таблица 1

Основные ферментные системы нефтедеструкторов и их функции

Фермент	Тип реакции	Основные субстраты	Продукты трансформации
Монооксигеназы	Введение атома кислорода в молекулу	Алканы, алкены	Спирты, кетоны
Диоксигеназы	Полное окисление кольцевых структур	ПАУ, ароматические соединения	Диолы, карбоновые кислоты
Дегидрогеназы	Перенос электронов, дегидрирование	Спирты, альдегиды	Кислоты, CO ₂
Каталазы, пероксидазы	Нейтрализация активных форм кислорода	Переокиси, радикалы	Вода, O ₂

Активность этих ферментов определяется температурой, pH, влажностью и наличием минеральных элементов (азота, фосфора, магния). При оптимальных условиях скорость деградации нефти достигает 70–90 % за 1-2 месяца.

В природных и техногенных почвах нефтедеструкцию осуществляют микроорганизмы нескольких таксономических групп.

Бактерии:

Pseudomonas – активно окисляют алифатические и ароматические углеводороды;

Rhodococcus – способны к деструкции тяжелых фракций нефти и асфальтенов;

Bacillus, *Micrococcus*, *Mycobacterium* – устойчивы к токсичным соединениям;

Acinetobacter, *Alcanivorax* – продуцируют биосурфактанты, улучшающие

эмульгирование нефти.

Грибы:

Aspergillus, Penicillium, Fusarium, Candida – разрушают ПАУ и смолистые компоненты, образуя органические кислоты.

Актиномицеты выполняют промежуточную роль, связывая углеводороды с минеральной фазой и повышая биодоступность для других микробов [3].

Особое значение имеют ризосферные сообщества – микроорганизмы, живущие в зоне корней растений. Корневые выделения (углеводы, аминокислоты, фенольные соединения) служат субстратом для микробов и стимулируют их активность.

Растения, в свою очередь, получают пользу:

от снижения концентрации токсикантов в ризосфере;

от образования биосурфактантов, повышающих доступность питательных веществ;

от стимуляции микоризных связей, улучшающих водный обмен.

Этот растительно-микробный симбиоз формирует основу природного механизма фитобиоремедиации и играет ключевую роль в финальной стадии восстановления почвенного покрова.

На эффективность микробиологического самоочищения влияют:

температура (оптимум 20–30 °С);

влажность (60–80 % от полной влагоемкости);

рН среды (нейтральное или слабощелочное);

соотношение С:N:P = 100:10:1, обеспечивающее сбалансированное питание;

аэрация и пористость почвы, способствующие кислородному обмену.

Недостаток одного из факторов может полностью подавить микробиологическую активность, поэтому при рекультивации часто используют биостимуляцию — внесение минеральных удобрений, азотных солей и компостов.

Современные исследования направлены на создание искусственных консорциумов из нескольких видов нефтедеструкторов, дополняющих друг друга по спектру субстратов и устойчивости к токсическим условиям.

Преимущества таких систем:

устойчивость к колебаниям температуры и рН;

одновременная деградация алифатических и ароматических углеводов;

возможность закрепления на сорбентах и биоугле для пролонгированного действия.

Создание таких биоценозов открывает путь к адаптивной биотехнологии рекультивации, ориентированной на конкретные типы почв и климатические условия.

Микробиологические процессы являются основой естественного восстановления нефтезагрязненных почв. Активность нефтедеструкторов обеспечивает разрушение углеводов, восстановление биогеохимических

циклов и нормализацию экологических функций экосистемы. Комбинирование естественных сообществ с искусственными консорциумами позволяет управлять процессом самоочищения и существенно сокращать сроки рекультивации.

Микробиота выступает не только агентом деструкции, но и индикатором экологического состояния почв, что делает микробиологические методы ключевым направлением в геоэкологической оценке.

Библиографический список

1. Геоэкологическая оценка особенностей фиторемедиации при использовании *Falloria sachalinensis* в условиях антропогенного загрязнения тяжелыми металлами почв Башкирского Зауралья / Е.Н. Елизарьева, А.А. Фахертдинова, А. Н. Елизарьев [и др.] // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2022. Т. 42. С. 41-57. DOI 10.26516/2073-3402.2022.42.41.

2. Оценка применимости фиторемедиационных методов восстановления территорий, загрязненных различными типами нефтепродуктов / Р. Р. Хужина, Э. В. Нафикова, Д. В. Александров // Наука, образование, производство для противодействия техногенным угрозам и решения экологических проблем (Техносферная безопасность- 2025): материалы XXII Международной научно-практической конференции, Уфа, 06 мая 2025 года. Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2025. С. 191-196.

3. Александров Д.В. Технологии природоприближенного восстановления антропогенно-нарушенных земель и оценка их эффективности (на основе биоугля и микоризы) // Проблемы техносферной и экологической безопасности в промышленности, строительстве и городском хозяйстве: материалы III Международной научной конференции, Макеевка, 13 февраля 2025 года. Макеевка: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», 2025. С. 355-358.

© Ханафин А.А., 2025

А.А. ХАНАФИН

amirkhanafin@gmail.com

Науч. руковод. – асс. **Д.В. АЛЕКСАНДРОВ**

Уфимский университет науки и технологий

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ИНДЕКСЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЁННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Аннотация: в статье рассмотрены интегральные методы оценки эффективности рекультивации нефтезагрязнённых земель. Приведены химические, биологические и комбинированные индексы, предложены подходы к их интеграции и пространственному анализу с использованием ГИС. Показаны перспективы автоматизации расчётов и создания цифровых систем экологического мониторинга.

Ключевые слова: нефтезагрязнение; рекультивация; интегральный индекс; фитотоксичность; ГИС; мониторинг; оценка эффективности; цифровая экология

Современная геоэкологическая практика требует не только проведения мероприятий по восстановлению нефтезагрязнённых территорий, но и объективной оценки их эффективности. Восстановление почв — сложный процесс, включающий физико-химические, биологические и ландшафтные аспекты.

Для комплексного контроля динамики состояния экосистемы применяются интегральные индексы, объединяющие результаты химических, биологических и дистанционных наблюдений в единую числовую характеристику.

Такие показатели позволяют количественно оценивать прогресс рекультивации, сравнивать участки между собой и прогнозировать сроки достижения устойчивого состояния [1].

Традиционные критерии, основанные только на снижении концентрации нефтепродуктов или восстановлении растительности, не отражают всей совокупности происходящих процессов. Например, почва может содержать остаточные загрязнения при внешне нормальном травостое, либо наоборот — иметь визуальные признаки восстановления при сохранении токсического фона.

Поэтому разработка интегральных индексов, учитывающих многопараметрические данные, стала необходимым направлением развития экологического мониторинга.

Первая группа методов основана на измерении остаточного содержания нефтепродуктов и других химических веществ.

Некоторые индексы приведены в табл. 1.

Таблица 1

Примеры химических индексов для оценки состояния почв

Индекс	Учитываемые показатели	Диапазон значений	Экологическая интерпретация
ИЗН	Содержание нефтепродуктов	0–>5	<1 – норма, >3 – сильное загрязнение
It	Фоновый/фактический уровень токсикантов	0–10	>5 – высокая токсичность
Іхн	Совокупность нефтепродуктов, фенолов, солей	0–100	Интегральная оценка химической нагрузки
ИЭГ	рН, нефть, соли, БПК	0–1	0,8–1 – восстановленная система

Биологические методы позволяют оценить реакцию живых организмов на остаточную токсичность почвы.

Наиболее часто используются биотесты с растениями и микроорганизмами, результаты которых сводятся к обобщённым индексам.

Основные показатели:

Индекс фитотоксичности (ИФТ) – отношение биомассы или длины побегов в опыте к контролю;

Индекс биопродуктивности (ИБП) – отношение прироста биомассы в рекультивированной почве к эталонной;

Биоиндикаторный коэффициент (Кб) – отношение числа всхожих семян или скорости прорастания.

Для комплексной оценки создаются интегральные индексы, объединяющие химические и биологические данные. Один из подходов – нормирование всех показателей по шкале 0–1 и последующее усреднение с весовыми коэффициентами.

Современные исследования всё чаще используют геоинформационные технологии (ГИС) для пространственного анализа результатов рекультивации. С их помощью можно объединять данные полевых наблюдений, дистанционного зондирования и лабораторных анализов [2,3].

Основные направления:

построение карт концентраций нефтепродуктов и индексов токсичности; интерполяция методом кригинга и IDW для выявления зон остаточного загрязнения;

анализ взаимосвязей между геоморфологией и эффективностью рекультивации;

визуализация динамики восстановления в виде тепловых карт.

Следующий этап развития методик – переход к интеллектуальным системам анализа данных:

автоматическая обработка спутниковых изображений (Sentinel, Landsat) для расчёта NDVI, NBR, GCI;

использование нейронных сетей для прогнозирования темпов

восстановления;

интеграция лабораторных и дистанционных данных в единую базу наблюдений.

Создание цифрового индекса рекультивации (ЦИР), включающего химические, биологические и пространственные параметры, позволяет объективно контролировать процесс восстановления в режиме реального времени.

Интегральные индексы являются универсальным инструментом количественной оценки состояния нефтезагрязнённых земель. Их применение позволяет объединить данные различной природы и получить обобщённую картину эффективности рекультивации. Современные тенденции включают переход к ГИС-моделированию и цифровым системам мониторинга, обеспечивающим объективность, прозрачность и воспроизводимость результатов. Таким образом, использование комплексных индексов формирует основу научно обоснованного управления процессом экологического восстановления.

Библиографический список

1. Геоэкологическая оценка особенностей фиторемедиации при использовании *Falloria sachalinensis* в условиях антропогенного загрязнения тяжёлыми металлами почв Башкирского Зауралья / Е.Н. Елизарьева, А.А. Фахертдинова, А.Н. Елизарьев [и др.] // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2022. Т. 42. С. 41-57. DOI 10.26516/2073-3402.2022.42.41.

2. Александров Д.В. Системный подход к рекультивации нефтезагрязнённых территорий с учетом геоэкологической дифференциации (на примере Республики Башкортостан) // Экология промышленного производства. 2025. № 3(131). С. 20-26. DOI 10.52190/2073-2589_2025_3_20.

3. Пространственный анализ разливов нефти и нефтепродуктов на территории Республики Башкортостан с использованием геоинформационных систем / Д.В. Александров, Э.В. Нафикова, А.А. Асылбекова [и др.] // Экология и промышленность России. 2025. Т. 29, № 10. С. 60-66. – DOI 10.18412/1816-0395-2025-10-60-66.

© Ханафин А.А., 2025

А.А. ЧАШНИКОВА

mayerange20@gmail.com

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **Э.С. НАСЫРОВА**

Уфимский университет науки и технологий

МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ПЕСКА ОТ МАЗУТА

Аннотация: в данной статье рассматриваются основные методы очистки песка после аварийного разлива мазута. Установлено, что самыми распространенными методами очистки являются механические, физические и химические методы. Рассматриваются современная технология очистки замазученного песка и схема установки.

Ключевые слова: нефтепродукт; мазут; песок; разлив; метод; технология

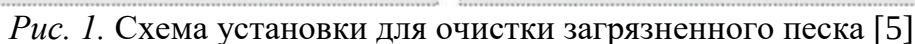
При перевозке, хранении или использовании различных нефтепродуктов, в том числе, мазута могут произойти аварийный разливы на суше или акватории [1,2]. Аварийный разлив мазута на акватории приводит к загрязнению как водной толщи, так и прибрежной части, представленной в основном, песком. Например, в 2024 году в результате инцидентов с танкерами зарегистрировано шесть крупных разливов (>700 тонн) и четыре средних разлива (7-700 тонн). Крупные разливы, в основном связанные с мазутом, произошли в Южной Америке, Азии и Европе. Будучи тяжелой и плотной фракцией нефти, мазут глубоко проникает в песок, не испаряясь, и создает стойкие зоны загрязнения [3]. Его сложно удалить, а полное разложение в природе занимает десятки лет.

Существует множество методов, направленных на очистку загрязненного песка после аварийного разлива мазута. В настоящее время активно изучаются физико-химические технологии очистки. Выбор наиболее подходящего метода определяется его спецификой и условиями конкретного аварийного разлива [4]. Далее рассмотрим подробнее каждый из этих методов.

Применение механических методов для очистки песка заключается в удалении видимых загрязнений, таких как слой мазута, путем его сбора. Этот метод самый простой и универсальный и выступает в роли предварительного этапа перед применением других, более сложных технологий. Он наиболее результативен на ранних стадиях разлива, когда толщина пленки мазута максимальна. Недостатком является образование больших объемов отходов, требующих утилизации.

Для физической очистки песка применяют метод просеивания. Песок пропускают через сита, чтобы отделить крупные фракции. Например, песок лопатами скидывают на строительное сито, где песок просыпается сквозь ячейки, а более крупные куски мазута остаются на поверхности.

Полноценная очистка замазученного песка осуществляется с использованием различных оборудования и процессов. Рассмотрим подробнее одну из современных технологий очистки загрязненного песка. На рис. 1 представлена схема установки для очистки загрязненного песка.



Как видно из рис. 1, очистка загрязненного песка является сложным процессом, состоящим из трех стадий:

- на первой стадии используются механические методы, направленные на разделение замазученного песка на фракции;
- на второй стадии осуществляется промывка отделенного песка горячей водой в эжекторе-гидросместителе;
- на третьей стадии отделенная жидкая фаза направляется на очистку, а мазут отделяется.

Таким образом, очистка песка от нефтепродуктов является сложным и многообразным процессом. Эффективность такого процесса зависит от правильно подобранных методов очистки и грамотно распределенной с точки зрения дешевизны и высокой производительности процесса цепочки оборудования. Кроме того, необходимо подобрать методы очистки воды после промывки. В последнее время активно используется метод сорбции, реализуемый в виде адсорбера, с применением различных растительных отходов.

Библиографический список

1. Фаткуллин Д.Р., Тагиров И.Ф., Малышева Е.М. Причины аварий в нефтяной промышленности // Наука, образование, производство для противодействия техногенным угрозам и решения экологических проблем (Техносферная безопасность-2023): материалы XX Международной научно-практической конференции. Уфа, 2023. С. 33-36.

2. Амангильдин М.А., Насырова Э.С. Аварийные ситуации в нефтеперерабатывающей отрасли // Гражданская оборона и природно-технические системы: сборник статей по материалам XX Международной научно-практической конференции, Воронеж, 21 марта 2024 года. Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2024. С. 46-48.

3. Гафурова А.Р., Александров Д.В., Нафикова Э.В. Оценка и прогнозирование миграции нефти и нефтепродуктов в окружающей среде // Современные проблемы охраны труда и окружающей среды: сборник трудов XXXV Международной научно-практической конференции, Химки, 26 февраля 2025 года. Химки: Академия гражданской защиты МЧС России им. генерал-лейтенанта Д.И. Михайлика, 2025. С. 78-86.

4. Кальсин Н.А., Насырова Э.С. Мероприятия по ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации: материалы IX международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Москва, 19–20 марта 2024 года. М.: Академия Государственной противопожарной службы, 2024. С. 95-97.

5. Современная методика очистки грунта и почвы от нефти и нефтепродуктов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://nefteshlamy.ru/tpost/byhk7j41s1-sovremennaya-metodika-ochistki-grunta-i>
Дата обращения: 03.11.2025.

© Чашникова А.А., 2025

А.А. ЧАШНИКОВА

mayerange20@gmail.com

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **Э.С. НАСЫРОВА**

Уфимский университет науки и технологий

ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОД

Аннотация: в данной статье рассмотрены основные физико-географические факторы, формирующие качество водных объектов. Установлено что основными из них являются климат, рельеф, выветривание и почвы, разделяемые также на главные и второстепенные.

Ключевые слова: водный объект; качество воды; фактор

Основным фактором, обуславливающим состав вод водных объектов по В.И. Вернадскому, является географическая (ландшафтная) зона. Каждая географическая зона характеризуется специфичным течением атмосферных физических процессов или климатом, определенными условиями питания поверхностных вод, своеобразием почвообразовательных и внешних геоморфологических процессов, а также своими биоценозами.

На формирование химического состава вод водных объектов влияют антропогенные факторы [1,2] и природные факторы: физико-географические, геологические, гидрологические, физико-химические, биологические. Все эти факторы в свою очередь разделяются на: главные и второстепенные, прямые и косвенные. К прямым факторам относятся те, которые непосредственно влияют на состав воды (почвы и горные породы). Косвенные факторы действуют опосредованно, т.е. посредством прямых факторов. Они обуславливают условия, в которых протекает взаимодействие веществ с водой: климат, рельеф, гидрологический режим и др. Главные факторы отвечают за состав вод водных объектов, т.е. формируют конкретный гидрохимический тип, описываемый формулой Курлова. Второстепенные факторы способствуют появлению в воде компонентов, придающих конкретные особенности.

Физико-географические факторы формирования химического состава вод отображены на рис. 1. Рельеф относится к косвенным факторам. Он влияет на перераспределение выпавших осадков, размер поверхностного стока, солевой режим почв и заболоченность территории. На поверхностный сток отдельно воздействуют различные формы рельефа: макроформы (хребты, впадины), мезоформы (овраги, балки, долины рек) и микроформы (карстовые воронки, эрозионные рытвины, береговые валы). На возвышенностях поверхностный сток усиливается, а в пониженных формах замедляется с увеличением инфильтрации.

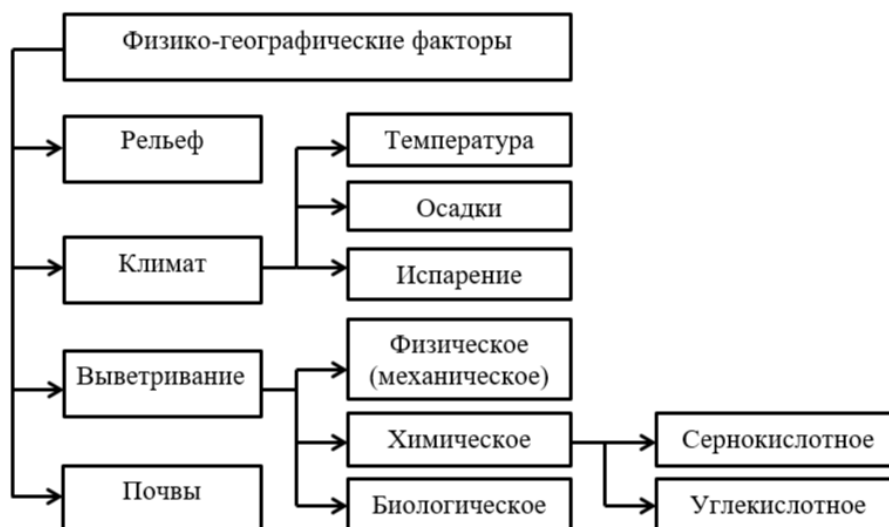


Рис. 1. Физико-географические факторы

В отличие от низменностей, интенсивность химического выноса растворенного материала в высокогорьях в 2-2,5 раза интенсивнее. Например, величина стока растворенных веществ в умеренном географическом поясе на низменности составляет $39,0 \text{ т/км}^2 \cdot \text{год}$, а в высоких горах (более 3000 м) – $124,5 \text{ т/км}^2 \cdot \text{год}$. С изменением высоты рельефа, особенно при переходе от равнин к горным областям, также изменяется величина поверхностного стока. Также увеличением поверхностного стока уменьшается минерализация рек.

К косвенным факторам относится также климат, который определяет метеорологические условия от которых зависит режим водных объектов. При выпадении большого количества осадков минерализация воды поверхностных водных объектов понижается за счет разбавления. При высоких температурах и небольшом количестве осадков возникает испарение, способствующее повышению минерализации воды, за счет образования солей в толще водного объекта. Например, гидрокарбонатные воды преобразуются сначала в сульфатные, а после в сульфатно-хлоридные – метаморфизация химического состава вод. Влияние испарения на гидрохимический состав вод выражено у водоёмов больше чем у водотоков. Например, в озерах г. Якутск установлена зависимость между количеством осадков и содержанием минеральных форм азота в озерах от объёма поступлений соединений N (суммарная концентрация $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$ в пересчете на N) из атмосферы [3].

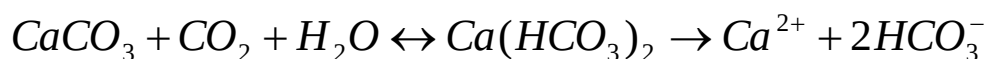
Химический состав вод изменяется и под влиянием низких температур. При кристаллизации льда выделяются труднорастворимые соединения. С температурой связано протекание внутриводоемных процессов, определяющих гидрохимический тип, например температурная стратификация водоема. Летом наибольшая температура воды наблюдается на поверхности водного объекта, что способствует интенсивному фотосинтезу, а зимой наоборот – на дне температура воды выше, чем у поверхности. Во время

продолжительных ветров, вызывающих сгоны в поверхностных слоях воды водоема появляется избыток растворенного кислорода. Данное явление называется гистерезисом, которое обусловлено подъемом холодных глубинных вод, нагревающихся быстрее, чем идет отдача избытка кислорода в атмосферу.

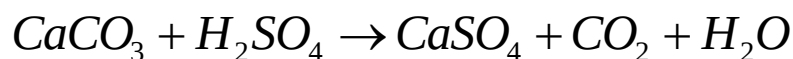
Выветривание – процесс разрушения горных пород земной поверхности под воздействием различных факторов. Физическое выветривание происходит из-за колебаний температуры и неравномерного нагревания пород. При отрицательных температурах разрушение пород происходит за счет расширения льда. Результатом физического выветривания является раздробление пород на обломки без изменения химического состава.

Химическое выветривание складывается из процессов растворения, гидролиза, гидратации и окисления. Выделяют два типа выветривания:

–углекислотное:



– сернокислотное:



Биологическое выветривание складывается из механического разрушения и химического изменения минералов под воздействием поселившихся организмов и их продуктов жизнедеятельности. Главный агент выветривания – растительность.

Влияние почвенного покрова на формирование гидрохимического состава вод зависит от типа почв. Например, если вода просачивается через бедные солями почвы, то она обогащается органическим веществом. Чернозем, каштановые и солончаковые почвы отдают больше солей, чем все остальные типы почв. Почва состоит из коллоидных частиц (мицелл), обладающих способностью адсорбировать заряженные ионы, преимущественно положительно заряженные ионы (катионы) – катионный обмен. Вернадский В.И. считал, что почвенные растворы определяют тип всех поверхностных вод.

Таким образом, все рассмотренные физико-географические факторы в совокупности формируют качество воды в водных объектах.

Библиографический список

1. Кальсин Н.А., Насырова Э.С. Геоэкологические опасности природно-технических систем // Устойчивость природных ландшафтов и их компонентов к внешнему воздействию: сборник материалов Международной научно-практической конференции, Грозный, 18–19 октября 2024 года. Грозный: Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова, 2024. С. 237-241.

2. Быковский Н.А., Пучкова Л.Н., Фанакова Н.Н. Очистка сточных вод от нефтепродуктов отстаиванием // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2022. № 3(137). С. 192-199. DOI 10.17122/ntj-oil-2022-3-192-199.

3. Седельникова А.Л., Макаров В.Н. Влияние атмосферных осадков на геохимию озерных систем г. Якутска // Наука и образование. 2016. №1. С. 48-51.

© Чашникова А.А., 2025

УДК 504.064.4

Д.С. ЧУРСИН

panarech@vk.com

Науч. руковод. – асс. **Я.Р. ШАЙХУЛИСЛАМОВ**

Уфимский университет науки и технологий

АНАЛИЗ ПОСЛЕДСТВИЙ РАЗЛИВОВ ФОТОПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПОЧВУ

Аннотация: авторами рассмотрено влияние фотополимерной смолы на почву, степень влияния на почвы – на микроорганизмы, беспозвоночных, а также на фитосферу. Описана степень негативного влияния на почву и грунтовые воды, приносимое фотополимерной смолой. Рассмотрены долгосрочные экологические последствия и факторы усугубляющие последствия разлива фотополимерной смолы на почву.

Ключевые слова: фотополимеры; полимеры; разлив; почва; земельные ресурсы; загрязнение; пластик; 3D-печать

Фотополимерные смолы при разливе в почву могут проникать в нижние слои почвы. Наибольшей объемной долей в смоле обладают низкомолекулярные вещества: мономеры, акрилаты, метакрилаты составляющие до 60-90% от веса смолы [1, 2], а также фотоинициаторы: фосфиноксид, гидроксиацетофеноны и бензофеноны составляющие 0,1-5,0% от веса смолы [1, 3]. Также в фотополимерной смоле содержатся добавляемые во время производства: пластификаторы, ингибиторы, стабилизаторы и пигменты [1, 4]. Разливы фотополимерных материалов на почву представляют собой новую и малоизученную экологическую угрозу, последствия которой требуют тщательного анализа и разработки эффективных стратегий ремедиации. В связи с этим, опыт, накопленный в области восстановления территорий, загрязненных нефтепродуктами, может быть полезен для понимания механизмов воздействия фотополимеров на почвенные экосистемы. В частности, фиторемедиация, показавшая свою эффективность в отношении нефтезагрязнений [5] может быть рассмотрена как потенциальный метод

очистки почв от фотополимеров. Важно учитывать роль геохимических барьеров в предотвращении распространения загрязняющих веществ [6], что может быть критично для локализации разливов фотополимеров. Для оценки экологического ущерба, вызванного попаданием фотополимерных материалов в почву, необходимо разрабатывать специализированные методики и программные инструменты [7], адаптированные к особенностям этих загрязнителей. Использование природных сорбентов [8] также может быть перспективным подходом для удаления фотополимеров из почвы, хотя требует предварительного изучения их сорбционных свойств по отношению к данным веществам.

Воздействие на почвенную биоту. Химическое воздействие полимеров оказывает прямое действие на почву и организмы в ней, нарушая способность организмов к нормальной жизнедеятельности и нарушая химический состав почв [6]. Фотополимеры после попадания в почву начинают подавлять микроорганизмы в связи с антимикробными свойствами мономеров и фотоинициаторов. Компоненты входящие в состав фотополимеров способны подавлять полезные бактерии отвечающие за разложение органики. Таким образом в процессе контакта с почвой это приводит к процессу омертвления земли [2, 9]. Также влияние на беспозвоночных – например на дождевых червей, являющихся ключевыми аэраторами, приводит к ухудшению качества почвы. В процессе загрязнения нарушаются репродуктивные функции червей, что приводит к уменьшению их популяции [10]. От веществ содержащихся в фотополимерах страдают ногохвостки, клещи и нематоды. Мелкие почвенные организмы погибают, что нарушает пищевую цепь и приводит к нарушению энергетического баланса экосистемы [9]. Отравление почвы почти полностью прекращает её жизнеспособность. Большая часть компонентов фотополимерных смол не являются легко биоразлагаемыми [3, 11]. Это означает, что они могут продолжительно оставаться внутри почвы, загрязняя поверхностный слой на продолжительный период [12]. Загрязнение почвы перетекает к грунтовым водам, а дождь пролонгирует воздействие загрязнителей путём их продвижения вглубь почвенного слоя, со временем распространяя их в близлежащие водоёмы [1,13]. Фотополимерные смолы при разливе подвергают фитосферу негативному воздействию, препятствуя прорастанию семян и повреждая корневые системы растений. Нарушается поглощение воды и питательных веществ корневой системы растений, что приводит к их гибели на загрязненном участке [9].

Факторы, усугубляющие последствия разлива. Из-за неполной полимеризации готовых изделий из фотополимерной смолы степень конверсии мономеров не превышает 55-60% [1]. Отсутствие естественного механизма очистки усугубляет проблему, связанную с разливом фотополимерных веществ так-как микроорганизмы в почве не приспособлены к разложению синтетических полимеров, в отличие от органических [11]. При попытке самостоятельной очистки неизбежно столкновение с проблемой проникновения жидкой фазы фотополимерной смолы в поры почвы, делая механическое

отделение почвы от смолы трудноисполнимым. Попытка очистки водой усиливает проникновение вредных веществ в глубины почвы ускоряя процесс загрязнения нижних слоёв почвы и грунтовых вод [13].

Фотополимерные смолы при попадании в почву, загрязняя. В состав фотополимерных смол входят небиоразлагаемые элементы: низкомолекулярные вещества, метакрилаты и фотоинициаторы. Разлив фотополимерных смол в почву является новым и малоизученным экологическим вызовом, требующим анализа и разработки стратегии по устранению. Для этого важно рассмотреть материалы в области восстановления нарушенных территорий, а также пути к очистке почвы от тяжелых металлов. Фотополимерные смолы оказывают губительное воздействие на почву, грунтовые воды и в последствии на ближайшие водоёмы. Разлив фотополимеров негативно влияет на химический баланс почв, уничтожая в процессе микроорганизмы и беспозвоночных. Из-за природы материалов фотополимерная смола не является биоразлагаемой, из-за чего может сохраняться в почве десятки лет. Также влиянию подвергается фитосфера, фотополимерные наслоения препятствуют росту новых растений и постепенно отравляет уже выросшие. Микроорганизмы не приспособлены к разложению материалов, содержащихся в фотополимерной смоле.

Разливы фотополимерных смол следует рассматривать как серьезный вызов с долгосрочными последствиями [12, 13]. В виде нарушения земельных ресурсов с тяжелыми последствиями для окружающей среды. Быстрого решения этой проблемы не существует, естественное восстановление проходит медленно из-за стойкости элементов входящих в состав фотополимерных смол [3, 11]. Как итог необходимо проводить дальнейшие исследования по деградации фотополимерных смол в почве и методах предотвращения и ликвидации фотополимерных разливов и их последствий.

Библиографический список

1. Carve M. 3D-Printed Chips: Compatibility of Additive Manufacturing Photopolymeric Substrata with Biological Applications / M. Carve, D. Wlodkowic // *Micromachines*. 2018. Vol. 9, № 2. P. 91. DOI: 10.3390/mi9020091.
2. Geurtsen W. Substances released from dental resin composites and glass ionomer cements // *European Journal of Oral Sciences*. 1998. Vol. 106, № 2. P. 687–695. DOI: 10.1111/j.1600-0722.1998.tb02185.x.
3. Safety Data Sheet: Diphenyl (2, 4, 6-trimethylbenzoyl) phosphine Oxide, version 5.4*. – USA: Sigma-Aldrich, 2016. 9 p.
4. Safety Data Sheet: Dental LT Clear. USA: Formlabs Inc., 2018. – 12 p.
5. Хужина Р.Р. Оценка применимости фиторемедиационных методов восстановления территорий, загрязненных различными типами нефтепродуктов / Р.Р. Хужина, Э.В. Нафикова, Д.В. Александров // *Наука, образование, производство для противодействия техногенным угрозам и решения экологических проблем (Техносферная безопасность – 2025): материалы XXII*

Международной научно-практической конференции, Уфа, 06 мая 2025 года. Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2025. С. 191-196.

6. Шаниязова А.Ф. Роль геохимических барьеров в защите окружающей среды / А.Ф. Шаниязова, Э.В. Нафикова // Мавлютовские чтения: материалы XVII Всероссийской молодёжной научной конференции. В 9-ти томах, Уфа, 21–23 ноября 2023 года. Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2024. С. 92-96.

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023617236 Российская Федерация. Размер вреда в результате загрязнения почв, возникшего при поступлении в почву загрязняющих веществ: № 2023616038: заявл. 28.03.2023: опубл. 06.04.2023 / Э.В. Нафикова, Д.В. Александров, А.Ф. Шаниязова, А.Н. Сидорова; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский университет науки и технологий». Тюрин, М. А. Перспективы использования минеральных природных сорбентов для очистки нефтезагрязненных почв /

8. Тюрин М.А., Нафикова Э.В. Перспективы использования минеральных природных сорбентов для очистки нефтезагрязненных почв // Наука, образование, производство для противодействия техногенным угрозам и решения экологических проблем (Техносферная безопасность- 2025): материалы XXII Международной научно-практической конференции, Уфа, 06 мая 2025 года. Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2025. С. 263-267.

9. Van Gestel C. A. M. Soil ecotoxicology: state of the art and future directions // ZooKeys. 2012. Vol. 176. P. 275-296. DOI: 10.3897/zookeys.176.2275.

10. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2: Effects on Biotic Systems Test No. 222: Earthworm Reproduction Test (*Eisenia fetida*/*Eisenia andrei*). – Paris: OECD Publishing, 2016. 23 p. DOI: 10.1787/9789264264496-en.

11. Lucas N. Polymer biodegradation: Mechanisms and estimation techniques / N. Lucas, C. Bienaime, C. Belloy et al. // Chemosphere. 2008. Vol. 73, № 4. P. 429-442. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2008.06.064.

12. Organic Pollutants in the Geosphere / ed. by J. Schwarzbauer, B. Jovančičević. Cham: Springer International Publishing, 2016. Vol. 1. 362 p.

13. Guidance on information requirements and chemical safety assessment: Chapter R.16: Environmental exposure estimation. Helsinki: European Chemicals Agency (ECHA), 2021. 130 p.

14. Aparicio J.L. Migration of photoinitiators in food packaging: a review / J. L. Aparicio, M. Elizalde // Packaging Technology and Science. 2015. Vol. 28, № 3. P. 181–203.

© Чурсин Д.С., 2025

Р.Р. ШАЙХУЛЛИНА

2003rozaliya2003@gmail.com

Науч. руковод. – канд. хим. наук, доцент **Н.В. КОСТРЮКОВА**

Уфимский университет науки и технологий

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНЫХ УСЛОВИЙ ТРУДА ДОЗИМЕТРИСТА

Аннотация: в работе рассмотрена проблема обеспечения безопасных условий труда для дозиметриста на предприятии. Проведен анализ условий труда, идентифицированы основные вредные и опасные факторы, так же предложен комплекс мероприятий, направленные на минимизацию воздействия негативных факторов и улучшение условий труда.

Ключевые слова: дозиметрист; условия труда; ионизирующее излучение; радиационная безопасность, специальная оценка условий труда, вредные производственные факторы; опасные производственные факторы

Анализ условий труда на рабочем месте дозиметриста на предприятии по производству источников ионизирующего излучения промышленного назначения является важным и актуальным вопросом в реалиях современной промышленности [1,2].

В функции дозиметриста в организации атомной отрасли входит [3]:

Выполнение индивидуального дозиметрического контроля облучения персонала организации;

Радиационный контроль зоны контролируемого доступа, санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения организации;

Обработка результатов радиационного контроля, санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения организации;

Организация надежной и безопасной эксплуатации технических средств радиационного контроля в организации;

Осуществление производственного контроля радиационной безопасности в организации атомной отрасли

Целью данной работы является разработка комплекса мероприятий по обеспечению безопасных условий труда на рабочем месте дозиметриста на предприятии по производству источников ионизирующего излучения.

В данной работе проанализирована система управления охраной труда в сфере атомной промышленности и ЯОК (ядерного оружейного комплекса) и произведен анализ производственного травматизма на предприятиях государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» (рис. 1).

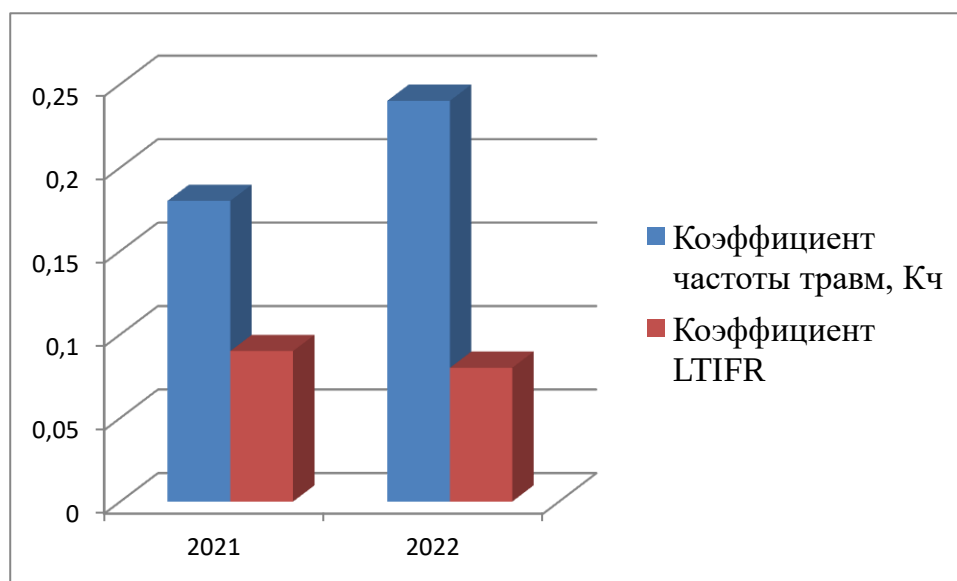


Рис. 1. Коэффициенты LTIFR и частоты травм в госкорпорации Росатом за 2021 и 2022 года

Идентифицированы основные вредные и опасные производственные факторы, характерные для работы на месте дозиметриста [2]:

1. Ионизирующее излучение;
2. Недостаточная освещенность рабочего места;
3. Шум и инфразвук;
4. Вибрация;
5. Неудовлетворительные параметры микроклимата.

Проведена специальная оценка условий труда дозиметриста (таблица 1) на предприятии по производству источников ионизирующего излучения промышленного назначения, в ходе которой установлен итоговый подкласс условий труда – вредный (3.3) [3].

Таблица 1

Оценка условий труда по вредным и опасным факторам

Наименование факторов производственной среды и трудового процесса	Класс (подкласс) условий труда	Нормативное значение	Фактическое значение
Химический	—	—	—
Биологический	—	—	—
Аэрозоли преимущественно фиброгенного действия	—	—	—
Шум, дБА	2	80	70
Инфразвук, дБ Лин	2	100	87
Ультразвук воздушный	—	—	—
Вибрация общая, дБ	2	115	73
Вибрация локальная	—	—	—
Неионизирующие излучения	—	—	—

Ионизирующие излучения, мЗв/год	3.3	5/37,5/125	35/170/530
Параметры микроклимата (температура в х.в.г/температура в т.в.г/скорость воздуха/влажность воздуха)	1	19-21/20-22/0,2/40-60	19/21/0,1/45
Параметры световой среды, лк	3.1	300	245
Тяжесть трудового процесса	2	–	–
Напряженность трудового процесса	2	–	–
Итоговый класс (подкласс) условий труда	3.3		

Класс условий труда 3.3-й относится к категории работ, в которых во время выполнения может быть причинён значительный ущерб для здоровья работников, обусловленный стрессовыми ситуациями, физическими или психическими нагрузками, вредными или опасными воздействиями. В данном классе условия труда могут негативно влиять на работоспособность и здоровье человека.

На основании специальной оценки условий труда разработан комплекс мероприятий по снижению воздействия основных производственных факторов на рабочего. В качестве технических мероприятий предлагается схема размещения светильников для обеспечения общего освещения (14 светодиодных светильников LTN Prom PL-2 IP-65 900x76x76), а также свинцовый защитный экран с толщиной 0,21 см для предотвращения избыточного ионизирующего излучения. Охарактеризован перечень выдаваемых средств индивидуальной защиты, предложены организационные мероприятия, в которые входят различные льготы и рекомендации по улучшению организации трудового процесса.

Библиографический список

1. Мартынова А.Д., Насырова Э.С., Радиационная обстановка на территории г.Уфа за 2014-2024 гг.// Наука, образование, производство для противодействия техногенным угрозам и решения экологических проблем (Техносферная безоасность-2025): материалы XXII Международной научно-практической конференции. 2025. С. 202-205.

2. Мартынова А.Д., Насырова Э.С., Радиоактивное загрязнение Республики Башкортостан цезием-137// Экологические чтения-2024: материалы XV Национальной научно-практической конференции. 2024. С. 572-575.

3. Приказ Минтруда и социальной защиты РФ от 4 февраля 2021 года № 41н «Об утверждении профессионального стандарта «Специалист по радиационному контролю атомной отрасли».

© Шайхуллина Р.Р., 2025

Р.Р. ШАЙХУЛЛИНА

2003rozaliya2003@gmail.com

Науч. руковод. – канд. хим. наук, доцент **Н.В. КОСТРЮКОВА**

Уфимский университет науки и технологий

ОСТЕКЛОВАНИЕ КАК ТЕХНОЛОГИЯ БЕЗОПАСНОГО ОБРАЩЕНИЯ С ВЫСОКОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ

Аннотация: в работе рассмотрена проблема обращения с отработавшим ядерным топливом и высокоактивными отходами в рамках российской атомной промышленности, построенной по принципу замкнутого ядерного цикла. Особое внимание уделено технологии остекловывания (витрификации) как одному из наиболее надежных и перспективных методов иммобилизации опасных отходов.

Ключевые слова: замкнутый ядерный цикл; отработавшее ядерное топливо; радиоактивные отходы; остекловывание; боросиликатное стекло; холодный тигель; геологическое захоронение; экологическая безопасность

Атомная промышленность России построена по принципу замкнутого ядерного цикла, целью которого является минимизация отходов и переработка отработавшего ядерного топлива (ОЯТ). Однако после использования на атомных станциях это топливо становится высокоактивным и требует безопасной транспортировки и утилизации. В связи с этим в России, как и в других странах, сохраняется проблема временного хранения ОЯТ, что сопряжено с серьезными экологическими и радиационными рисками [1].

Переработкой и временным хранением ОЯТ занимается предприятие «Маяк» (Челябинская область), где проводится глубокая переработка. Несмотря на проводимую глубокую переработку, полная утилизация топлива до сих пор не достигнута, поэтому существуют планы по созданию окончательных захоронений в геологических формациях. На литосферу основное воздействие оказывают радиоактивные отходы, которые делятся на твердые и жидкие и классифицируются по степени своей активности.

Особое внимание уделяется обращению с наиболее опасными – среднерадиоактивными и высокоактивными жидкими отходами. Перед захоронением они проходят критически важную стадию остекловывания (витрификации). Этот процесс является одним из наиболее надежных и перспективных способов длительного хранения и утилизации ядерных отходов, применяемым в мире более 40 лет [2].

Остекловывание имеет четыре важных преимущества по сравнению с другими технологиями обращения с отходами. Первым преимуществом является стабильность (прочность) иммобилизации отходов в стекле.

Существенно, что стекло исключительно устойчиво к выщелачиванию. Второе преимущество связано с возможностями иммобилизации в стекле самых различных материалов, причем внедрение в структуру стекла иммобилизуемых материалов может производиться без нарушения его качества. Третьим преимуществом является то, что остекловывание применимо как для неорганических, так и для органических материалов. Четвертым преимуществом является то, что при остекловывании может уменьшаться объем отходов. Технология остекловывания предполагает, однако, выполнение ряда условий или ограничений. Первое условие предполагает значительные энергозатраты на проведение работ, в том числе в виде электроэнергии. Второе ограничение может быть связано с летучестью отдельных видов загрязнителей. Так, например, в процессе остекловывания высокоактивных отходов после регенерации отработавшего ядерного топлива, продукты деления, такие как технеций-99 могут улетучиваться уже при температуре свыше 400 °C. Чтобы это предотвратить к отходам добавляют специальные примеси, уменьшающие летучесть некоторых радионуклидов.

После охлаждения и отвердевания стеклообразной матрицы она помещается в контейнеры из нержавеющей стали, которые оборудованы различными контролирующими устройствами. Коррозионная устойчивость данных контейнеров рассчитана на несколько тысяч лет. Далее контейнеры заключают в бетонные пеналы, после чего отправляются на захоронение. Высокоактивные отходы должны быть захоронены на большой глубине, более 500 метров.

Остекловывание высокоактивных отходов производят несколькими способами [3]. Для выбора метода остекловывания в таблице 1 приведена сравнительный анализ.

Таблица 1

Сравнительная таблица для методов остекловывания

Параметр	Холодный тигель	Горячий тигель	Метод прямого нагрева
Температура процесса, °C	До 1600	До 1100-1200	До 1300
Тип нагрева	Индукционный	Через нагретый тигель	Нагрев электродами в стекломассе
Контакт расплава со стенками	-	+	Электроды в расплаве
Устойчивость к коррозии	Высокая	Низкая	Средняя
Долговечность оборудования	Высокая	Низкая	Средняя
Сложность конструкции	Высокая	Низкая	Средняя
Энергозатраты	Высокие	Низкие	Средние
Производительность	Высокая	Низкая	Высокая
Универсальность по составу РАО	Широкая	Ограниченная	Ограниченная

Проанализировав таблицу 1 выбран метод остекловывания индукционной плавкой холодным тиглем. Благодаря своей высокой производительности, устойчивости оборудования к коррозии, универсальности относительно состава радиоактивного отхода, а также инновационной технологии нагрева этот метод отлично подходит для массовой переработки высокоактивных отходов в рамках процесса переработки ОЯТ. Для выбора стекла также была составлена сравнительная таблица 2.

Таблица 2

Сравнительная таблица для видов стекол

Параметр	Боросиликатное стекло	Алюмофосфатное стекло
Основной стеклообразователь	SiO ₂	P ₂ O ₅
Температура плавления, °C	1100-1200	800-1000
Радиохимическая стойкость	Очень высокая	Высокая
Стойкость к выщелачиванию	Лучшая	Хорошая
Максимальная вместимость РАО, %	До 25	До 40
Стойкость к температуре	Высокая	Средняя
Радиационная устойчивость	Высокая	Средняя
Предпочтительное использование	ВАО	Среднеактивные отходы (САО), низкоактивные отходы (НАО)

Для данного метода боросиликатное стекло является более предпочтительным вариантом, так как обладает более высокими характеристиками стойкости как при сдерживании активности отходов, так и при воздействии тепла или воды, что для остекловывания высокоактивных отходов невероятно важно, ведь в конечном итоге эти опасные вещества будут храниться в геологических формациях не одну тысячу лет [4].

Технологическая схема остекловывания представлена на рис. 1.

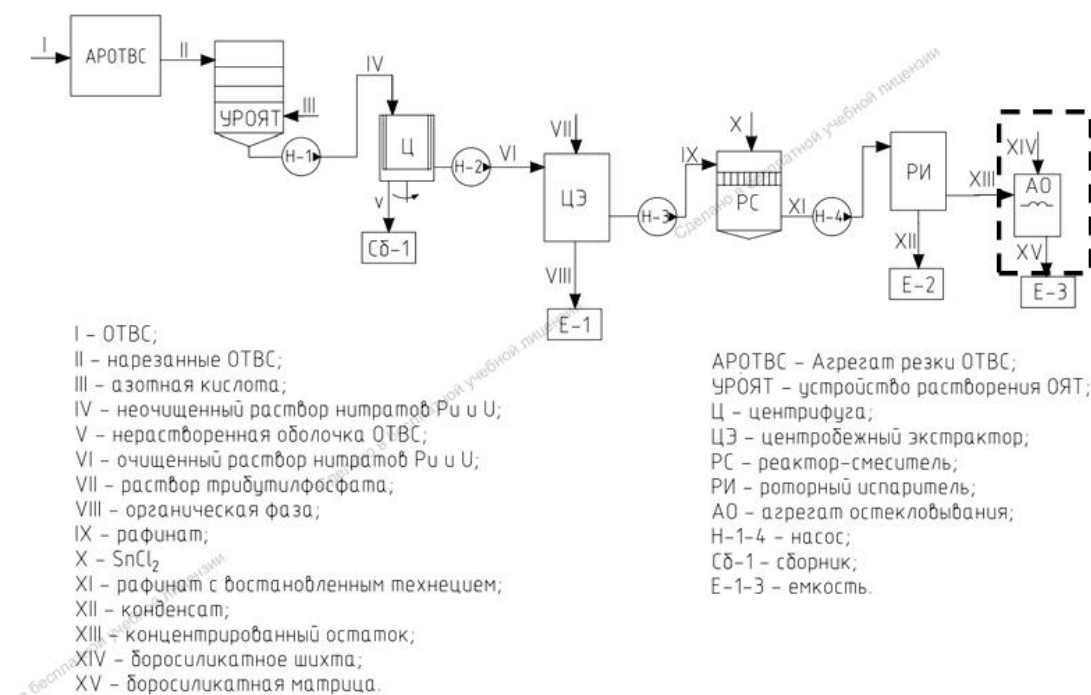


Рис. 1. Технологическая схема остекловывания

Таким образом, остекловывание радиоактивных отходов является одним из наиболее эффективных и надежных методов их долговременного хранения и утилизации в рамках замкнутого ядерного цикла России. Эта технология обеспечивает высокую стабильность, устойчивость к выщелачиванию, универсальность применения и возможность сокращения объема отходов. Несмотря на значительные энергозатраты и необходимость контроля летучих радионуклидов, использование методов, таких как индукционная плавка в холодном тигле, позволяет безопасно иммобилизовать опасные вещества в стеклянные матрицы. Дальнейшее размещение остеклованных отходов в специализированных контейнерах и их захоронение на большой глубине в геологических формациях гарантирует минимизацию экологических и радиационных рисков на тысячелетия.

Библиографический список

1. Щеглов А.И., Цветнова О.Б., Агапкина Г.И., Липатов Д.Н., Манахов Д.В., Машихин С.В., Парамонова Т.А., Столбова В.В., Цветнов Е.В. Радиоэкология: прошлое, настоящее, будущее // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2023. Т. 78, № 4. С. 44–54.
2. Обзор проблем обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://atompool.ru/images/data/gallery/1_7365_spentfuel.pdf. Дата обращения 24.10.2025.
3. Патент 205723U1 RU. Устройство для остекловывания радиоактивных

отходов/ Козлов П.В., Ремизов М.Б., Зубриловский Е.Н., Мелентьев А.Б., Вербицкий К.В., Чермных А.А., Бендасов Д.И., Шайдуллин С.М., Ребрин М.А., 2021.

4. Инновации в стекле: ученые «Росатома» замуровали РАО в боросиликатную матрицу [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://strana.rosatom.ru/2023/03/20/innovacii-v-stekle-uchenye-rosatoma/>. Дата обращения 26.10.2025.

© Шайхуллина Р.Р., 2025

УДК 614.7

А.А. ШАМАКИНА, К.П. КОСЕНКО, Е.С. ГУРЬЯНОВ

shamakina.lina@mail.ru

Науч. руковод. – ст. препод. **Дм.А. ТАРАКАНОВ**

Уфимский университет науки и технологий

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ: МОНИТОРИНГ И АНАЛИЗ АЦЕТАЛЬДЕГИДА В КОМПОНЕНТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Аннотация: загрязнение воздуха ацетальдегидом представляет серьезную опасность для здоровья человека, обусловленную его канцерогенными и токсичными свойствами. В статье анализируются пути поступления данного вещества в организм, зависимость токсических эффектов от дозы, а также основные природные и антропогенные источники его поступления в атмосферу. Подчеркивается необходимость постоянного мониторинга и контроля ацетальдегида в связи с его широким распространением и выраженным негативным воздействием.

Ключевые слова: ацетальдегид; атмосферный воздух; экологическая безопасность; гигиеническое нормирование; предельно допустимая концентрация; мониторинг загрязнения; газовая хроматография; источники загрязнения

Загрязнение атмосферного воздуха и воздушной среды вредными веществами остается одной из наиболее острых проблем современности. Актуальность проблемы обусловлена комплексным негативным воздействием на здоровье человека, состояние экосистем, климат планеты и экономическую стабильность.

Постоянный источник риска формируют формальдегид, бензол, толуол, фенол, тяжелые металлы и диоксиды серы и азота и другие опасные вещества, что определяет необходимость их непрерывного контроля и мониторинга. Одним из наиболее значимых приоритетных загрязнителей является ацетальдегид – высокотоксичное соединение, обладающее канцерогенным,

мутагенным и раздражающим действием

Ацетальдегид (уксусный альдегид, этаналь, матилформальдегид) – один из наиболее опасных альдегидов, широко встречающихся в природе и производящихся в больших количествах промышленным способом. При комнатной температуре представляет собой газ с резким фруктовым запахом, который хорошо растворяется в воде, спирте, эфире, при более низких температурах – жидкость с температурой кипения 20,2°C [1, 2].

Согласно оценкам специалистов по гигиене, существует настоятельная потребность в постоянном мониторинге содержания ацетальдегида в атмосфере, в воздухе на промышленных объектах и в товарах народного потребления ввиду его выраженного воздействия на здоровье [3, 4].

В организм человека ацетальдегид проникает различными путями: ингаляционным (вдыхание паров), перкутаным (через кожу) и в результате контакта со слизистыми оболочками глаз. Характер и тяжесть последствий для здоровья напрямую определяются полученной дозой (таблица 1).

Таблица 1

Воздействие ацетальдегида на организм человека

Путь поступления в организм	Уровень воздействия	Основные последствия для здоровья
Ингаляционный, перкутанный, попадание в слизистую оболочку глаза	Невысокие концентрации (0,008-0,1 мг/м ³)	Раздражение глаз, слизистых оболочек носа и горла
Ингаляционный	Высокие концентрации (более 0,1 мг/м ³)	Поражение нервной системы, появляющееся в виду сонливости, головокружения, потери сознания
Пероральный (попадание внутрь)	Высокие дозы	Тяжелое отравление, включая отказ почек и остановку дыхания

Минимальная безопасная концентрация ацетальдегида не установлена. Вещество рассматривают как главный фактор, вызывающий рак ротовой полости и пищевода. Ацетальдегид, содержащийся в табачном дыме и пищевых продуктах, является одной из причин развития онкологии верхних отделов желудочно-кишечного тракта и дыхательной системы (носа и гортани). В экспериментах на животных доказано, что ацетальдегид может приводить к нарушению эмбрионального развития [5].

Значительные выбросы ацетальдегида в атмосферу связаны с антропогенной деятельностью и природными процессами. К числу основных источников относятся:

Процессы горения биомассы. При термическом разложении и горении древесины, в том числе в результате лесных пожаров и использования дров для отопления, ацетальдегид образуется как продукт неполного сгорания целлюлозы и лигнина и поступает в атмосферу в составе дымовых газов.

Сельскохозяйственное производство. Животноводческий сектор вносит существенный вклад в эмиссию ацетальдегида, который является

промежуточным метаболитом в пищеварительной системе жвачных (например, крупного рогатого скота) и выделяется в атмосферу в процессе дыхания, а также в результате микробной ферментации органических отходов.

Автомобильный транспорт. Важным источником является сжигание моторного топлива в двигателях внутреннего сгорания. Ацетальдегид попадает в атмосферу с выхлопными газами как продукт неполного окисления углеводов, а также в качестве вторичного продукта при использовании кислородсодержащих добавок, таких как этанол.

Как чистое химическое соединение ацетальдегида используется при производстве уксусной кислоты, пуриновых и пиридиновых оснований, анилиновых красителей, пластмасс, синтетической резины, лаков, полиролей, пестицидов, лекарств, парфюмерно-космической продукции и др. В Российской Федерации содержание ацетальдегида регламентировано санитарным законодательством для различных сред [5-7].

Согласно гигиеническим нормативам (ГН 2.2.5.3532-18) предельно допустимая концентрация (ПДК) в воздухе рабочей зоны составляет 5 мг/м³. Для атмосферного воздуха населенных мест ГН 2.1.6.3492-17 устанавливает максимальную разовую ПДК 0,01 мг/м³ и среднесуточную 0,003 мг/м³. Безопасность товаров народного потребления контролируется в рамках Единых санитарных требований, которые лимитируют миграцию ацетальдегида из материалов в моделируемые среды.

Для определения ацетальдегида в объектах окружающей среды (воздух, вода, почва) используются методы газовой хроматографии и спектрофотометрии, регламентированные руководящими документами. Например, для анализа воздуха рабочей зоны и атмосферного воздуха применяются методики, утвержденные в государственных стандартах (таких как ГОСТ Р 55285-2012 для воздуха рабочей зоны) и руководствах по контролю загрязнения атмосферы.

Проведенный комплексный анализ позволяет утверждать, что ацетальдегид следует классифицировать как приоритетный загрязнитель в системе обеспечения техносферной безопасности. Это обусловлено совокупностью факторов: выраженной токсичностью вещества, включая его канцерогенные и мутагенные свойства; отсутствием установленного порога безопасного воздействия; а также многообразием источников его поступления в окружающую среду – от промышленных выбросов и автомобильных двигателей до природных процессов горения биомассы.

Библиографический список

1. Малофеев Р.Е. Инструментарий оценки уровня опасностей в техносфере / Р.Е. Малофеев, М.В. Кудакеев, Д.А. Тараканов // Наука, образование, производство для противодействия техногенным угрозам и решения экологических проблем (Техносферная безопасность- 2025): материалы XXII Международной научно-практической конференции, Уфа, 06

мая 2025 года. Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2025. С. 127-131.

2. Внимание: Ацетальдегид [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rspch.by/ru/node/390>. Дата обращения: 04.11.2025.

3. Acetaldehyde in the indoor environment [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2023/ea/d2ea00146b#cit89>. Дата обращения: 04.11.2025.

4. МУК 4.1.1957-05 Газохроматографическое определение винилхлорида и ацетальдегида в воздухе Электронный ресурс. Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293847/4293847943.htm>. Дата обращения: 04.11.2025.

5. Влияние выбросов химических веществ на окружающую среду при пожарах на нефтеперерабатывающих заводах в Республике Башкортостан / И.И. Гиззатуллина, Д.А. Тараканов, А.М. Максютлов, В.К. Кузнецова // Перспективы экологического развития России и стран СНГ: материалы 6-й Международной научно-практической конференции, проводимой в рамках XXIII Уральской горно-промышленной декады, Екатеринбург, 03-04 апреля 2025 года. Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2025. С. 21-23. EDN LINTAJ.

6. Анализ основных источников загрязнения воздуха в промышленности на территории Республики Башкортостан / В.К. Кузнецова, Д.А. Тараканов, В.А. Ахметова, И.И. Гиззатуллина // Проблемы техносферной и экологической безопасности в промышленности, строительстве и городском хозяйстве: Материалы III Международной научной конференции, Макеевка, 13 февраля 2025 года. Макеевка: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», 2025. С. 519-522. EDN KRYIGS.

7. Bondar K.E., Shulaev N.S., Laponov S.V. Performance analysis of a small-sized screw cooling tower // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1079, No. 6. P. 062075. DOI 10.1088/1757-899x/1079/6/062075.

© Шамакина А.А., Косенко К.П., Гурьянов Е.С., 2025

СЕКЦИЯ 6.3 ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 614.8.084

Э.Р. АХМЕДЖАНОВА, С.Г. АКСЕНОВ

ahmedjanova03@gmail.com

Уфимский университет науки и технологий

ВЛИЯНИЕ ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ БАРЬЕРОВ НА ПОВЕДЕНИЕ ЛЮДЕЙ ПРИ ЭВАКУАЦИИ ИЗ ГОРЯЩЕГО ЗДАНИЯ

Аннотация: в статье определяются факторы, провоцирующие проявление психологических барьеров, также рассматриваются ключевые усиливающие факторы и предлагаются меры минимизации рисков. Определяется необходимость агентно-ориентированного подхода к моделированию эвакуации.

Ключевые слова: эвакуация; психологические барьеры; стресс; поведение; условия; паника; реакция; меры; подход

Как показывает практика, несмотря на наличие продуманных планов эвакуации люди нередко действуют нерационально, что увеличивает количество жертв. Ключевой причиной данной проблемы являются психологические барьеры, влияющие на скорость передвижения и адекватное реагирование. Барьеры могут проявляться в разных формах и чаще всего они связаны со стрессом, эмоциональными реакциями и особенностями поведения в экстремальных условиях.

Основные типы психологических барьеров при эвакуации:

Стресс представляет собой комплексную физиологическую и психологическую реакцию организма на экстремальные условия. В ситуации эвакуации он способен оказывать следующее негативное воздействие:

Снижение когнитивных функций – ухудшается память и рассеивается внимание, затрудняется восприятие и обработка информации, что осложняет выполнение инструкций.

Ограничение сенсомоторных возможностей – сужается поле зрения, нарушается координация движений, замедляется реакция.

Дезорганизация поведения – даже у подготовленных людей стресс может спровоцировать хаотичные движения и замедление принятия решений.

Паника – острое эмоциональное состояние, ведущее к полной дезорганизации и поведения. Ключевые проявления:

Хаотичные перемещения без цели, создающие заторы и усугубляющие опасность.

Утрата способности к рациональному мышлению, например, игнорирование очевидных путей эвакуации и средств спасения.

Эффект «эмоционального заражения» 0- быстрое распространение панической реакции в толпе.

Дефицит информации о происходящем провоцирует:

Принятие решений на основе эмоций, а не рационального анализа.

Распространение слухов и дезинформации при задержках официального информирования [1].

Исследования показывают, что в толпе, охваченной паникой, лишь около 3% людей находятся в состоянии аффекта и не способны воспринимать команды, 10-20 % имеют частичное сужение сознания и требуют более сильных сигналов, а до 90% поддаются влиянию общего настроения, создавая неблагоприятные условия для организованной эвакуации [2].

Факторы, усиливающие психологические барьеры:

Ограниченное количество эвакуационных путей и выходов.

Неподготовленность объектов и непродуманность организационных мер.

Отсутствие ясной и высокозначимой общей цели, эффективных лидеров.

Физиологические факторы, такие как усталость, голод, длительная бессонница, алкогольное и наркотическое опьянение [3].

Минимизация психологических барьеров при эвакуации достигается комплексом мер: своевременное и четкое оповещение с использованием многоканальных систем; психологическая подготовка населения с помощью тренировок и обучения правилам поведения в чрезвычайных ситуациях, что снижает уровень стресса и повышает способность к рациональным действиям; наличие авторитарных лидеров, способных организовать людей и направить их действия; системы визуального и звукового оповещения, направляющие толпу и уменьшающие хаос; использование технологий [4].

Агентно-ориентированный подход к моделированию эвакуации представляет собой метод, при котором виртуальная среда населяется «агентами» – цифровыми аналогами людей, каждый из которых обладает набором индивидуальных характеристик (скорость реакции, уровень знаний о путях эвакуации, склонность к панике или рациональному поведению, физические возможности). В ходе симуляции эти агенты взаимодействуют с виртуальным пространством и друг с другом, воспроизводя реальные образцы поведения – от следования за толпой до самостоятельного поиска выхода. Такой подход позволяет прогнозировать, где могут возникнуть заторы, как будет распространяться паника и какие маршруты окажутся наиболее эффективными, что помогает проектировщикам оптимизировать планировку зданий и спасателям разрабатывать четкие протоколы действий. Однако, чтобы модель была максимально реалистичной, ее необходимо дополнить методами искусственного интеллекта, данными с датчиков и видеонаблюдения, результатами психологических исследований о поведении людей в стрессе, а также интегрировать с другими моделями, что в совокупности повышает точность прогнозов и делает симуляции ближе к реальным сценариям чрезвычайных ситуаций [5].

Психологические барьеры при эвакуации – сложный комплекс

взаимосвязанных факторов, где стресс, паника, дефицит информации – существенно дезорганизуют поведение людей при эвакуации из горящего здания, приводя к негативным последствиям. Следовательно, эффективная эвакуация требует комплексного подхода, объединяющего инженерно-технические решения, психолого-педагогические меры и организационное управление, что позволяет минимизировать негативные эффекты психологических барьеров и повысить шансы на спасение людей.

Библиографический список

1. Психологические аспекты поведения людей во время эвакуации при пожаре [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://msc01.ru/blog/novosti/psikhologicheskie-aspekty-povedeniya-lyudey-vo-vremya-evakuatsii-pri-pozhare/> Дата обращения 31.10.2025.

2. Психофизические особенности поведения человека при пожаре [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://sudact.ru/law/metodicheskie-rekomendatsii-organizatsiia-trenirovok-po-evakuatsii-personala/2/2.2/> Дата обращения 31.10.2025.

3. Особенности поведения населения в ЧС [Электронный ресурс] Режим доступа: http://xn--80awhdgm.xn--80aagl2agmf3aj7ar.xn--p1ai/fileadmin/uploads/librery/LiteraturaEng2015/Rucovoditeli_ACR/Tema6/Tema_22.pdf Дата обращения 31.10.2025.

4. Паника и поведение человека в пожарных и чрезвычайных ситуациях [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://ctif.org/ru/news/panika-i-povedenie-cheloveka-v-pozharnykh-i-chrezvychaynykh-situatsiyakh>. Дата обращения 31.10.2025.

5. Матвеев А.В., Нефедьев С.А., Таранцев А.А. Агентное моделирование процесса эвакуации людей при пожарах в зданиях: обзор подходов и исследований // Современные наукоемкие технологии. 2023. № 10. С. 55-62.

© Ахмеджанова Э.Р., Аксенов С.Г., 2025

А.Ф. БАЕВА

Baeva.alsu.01@mail.ru

Науч. руковод. – канд. экон. наук, доцент **И.Н. ГУБАЙДУЛЛИНА**

Уфимский университет науки и технологий

КРИТЕРИИ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЗАЖИГАНИЯ: АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Аннотация: в статье проведен комплексный анализ генезиса производственных источников зажигания как ключевого элемента в цепи условий возникновения горения. Систематизированы их классификационные признаки по продолжительности действия, природе образования и энергетическому потенциалу. Детально рассмотрены механизмы вынужденного воспламенения, самовоспламенения и самовозгорания с позиций критериев условий их инициирования.

Ключевые слова: источник зажигания; пожарная безопасность; вынужденное воспламенение; самовозгорание; температура самовоспламенения; минимальная энергия зажигания; безопасные параметры

Проблема обеспечения пожарной безопасности на производственных объектах остается одной из наиболее актуальных в области промышленной безопасности. Классический треугольник пожара, включающий горючую среду, окислитель и источник зажигания, определяет базовый принцип профилактики возгораний: устранение хотя бы одного из ее элементов. Если наличие горючих материалов и окислителя (кислорода воздуха) зачастую является неотъемлемой частью технологического процесса, то единственным полностью контролируемым и устранимым элементом выступает источник зажигания [1]. В связи с этим, фундаментальное исследование условий его возникновения и разработка превентивных мер на основе критериев оценок представляют значительный научный и практический интерес.

1. Классификационный анализ производственных источников зажигания. Под производственным источником зажигания понимается средство энергетического воздействия, обладающее достаточным для инициирования горения запасом тепловой энергии, возникающее в ходе технологических операций или вследствие их нарушения.

Для системного изучения предлагается многокритериальная классификация:

1) По временному фактору:

Постоянно действующие источники, интегрированные в технологический цикл (факелы горелок, поверхности теплообменных аппаратов);

Потенциальные источники, возникновение которых носит непредсказуемый характер и связано с отклонениями от нормального режима эксплуатации (искровые разряды электрооборудования, трение в механизмах);

2) По генезису энергии:

Теплота химических реакций (экзотермические процессы, окисление);

Теплота механического происхождения (трение, соударение, адиабатическое сжатие);

Теплота электрического происхождения (резистивный нагрев, искровые и дуговые разряды);

3) По энергетической достаточности:

Высококалорийные источники, энергия которых превышает минимальную энергию зажигания ($M_{ЭЗ}$) для большинства сред (открытое пламя, электрическая дуга);

Низкокалорийные источники, представляющие опасность лишь для высокочувствительных горючих систем (искры электростатики);

2. Определенные условия инициирования горения.

1) Механизм вынужденного воспламенения

Вынужденное воспламенение возникает при внешнем тепловом воздействии на горючую систему [2]. Однако для реализации перехода источника тепла (ИТ) в источник зажигания (ИЗ) необходимо одновременное выполнение трех детерминирующих условий, образующих систему неравенств:

Температурный критерий: $t_{ИТ} \geq t_{СВ}$, где $t_{СВ}$ – температура самовоспламенения среды;

Энергетический критерий: $w_{ИТ} \geq w_{min}$, где w_{min} – минимальная энергия зажигания;

Временной (кинетический) критерий: $\tau_{ИТ} \geq \tau_{инд.}$, где $\tau_{инд.}$ – период индукции, характеризующий время подготовки к самоподдерживающейся реакции;

Для постоянно действующих источников первостепенное значение имеют первые два критерия, в то время как для импульсных высокотемпературных воздействий (например, искра) критическим часто становится временной фактор.

2) Процессы самовозгорания и самовоспламенения. Данные процессы характеризуются внутренним происхождением тепловой энергии. Самовоспламенение является быстротекущим процессом, возникающим при достижении веществом или материалом критической температуры $T_{СВ}$ в результате внешнего нагрева или саморазогрева.

Самовозгорание – это инерционный процесс, протекающий по механизму тепловой автокаталитической реакции, скорость которой возрастает по мере увеличения температуры. Условия предотвращения данного процесса описываются системой:

(температура среды должна быть ниже температуры самовозгорания);

$\tau_p \geq \tau_c$ (длительность процесса (хранения, транспортировки) должен быть меньше индукционного периода самовозгорания).

3. Принципы обеспечения пожарной безопасности через подавление источников зажигания. Для предотвращения вынужденного воспламенения достаточно выполнения одного из условий:

1) температура поверхности оборудования или источника тепла должна быть не выше 80% от температуры самовоспламенения горючего вещества:

$$t_{\text{ИТ}}^{\text{без}} \leq 0,8 t_{\text{СВ}}$$

2) энергия источника (например, искры) должна быть не более 40% от минимальной энергии зажигания:

$$w_{\text{ИТ}}^{\text{без}} \leq 0,4 w_{\text{min}}$$

Для предотвращения самовозгорания достаточно выполнения одного из условий:

температура горючего вещества или материала, или окружающей среды должна быть не выше 70% от температуры самовозгорания:

$$t_{\text{м}}^{\text{без}} \leq 0,7 t_c$$

время воздействия потенциально опасных условий (хранения, переработки) должно быть меньше индукционного периода самовозгорания, поделенного на коэффициент безопасности ($K_6 > 1$):

$$t_p^{\text{без}} \leq \frac{t_c}{K_6}.$$

На основании анализа критериев воспламенения сформулированы принципы обеспечения безопасности, основанные на создании «запаса прочности» по каждому параметру.

Проведенное исследование позволяет сделать вывод о том, что эффективное управление пожарной безопасностью производственных процессов возможно на основе глубокого понимания критериев условий перехода потенциального источника тепла в источник зажигания [3]. Предложенная систематизация и детальный анализ условий вынужденного воспламенения и самовозгорания создают теоретический фундамент для разработки инженерных решений. Внедрение принципов безопасных температур и энергии, основанных на введении коэффициентов запаса, позволяет перейти от пассивного наблюдения к активному превентивному подавлению условий возникновения горения на стадии его инициирования, что является наиболее рациональным путем снижения пожарного риска на промышленных объектах.

Библиографический список

1. Швырков С.А. Пожарная безопасность технологических процессов: учебник. М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. 388 с.
2. Горячев С.А. Пожарная безопасность технологических процессов: учебник. М.: Академия ГПС МЧС России, 2020. 464 с.

З. Бобков С.А. Физико-химические основы развития и тушения пожаров: учеб. пособие / С.А. Бобков, А.В. Бабурин, П.В. Комраков. М.: Академия ГПС МЧС России, 2014. 210 с.

© Баева А.Ф., 2025

УДК 614

Э.А. ГАЙНЕТДИНОВА, Ф.К. СИНАГАТУЛЛИН
elinaazatovna@gmail.com

Уфимский университет науки и технологий

ПРОФИЛАКТИКА И ТУШЕНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЧИВОГО КЛИМАТА

Аннотация: в статье проанализированы современные вызовы и практики профилактики и тушения лесных пожаров на фоне климатических изменений. Описаны основные факторы роста пожарной опасности, технологии раннего обнаружения и мониторинга, организационные меры и тактики тушения. Выдвинуты рекомендации по интеграции превентивных мер, технических решений и образовательных программ для снижения рисков и повышения устойчивости лесных экосистем.

Ключевые слова: лесные пожары; профилактика; тушение; климатические изменения; мониторинг; дистанционное зондирование; дроны; межведомственное взаимодействие; экосистема; адаптация

Лесные пожары – социально-экологическая и экономическая угроза, масштаб и частота которой в последние десятилетия демонстрируют тенденцию к увеличению под влиянием изменчивого климата. Повышение среднегодовых температур, продолжительные периоды засухи, сдвиги в режиме осадков и учащение экстремальных погодных явлений способствуют снижению влажности топлива и увеличивают вероятность перехода отдельных очагов в крупные пожары. Помимо климатического фактора, значимую роль сохраняет антропогенная нагрузка: неконтролируемые костры, сжигание мусора, неисправная техника вблизи лесов и незаконная хозяйственная деятельность остаются первичными причинами возгораний.

Профилактические мероприятия должны строиться на многоуровневой стратегии, сочетающей ландшафтный и социальный подходы. Ландшафтные меры включают своевременное проведение санитарных рубок и выборочных вырубок сухостоя, очистку лесных массивов от валежника, создание и поддержание минерализованных полос и противопожарных просек, а также применение пастбищного и низкотемпературного горения с контролируемой топливной нагрузкой [1].

При проектировании лесохозяйственных мероприятий необходимо учитывать изменения в фитобиомах и прогнозируемую динамику погодных условий, чтобы снизить вероятность формирования обширных континуумов горючего материала.

Ключевым элементом профилактики является раннее обнаружение очагов и оперативный мониторинг пожароопасной обстановки. Современные информационные системы объединяют спутниковые данные, метеопрогнозы, радиомониторинг и данные с автономных наземных датчиков. Интеграция беспилотных летательных аппаратов позволяет получать детализированную информацию о начальных очагах, огневой активности и направлении распространения пожара в труднодоступных районах [2]. Важна разработка автоматизированных алгоритмов фильтрации ложных срабатываний и приоритезации вызовов для оперативных групп.

Организационные аспекты включают формирование единой системы оповещения и координации действий между лесной охраной, службами МЧС, авиацией, местными администрациями и волонтерскими подразделениями. Необходима единая картография риск-зон, регулярные учения и тренировки по взаимодействию, развитие логистики для доставки сил и средств в удалённые участки [3].

Особое внимание следует уделять обеспечению техники и личного состава средствами связи, защитной экипировкой и мобильными источниками воды. Тактика тушения в условиях изменчивого климата требует адаптации классических подходов. На ранних стадиях приоритет отдаётся локализации и изоляции очага с применением комбинированных методов: ручные и механизированные минерализованные борозды, использование локальных огнезадерживающих агрегатов, целевые авиационные пролёты с водосбросом и ретардами [4].

В крупных и интенсивных пожарах эффективными становятся сетевые стратегии — согласованные удары авиации по критическим участкам, создание резервов для защиты населённых пунктов и инфраструктуры, использование контролируемых отжигов в направлении от угрозы для предотвращения распространения [5].

Технологические инновации расширяют арсенал средств борьбы с пожарами. Дроны с тепловизионными камерами и датчиками дыма ускоряют обнаружение; роботизированные платформы и автономные пожарные комплексы могут работать в зонах высокого риска для человека; спутниковые прогнозы и модели распространения огня с учётом ветровых полей и топографии повышают точность решений командиров на местах [6]. Важна интеграция систем машинного обучения, позволяющая прогнозировать «горячие точки» и оптимизировать распределение ресурсов. Неотъемлемый компонент устойчивой стратегии — работа с населением и укрепление правового поля. Информационно-просветительские кампании, обучение безопасному поведению в лесах, введение ограничений на посещение особо опасных территорий в периоды пиковой пожарной активности и контроль за

выполнением запретов снижает долю пожаров, инициированных людьми. Экономические и административные механизмы – штрафы, стимулирование ответственного ведения хозяйства, поощрение создания противопожарных буферов у частных владений — тоже эффективны в долгосрочной перспективе.

Адаптация к новым климатическим реалиям требует системного подхода: инвестиции в мониторинг, модернизацию пожарной авиации и наземных сил, развитие межведомственного взаимодействия и международный обмен опытом. Научные исследования устойчивости лесных экосистем и прогнозирования поведения пожаров при новых климатических сценариях должны стать основой управленческих решений.

Библиографический список

1. Басаргин А.А. Методы искусственного интеллекта: учебное пособие. Новосибирск: СГУГиТ, 2022. 164 с.
2. Киселёв В.Н. Лесные пожары: причины и методы борьбы. М.: Лесная промышленность, 2020. 212 с.
3. Иванова Т.П. Мониторинг и прогнозирование природных пожаров. СПб.: Гидрометеиздат, 2021. 188 с.
4. Отчёт Федерального агентства лесного хозяйства (Рослесхоз) о состоянии лесов и профилактике пожаров, 2023.
5. IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report. 2021.
6. Петров П.П. Технологии тушения природных пожаров: учебно-методическое пособие. Уфа: УГАТУ, 2019. 140 с.

© Гайнетдинова Э.А., Синагатуллин Ф.К., 2025

Я.Э. ГАРЕЕВА

G39913984@gmail.com

Науч. руковод. – ст. препод. **Ф.К. СИНАГАТУЛЛИН**

Уфимский университет науки и технологий

МЕТОДЫ ОБУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ОСНОВАМ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ: СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Аннотация: исследование посвящено обучению населения правилам пожарной безопасности. Проанализированы действующие методы, выявлены их недостатки. Обоснована эффективность смешанных моделей обучения с применением цифровых технологий. Определены приоритетные направления развития системы обучения. Подчёркнута важность совместных усилий государства и граждан для повышения уровня безопасности.

Ключевые слова: пожарная безопасность; обучение населения; методы обучения; виртуальные симуляторы; информационное пространство; культура безопасности

Обучение населения правилам безопасной жизнедеятельности в современном мире приобретает особую значимость ввиду высокого риска возникновения природных и техногенных катастроф. Одной из ключевых задач государства и общественности является профилактика возникновения опасных ситуаций, включая пожары, которые остаются одними из главных причин потерь материальных ценностей и человеческих жизней.

Важно понимать, что система обучения населению основам пожарной безопасности должна включать как теоретические знания, так и практические навыки действий в экстренных ситуациях [1]. Система подготовки должна учитывать современные угрозы и изменения образа жизни, внедрять инновационные педагогические приемы и обеспечивать регулярность и постоянство обучения.

Данная работа посвящена исследованию действующих методов обучения населения нормам пожарной безопасности, оценке их эффективности и определению перспективных направлений модернизации образовательной стратегии.

Обучение населения осуществляется различными методами, направленными на распространение информации и привитие необходимых навыков. Среди популярных методов выделяются лекции, консультации, специальные курсы и уроки, проведение практических тренировок и учений, использование возможностей масс-медиа и Интернета [2].

Эти меры позволяют повысить общий уровень осведомленности населения о возможных опасностях и действиях в кризисных ситуациях.

Однако практика показывает, что многие используемые методы обладают рядом существенных недостатков:

недостаточный охват определенных социальных групп;
низкий уровень мотивации участников;
недостаточное количество квалифицированных педагогов и инструкторов;
трудности адаптации содержания программ к региональным особенностям.

Современная система обучения нуждается в глубоком реформировании и обновлении подходов к передаче знаний и навыков.

Рассмотрим основные типы моделей обучения, которые используются в настоящее время (таблица 1).

Таблица 1

Характеристика типов моделей обучения

Тип модели обучения	Суть	Применяемые средства
Массовые информационные кампании	Широкая подача информации	Телевидение, радио, печать, плакаты
Индивидуальные консультативные сессии	Работа с отдельными гражданами	Консультации, встречи, беседы
Образовательные мероприятия в школах и вузах	Привлечение молодёжи	Специальные курсы, внеклассные занятия
Электронные образовательные ресурсы	Онлайн-контент	Веб-сайты, электронные библиотеки
Интерактивные игры и симуляции	Играющие получают опыт	Компьютерные игры, VR-тренировки

Использование смешанных форм обучения, сочетающих традиционные и цифровые инструменты, представляется оптимальным решением [3]. Примером успешной комбинации может служить активное вовлечение волонтерских движений и поддержка государственных инициатив.

Одной из новаторских идей является внедрение компьютерных симуляторов и виртуальных тренажёров, позволяющих смоделировать реальную ситуацию пожара и отработать навыки эвакуации и спасения пострадавших. Этот подход получил широкое признание благодаря своей доступности и привлекательности для пользователей разного возраста.

Перспективы развития образовательных программ по пожарной безопасности связаны с расширением взаимодействия органов власти, бизнес-сообщества и некоммерческих организаций. Значительное влияние оказывает применение новейших коммуникационных и информационных технологий, направленных на увеличение охвата аудитории и улучшение качества предоставляемых услуг.

Среди важных направлений развития выделяют:

Создание единого информационного пространства

Создание сети интерактивных площадок и виртуальных пространств,

объединяющих государственные учреждения, образовательные учреждения и общественные объединения, способствует повышению доступности информации и улучшению координации усилий в рамках решения поставленных задач.

Популяризация международного опыта

Международный обмен опытом, участие в совместных проектах и программах содействуют росту профессионального мастерства специалистов и разработке оптимальных решений для местных условий.

Совершенствование законодательной базы

Принятие законов и нормативных актов, регулирующих порядок предоставления услуг в области обучения пожаробезопасности, существенно повысит качество оказания помощи гражданам и укрепит доверие к государственным институтам.

Совершенствование системы обучения населения правилам пожарной безопасности является важнейшей составляющей социальной политики любого государства [5]. Оно направлено на защиту здоровья и имущества граждан, уменьшение экономического ущерба и поддержание стабильности общества.

Опыт многих зарубежных стран свидетельствует о положительном влиянии своевременного и систематического обучения населения на показатели пожарной безопасности. Реализация успешных практик, заимствованных у наших партнёров, наряду с учётом национальных особенностей и традиций, способна качественно изменить ситуацию и приблизить нашу страну к уровню развитых европейских держав.

Но даже самые эффективные программы окажутся бесполезными, если не будут поддержаны активной позицией самих граждан [6]. Важно формировать ответственное отношение к личной безопасности, развивать чувство коллективизма и взаимопомощи, привлекать население к участию в акциях и мероприятиях, посвящённых пожарной безопасности.

Только совместными усилиями государства, общества и граждан мы сможем достичь поставленных целей и гарантировать безопасность нашей жизни и имущество будущих поколений.

Библиографический список

1. Макаров В.С., Смирнов А.Е. Организация подготовки населения к действиям в условиях чрезвычайных ситуаций. Москва: МЧС России, 2019.
2. Государственный стандарт РФ ГОСТ Р 12.0.004-2015 «Система стандартов безопасности труда. Организационные основы охраны труда».
3. Сборник методических рекомендаций по подготовке населения к действиям в условиях чрезвычайных ситуаций. Уфа: Управление по защите населения и территорий РБ, 2018.
4. Федоров В.Ю., Дмитриев В.Ф. Комплексная программа обучения населения пожарной безопасности. Уфа: Башкирский государственный университет, 2017.

5. Научно-практический журнал «Безопасность жизнедеятельности». 2020. № 3.

6. Федеральная целевая программа «Противопожарная безопасность в Российской Федерации на период до 2025 года». Утверждена Постановлением Правительства РФ от 15 ноября 2019 г. № 1462.

© Гареева Я.Э., 2025

УДК 614

С.И. ИСБЕРГЕНОВА

isbergenovasabrina@gmail.ru

Науч. руковод. – канд. экон. наук, доцент **И.Н. ГУБАЙДУЛЛИНА**

Уфимский университет науки и технологий

СИСТЕМА ГАЗОВОГО И ПОРОШКОВОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Аннотация: в данной статье рассматриваются системы газового и порошкового пожаротушения, проводится сравнительный анализ данных систем, исследуются их принцип действия, области применения, преимущества и недостатки.

Ключевые слова: газовое пожаротушение; порошковое пожаротушение; пожар; возгорание; горение; сфера применения

Газовое пожаротушение – система противопожарной защиты на основе газа действуют по принципу кислородного вытеснения: подаваемое вещество снижает концентрацию кислорода до уровня, при котором горение становится невозможным, предназначены для обнаружения возгорания на всей контролируемой площади помещения.

Функционирование систем газового пожаротушения основано на создании в защищаемом объеме среды, не поддерживающей горение. Ключевым механизмом является вытеснение кислорода и нарушение окислительных процессов путем насыщения атмосферы инертным газом. В случае применения сжиженных газов их переход в газообразную фазу при выпуске сопровождается интенсивной абсорбцией тепла, что вызывает резкое охлаждение очага возгорания и дополнительно ингибирует реакцию горения [1].

Сферы применения таких систем включают в себя объекты с дорогостоящим оборудованием (центры обработки данных, коммутационные станции), промышленные и производственные объекты (кабельные тоннели, комнаты управления), объекты культурного наследия и хранения ценностей (библиотеки, музеи, архивы).

Отдельным преимуществом газовых установок является их высокая

эффективность при тушении электроустановок, находящихся под напряжением.

Системы порошкового пожаротушения предназначены для автоматического обнаружения пожара, передачи сообщения о пожаре дежурному персоналу и самостоятельного осуществления локализации с последующей ликвидацией пламени [2].

Одним из ключевых механизмов работы основан на подаче в очаг возгорания специального мелкодисперсного порошка.

Сфера использования таких систем чрезвычайно широка: ими оборудуются промышленные объекты и энергетика (распределительные подстанции, производственные цеха, насосные станции), инфраструктура транспорта и хранения (автобусные и троллейбусные парки, ангары, склады), общественные и коммерческие здания (кабельные тоннели, шахты). Сравнительная характеристика систем газового и порошкового пожаротушения представлены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительная характеристика систем газового и порошкового пожаротушения

Система	Достоинства	Недостатки
Газовое пожаротушение	Не вызывает коррозии, в отличие от порошкового пожаротушения; последствия после применения данной системы легко устраняемы путем проветривания; могут работать при температуре от -40 °C до +50 °C	Основным недостатком является опасность для человека
Порошковое пожаротушения	Доступная стоимость; простая конструкция, которая упрощает монтажные работы; огнетушащий порошок не теряет своих свойств длительное время и на нее не влияют перепады температуры от -50 °C до +50 °C; данная система демонстрирует высокую эффективность при ликвидации пожаров различных классов, а также применяется при нетипичных возгораниях.	Порошок обладает высокой химической активностью, поэтому его остатки подлежат немедленной утилизации после тушения пожара; перекачка по трубопроводам порошка затруднительна; также образование мелкодисперсной пыли, вдыхании которой может нанести вред здоровью людей, которые находятся в помещении.

Применяются три способа распыления огнетушащей смеси в помещении:

Объемный (состав распыляется для заполнения всего пространства помещения, чтобы создавалась однородная огнетушащая среда).

Поверхностный (порошок наносится в виде равномерного слоя на горящие поверхности, изолируя их от кислорода).

Локальный (точечное воздействие на заранее выявленную зону риска, к

примеру, склад горючих материалов). Установки систем газового и порошкового систем пожаротушения представлены в таблице 2.

Таблица 2

Установки систем газового и порошкового пожаротушения

Установки газового пожаротушения	Установки порошкового пожаротушения
Запрещено использование данной установки в помещениях, из которых невозможна быстрая эвакуация людей до момента запуска оборудования и в помещениях с большим количеством людей.	Нельзя использовать в объектах, где пребывание людей больше 50 человек; в помещениях, которые нельзя покинуть до запуска оборудования АУПТ; где хранятся горючие материалы, которые способны самовозгораться, тлеть.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что выбор между газовой и порошковой системой пожаротушения является стратегическим решением, который основан на специфике защищаемого объекта. Ключевым критерием выступает сохранение материальных ценностей, безопасность людей и стоимость [3].

Газовая система является приоритетным выбором, где нужно сохранить дорогостоящее оборудование, а также уникальные ценности. Главное преимущество – способность ликвидировать пожар, не нанося сильного ущерба.

В свою очередь, порошковая система представляет собой экономичное и универсальное решение для промышленных, складских и инфраструктурных объектов, где допустимы последствия после использования оборудования.

Библиографический список

1. Долговидов А.В., Сабинин С.Ю., Теребнев В.В. Автономное пожаротушение: реальность и перспективы: учебное пособие. Екатеринбург: ООО «Издательство «Калан», 2014, 204с.
2. Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ «О пожарной безопасности».
3. Илюшов Н.Я. Автоматические установки пожаротушения: учебное пособие. Новосибирск: НГТУ, 2016, 134 с.

© Исбергенова С.И., 2025

Е.М. КАЗАЗАЕВА

llizzggakazazeva@gmail.com

Науч. руковод. – канд. экон. наук, доцент **И.Н. ГУБАЙДУЛЛИНА**

Уфимский университет науки и технологий

ОБЗОР СИСТЕМЫ ПОЖАРОТУШЕНИЯ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Аннотация: в статье представлен обзор современных систем пожаротушения литий-ионных аккумуляторов, используемых в повседневной жизни. Рассмотрены основные причины возгорания, методы предотвращения и тушения. Приведены сравнительные характеристики различных типов установок пожаротушения и их эффективность.

Ключевые слова: литий-ионный аккумулятор; водотуманные установки; электромобиль; пожаротушение; газовое тушение; аэрозольное тушение

Литий-ионные аккумуляторы широко используются в системах накопления энергии, электромобилях и портативных устройствах. Однако высокая плотность энергии и химическая активность лития обуславливают повышенный риск возгорания при нарушении условий эксплуатации. Проблема пожарной безопасности аккумуляторных систем требует разработки и внедрения эффективных систем пожаротушения, обеспечивающих минимум последствий теплового разгона и предотвращение распространения пламени.

Основными причинами возгорания литий-ионных аккумуляторов являются внутренние короткие замыкания, перегрев, механические повреждения, перезаряд, а также дефекты изготовления. Температура начала теплового разгона обычно составляет 130-150 °С, а при достижении 250-300 °С происходит выделение газов и воспламенение электролита. Разложение катодных материалов приводит к выделению кислорода, усиливающему горение [1].

В данном контексте, традиционные средства противопожарной защиты, включая использование больших объёмов воды, зачастую оказываются бесполезными. Гарантия безопасности для таких энергетических систем требует комплексного подхода, объединяющего превентивный мониторинг и внедрение специальных установок тушения. Подобные решения нацелены на купирование цепной реакции теплового разгона и блокировку распространения огня, что позволяет существенно снизить потенциальный ущерб [2].

В настоящее время применяются различные системы пожаротушения аккумуляторных установок: газовые, порошковые, аэрозольные и водотуманные [3]. Каждая из них имеет свои преимущества и ограничения. Газовые системы эффективны при быстром обнаружении пожара, но требуют

герметичных помещений. Аэрозольные установки обеспечивают локальное тушение без необходимости сложной инфраструктуры. Водотуманные системы обеспечивают интенсивное охлаждение и предотвращают повторное воспламенение (таблица 1).

Таблица 1

Сравнение систем пожаротушения литий-ионных аккумуляторов

Тип системы	Преимущества	Ограничения
Газовая (инертные газы)	Чистота, отсутствие остатков, быстрое тушение	Требуется герметизация помещения
Аэрозольная	Компактность, эффективность при локальных возгораниях	Ограниченная зона действия
Водотуманная	Охлаждение и предотвращение повторного возгорания	Риск повреждения электроники
Порошковая	Широкая применимость, простота	Остатки, сложность удаления

На основе анализа отечественных испытаний можно выделить ключевые характеристики, по которым оценивается эффективность систем пожаротушения для литий-ионных установок: время до срабатывания, время подавления открытого горения, способность снижать температуру модулей, вероятность повторного воспламенения и влияние на оборудование [4].

Для стационарных батарейных хранилищ наилучшие показатели показывает комбинация водотумана и локального газа/аэрозоль: вода даёт быстрое охлаждение и уменьшение вероятности тепловой пробежки, а газ/аэрозоль – быстрое подавление огня в начальной фазе.

Современные научные исследования направлены на разработку интеллектуальных комплексов, которые обеспечивают своевременное выявление угрозы и адаптивного тушения. Для этого задействуется целый арсенал средств: от сенсоров, отслеживающих температурные колебания и фиксирующих утечку электролита, до камер, регистрирующих тепловые аномалии. Особый интерес представляют технологии, тесно совмещенные с контурами жидкостного отвода тепла, а также применение тонкодисперсных аэрозолей на водной основе, обогащенных специальными антипиренами. Реализация подобных разработок открывает возможность для существенного увеличения уровня защищенности как стационарных накопителей энергии, так и силовых батарей электромобилей [5].

Принцип работы системы пожаротушения аккумуляторных модулей:

Датчик температуры фиксирует перегрев;

Срабатывает сигнализация и система оповещения;

Активируется модуль пожаротушения (газовый, аэрозольный или водотуманный);

Осуществляется подача огнетушащего вещества;

Система контролирует снижение температуры и предотвращает повторное воспламенение.

Значительным шагом вперед будет функциональная взаимосвязь противопожарных модулей с аппаратно-программными комплексами управления батареями. Подобное сближение откроет путь к созданию полностью автономного контура контроля, способного мгновенно устранять угрозу.

Таким образом, литий-ионные аккумуляторы, будучи высокоэнергоемким решением, несут в себе и серьезные риски. Современные средства огнетушения демонстрируют высокую результативность в сдерживании пламени и создании дополнительных уровней защиты для энергоустановок. Ближайшие задачи для инженеров – это оснащение таких систем искусственным интеллектом, наделенным функциями непрерывного отслеживания параметров и автономного выявления неисправностей.

Библиографический список

1. Терентьев Д.И., Тикина И.В., Курочкин А.Р. Предварительное исследование пожароопасных свойств литий-ионных аккумуляторов // Техносферная безопасность. 2024. №3(44).
2. Ежелева Е.Е., Мельник А.А., Елисеев Ю.Н. Исследование пожаров, связанных с возгоранием литий-ионных аккумуляторных батарей на транспорте // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2021. №1(20).
3. Комельков В.А., Сорокин Д.В. Особенности горения литий-ионных аккумуляторов
4. Комельков В. А., Сорокин Д.В. Эффективные средства тушения литий-ионных аккумуляторов.
5. Двоенко О.В., Кучмасов Д.А., Щербаков Н.А., Захаров А. И. Основные положения о пожарной опасности литий-ионных аккумуляторных батарей. // Техносферная безопасность. 2024. №4(45).

© Казазаева Е.М., 2025

А.И. КАРИМОВ, Р.Р. ГАЛЕЕВ

a.trkarimov04@mail.ru

Науч. руковод. – ст. препод. **Ф.К. СИНАГАТУЛЛИН**

Уфимский университет науки и технологий

УМНЫЕ ПОЖАРНЫЕ ИЗВЕЩАТЕЛИ 2.0

Аннотация: в статье рассматривается способ усовершенствования пожарных извещателей. Анализируется необходимость оптимизации извещателей, способ их работы. Рассматриваются ключевые проблемы современных извещателей, эксплуатируемых в частных домах и квартирах. Предложено инновационное решение – соединение трех известных систем в одну с добавлением искусственного интеллекта.

Ключевые слова: пожарные извещатели; дымовые извещатели; электрохимический датчик угарного газа; оптический датчик дыма; термодатчик; датчик пожарной сигнализации; пожар

Пожарные извещатели (или датчики пожарной сигнализации) – это устройства, предназначенные для обнаружения признаков пожара (дыма, огня, повышения температуры) и передачи сигнала тревоги напрямую для оповещения людей или на приемно-контрольный прибор, что позволяет оперативно принять меры для предотвращения пожара и его развития. Существующие извещатели созданы для определенных условий под конкретные задачи, поэтому необходимо понимать, на какой объект и для чего мы ставим тот или иной датчик [1].

Самые распространенные оптические дымовые извещатели, стоящие в большинстве квартир, работают по такому принципу: внутри находятся камера и диод. Когда частицы дыма попадают в камеру и рассеивают свет – срабатывает тревога. Проблема лишь в том, что они не видят разницу между опасными продуктами горения и паром от чайника, пылью при ремонте или частицами жира от сковороды. Для извещателей это практически одно и то же, и реакция одна - громкий звук. Ложные срабатывания не являются редкостью [2].

Для того, чтобы сделать датчики более эффективными, предложена идея извещателей, соединяющих сразу 3 системы обнаружения в одном корпусе:

Оптический датчик дыма (точечный) (рис. 1): отслеживает наличие частиц дыма в воздухе [3].



Рис. 1. Дымовой извещатель

Электрохимический датчик угарного газа (рис. 2): обнаруживает газ еще до появления открытого пламени [4].



Рис. 2. Электрохимический датчик угарного газа

Термодатчик (рис. 3): постоянно мониторит скорость и скачки температуры, а не просто ее абсолютное значение [5].



Рис. 3. Термодатчик

Каждый из этих сенсоров по отдельности уже хорош, но полные возможности раскрываются, когда они начинают работать вместе. Получая данные от трех сенсоров одновременно, умный датчик не сигнализирует сразу [6]. В его прошивку заложены алгоритмы на основе искусственного интеллекта, которые анализируют совокупность показателей (рис. 4).

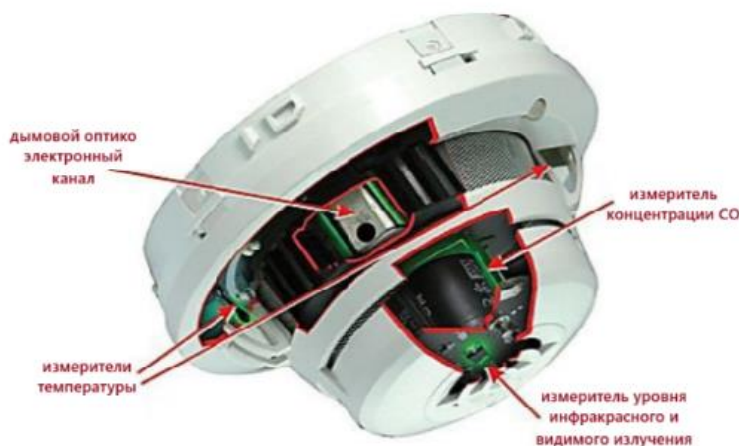


Рис. 4. Умный пожарный извещатель 2.0

Были подобраны ключевые модули и компоненты, из которых будет состоять умный извещатель:

Фотоэлектрический дымовой сенсор (оптический): используется усовершенствованная версия ToF-сенсора или рассеивающего датчика с камерой-лабиринтом. Вместо простого измерения есть или нет света он анализирует спектр рассеяния частиц. Частицы дыма, пара и пыли имеют разный размер и форму, по-разному рассеивая луч лазера.

Электрохимический сенсор угарного газа (CO): трехэлектродный сенсор. Более надежный, чем двухэлектродный. В нем есть рабочий электрод, контрэлектрод и эталонный электрод, что позволяет точно измерять концентрацию.

Термочувствительный сенсор: цифровой датчик на базе MEMS-технологии. Они измеряют не абсолютное значение с погрешностью, а точные измерения. Позволяет непрерывно мониторить температуру и скорость ее изменения.

Датчик влажности (гигрометр): часто объединен с термодатчиком в один. Он поможет AI отличить пар от дыма.

Двухканальный динамик: способен подавать разные типы сигналов (предупреждение, тревога, голосовые инструкции).

Радиомодули: Zigbee 3.0 - энергоэффективный модуль для интеграции в умный дом. Обеспечивает стабильную связь при отключении Wi-Fi. Wi-Fi - для прямого подключения к роутеру и выхода в интернет для отправки уведомлений. Bluetooth - для настройки с телефоном.

Система питания: основной источник - 2 литиевые батареи. Резервный

источник - конденсатор большой емкости, который мгновенно подхватывает питание в случае отказа или изъятия основных батарей. Разъем для резервного питания от сети 220В. Солнечная панель - для подзарядки в дневное время и увеличения автономности.

Микроконтроллер и нейропроцессор - для принятия и обработки поступающей информации с помощью искусственного интеллекта.

Рассмотрим более детально на примерах сценарии срабатывания новых извещателей:

Сценарий «Подгоревшая еда»: оптический датчик видит частицы дыма/пара, датчик углекислого газа не фиксирует его, термодатчик не видит скачков температуры до критических в помещении, искусственный интеллект распознает ситуацию как «ложная тревога» (приготовление пищи). Оповещатель может отправить сигнал на телефон: «Обнаружены частицы дыма на кухне. Это ложная тревога?».

Сценарий «Тление электропроводки в стене»: оптический датчик не видит плотного дыма, так как он еще не вышел из стены, датчик углекислого газа фиксирует растущую концентрацию угарного газа, термодатчик замечает аномальный нагрев в точке расположения, искусственный интеллект распознает ситуацию как критическую. Оповещатель может отправить сигнал на телефон: «Обнаружена опасность возгорания».

Сценарий «Открытое пламя»: оптический датчик фиксирует дым, датчик углекислого газа показывает высокое значение угарного газа, термодатчик фиксирует резкий рост температуры, искусственный интеллект распознает все 3 сигнала, что указывает на реальный пожар. Оповещатель может отправить сигнал на телефон: «Обнаружено возгорание».

Кроме того, извещатели можно интегрировать с системой «Умный дом» по беспроводным протоколам (Zigbee, Z-Wave, Wi-Fi) - что позволит не только предупреждать, но и действовать. Смоделируем ситуацию того, что произойдет при реальной тревоге: «Тление проводки в гостиной ночью»:

02:00: датчик в гостиной фиксирует рост уровня углекислого газа, температура у розетки растет на 2°C в минуту. Оптический датчик молчит.

02:01: нейросеть, проанализировав данные, с большой вероятностью определяет тление. Срабатывает тревога.

Автоматические действия:

Умные лампы на пути от спальни к выходу загораются на 100%, освещая безопасный маршрут.

Умный замок на входной двери автоматически отпирается, эвакуация не заблокирована.

Умная розетка, к которой подключен подозрительный прибор, обесточивается. Умный клапан перекрывает подачу газа на кухне.

На смартфон всех членов семьи приходят оповещения: «ПОЖАР! Обнаружено тление в гостиной. ЭВАКУАЦИЯ!». Одновременно сигнал дублируется через звуковое оповещение, в службу безопасности жилого комплекса или на пульт МЧС.

Такой сценарий показывает разницу между «предупредить» и «начать спасать».

Почему это выгодно. Жильцы экономят на страховании своих квартир и домов; происходит резкое сокращение ложных вызовов пожарных расчетов, которые стоят времени, ресурсов и денег; снижение количества трагедий, связанных с гибелью людей от угарного газа во сне.

Таким образом, умные пожарные извещатели 2.0 — это не просто гаджеты для продвинутых людей. Это качественно новый уровень безопасности, который перекладывает на плечи технологий самую сложную задачу - принятие верного решения в стрессовой ситуации. Они защищают не только от огня, но и от человеческой беспечности, исключая ложные тревоги и предупреждая об опасности тогда, когда ее еще можно легко устранить.

В итоге человек получает не простую «пищалку», а настоящую умную машину, которая не станет тревожить просто так, но в критический момент сделает все, чтобы спасти жизнь и имущество.

Библиографический список

1. Бурькова Е.В. Системы охранно-пожарной сигнализации: учебное пособие. Оренбургский гос. Ун-т. Оренбург: ОГУ, 2019 134с.
2. Руководство по применению адресно-аналоговых систем пожарной сигнализации. С.М. Щипицын, А.Н. Членов, И.В. Павлов, А.Е. Атаманов. М.: «Систем Сенсор Фаир Детекторс», 7-е издание, 2012. 67 с.
3. Логин В.М., Цырельчук И.Н. Системы пожарной сигнализации: учеб. - метод. пособие. Минск: БГУИР, 2013. 92 с
4. Волков А.В. Электроника и пожарная автоматика: учебное пособие / А.В. Волков, Е.В. Сергеев, К.В. Семенова. Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2020. 239 с.
5. Себенцов Д.А., Членов А.Н., Неплохов И.Г. Руководство по применению адресно-аналоговых систем пожарной сигнализации. М.: «Систем Сенсор Фаир Детекторс», 5 издание, 2007. 75 с.
6. Храпский С.Ф. Производственная и пожарная автоматика: учеб. пособие / С.Ф. Храпский, В.И. Стариков, Д.В. Рысев. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013. 152 с.

© Каримов А.И., Галеев Р.Р., 2025

К.А. МАКСИНА

mverry04@mail.ru

Науч. руковод. – канд. экон. наук, доцент **И.Н. ГУБАЙДУЛЛИНА**

Уфимский университет науки и технологий

ПОЖАРНЫЕ АВТОЛЕСТНИЦЫ

Аннотация: в данном тексте рассматривается значение и функциональные возможности пожарной автолестницы, ее применения в современных условиях, особенности конструкции и технических характеристик, а также важность данного оборудования для пожарной безопасности в городах с многоэтажной застройкой.

Ключевые слова: пожарная автолестница; безопасность; аварийно-спасательные работы; высота; техника; здания

Пожарная автолестница (АЛ) представляет собой автомобиль специального назначения, оснащенный механизированной лестничной конструкцией, которая обладает функционалом выдвижения и поворота. Ее основное применение связано с организацией аварийно-спасательных операций на высоте, доставкой туда огнетушащих составов и специального оборудования. Дополнительной функцией машины является возможность работы в режиме автокрана при сложенном положении колен лестницы [1].

Использование подобных высотных машин исторически являлось важной потребностью для общества. В российских пожарных подразделениях сегодня эксплуатируются автолестницы с разной высотой подъема, выбор которых определяется этажностью городской застройки. На текущий момент эти универсальные аппараты стали неотъемлемым элементом арсенала всех пожарных команд мира и используются в самых разнообразных ситуациях.

Основные функции пожарных автолестниц:

1. Обеспечение безопасного пути для эвакуации пострадавших из высотных зданий и доставка личного состава и аварийно-спасательного инструмента к месту операции;

2. Размещение и фиксация пожарных стволов для прицельной подачи огнетушащих веществ на уровень окон и крыш. Также прокладка магистральных линий по конструкциям лестницы для подачи воды или пены;

3. Использование механизированной платформы в сложенном состоянии для подъема оборудования или перемещения груза;

4. Использование в качестве опорной конструкции для выполнения задач на фасадах зданий и сооружений;

5. Возможность подачи воздушно-механической пены при тушении возгораний на верхних этажах, минимизируя риски для личного состава, так

как подача осуществляется с удаленной и безопасной позиции для человека [2].



Рис. 1. Пожарная автолестница АЛ-55 МАГИРУС

Пожарные автолестницы от компании «МАГИРУС» демонстрируют исключительную оперативность, максимальную надежность и безупречный уровень безопасности. Данная техника полностью отвечает строгим требованиям, предъявляемым к транспортным средствам этого типа, оптимально приспособлена для использования в России и гарантирует бесперебойное функционирование при любых погодных условиях.

Рабочая высота АЛ-55 по оголовку стрелы составляет 55 метров. Лестница оснащена лифтом грузоподъемностью 200 кг, позволяя поднимать или спускать сразу двоих человек под наклоном до 30 градусов.

Автолестница на четырёхосном шасси позволяет качественно расширить тактические возможности при противопожарных и спасательных операциях за счет полной автоматизации, неограниченных возможностей поворота комплекта колен вправо и влево, на боковом вылете в 23 м. Управление АЛ-55 полностью автоматизировано, стрелу можно ориентировать одновременно в 3-х направлениях [3].

Лестничной установкой можно управлять двумя способами: оператором «с земли» при помощи пульта на установке или спасателем из люльки. Электронные системы позволяют демпфировать колебания колен, а также контролируют всевозможные параметры работы лестницы.

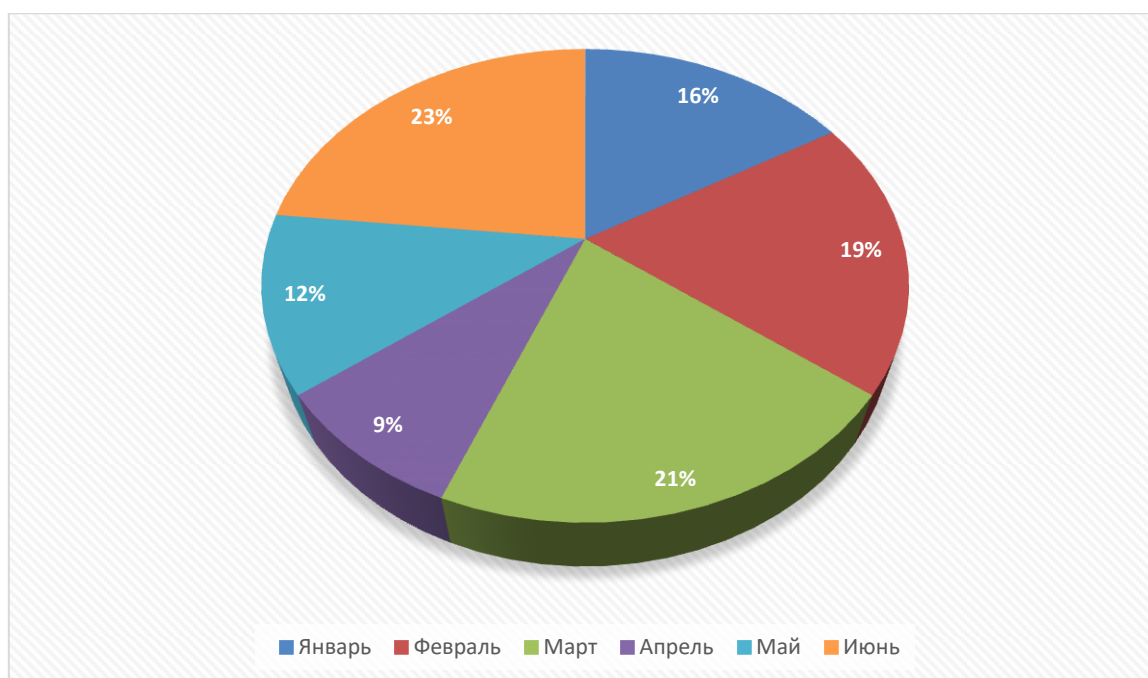


Рис. 2. Диаграмма выездов АЛ-55 МАГИРУС с января по июнь 2025 г. в г. Уфа

В Уфимском гарнизоне имеется более 15 пожарных автолестниц (АЛ-30, АЛ-42, АЛ-50, АЛ-60). По диаграмме мы можем посмотреть процентное значение выездов пожарной автолестницы АЛ-55 в соотношении со всеми выездами пожарных автолестниц в г. Уфа.

Увеличение числа многоэтажных зданий в России говорит нам о том, что в современных условиях необходимы пожарные автолестницы, такие как АЛ-55 и АЛ-60 для обеспечения пожарной безопасности. Это многофункциональное транспортное средство, которое не только обеспечивает доступ на высоту, но и значительно расширяет тактические возможности пожарно-спасательных подразделений.

Библиографический список

1. Савенко В.В., Вахлеев А.В., Симоненко А.С., Тучин И.Ф., Антонов А.В. Особенности работы на специальных агрегатах автолестниц пожарных: учебное пособие. Железногорск: 2022. 10 с.
2. ГОСТ Р 52284-2004. Автолестницы пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний. Москва: 2005.
3. Степаненко А.В., Щипанов А.В. Специальная пожарная и аварийно-спасательная техника: учебное пособие. Тольяти: 2020. 9 с.

© Максина К.А., 2025

М.О. НАСИБУЛЛИН

Baeva.alsu.01@mail.ru

Науч. руковод. – ст. препод. **Ф.К. СИНАГАТУЛЛИН**

Уфимский университет науки и технологий

РОЛЬ ПОЖАРОТУШЕНИЯ НА ОБЪЕКТАХ ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

Аннотация: в работе рассмотрены причины, этапы очагов возгораний и способы минимализации пожароопасности на объектах воздушного транспорта.

Ключевые слова: пожаротушение; безопасность; пожары; ликвидация; способы тушения; схема пожара; пожароопасность; воздушный объект

Пожаротушение на воздушных объектах имеет критическую важность для обеспечения безопасности пассажиров и экипажа. В случае возникновения пожара на борту самолета или другого воздушного средства, время для тушения огня ограничено и любая задержка может привести к катастрофе. Поэтому, правильное оборудование и подготовка персонала по пожаротушению на борту воздушных средств является необходимым условием для обеспечения безопасности полетов. Кроме того, возможность быстрого и эффективного тушения пожара может помочь сохранить самолет и предотвратить ущерб для компании [1].

Пожар на борту самолета может возникнуть по разным причинам, включая:

- короткое замыкание в электрической системе самолета;

- неправильное обращение с горючими материалами, такими как топливо и масло;

- повреждения технических систем и оборудования, таких как двигатели и системы вентиляции;

- неправильная установка или эксплуатация электрических приборов, например, перегрузка электрических сетей;

- нарушение правил безопасности при проведении ремонтных работ на борту самолета;

- спонтанный возгорание горючих материалов, таких как багаж пассажиров или грузов;

- нарушение правил пожарной безопасности пассажирами, например, курение в запрещенных местах.

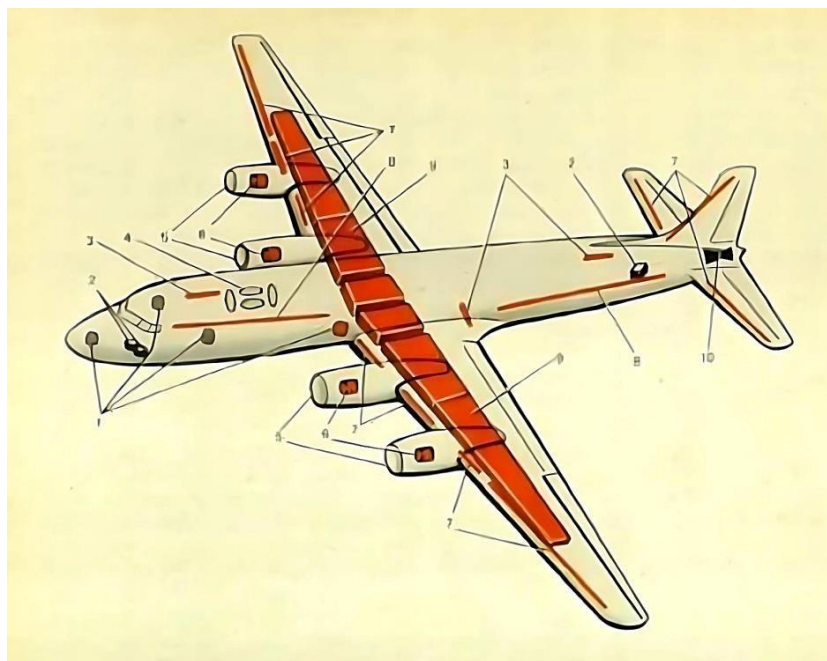


Рис. 1. Пожароопасные зоны на воздушном судне

Первостепенные пожароопасные зоны воздушного транспорта (рис.1):

- емкости с гидрожидкостью (многие гидрожидкости имеют высокую температуру воспламенения и могут взрываться при контакте с огнем);
- аккумуляторы (могут стать источником пожара из-за высокой энергии, которую они содержат, которая может быть высвобождена в результате короткого замыкания, перегрева или повреждения батареи);
- обогреватели бензина (в случае утечки топлива или неисправности обогревателя может возникнуть возгорание, которое быстро распространится из-за наличия легковоспламеняющихся материалов внутри кабины);
- баллоны с кислородом (в случае утечки кислорода или неисправности баллона может возникнуть пожар, который быстро распространится из-за наличия легковоспламеняющихся материалов внутри кабины);
- силовые установки (работают на высокой температуре и под высоким давлением, что может привести к искрению и возгоранию);
- масляные баки (содержат легковоспламеняющиеся жидкости, которые используются для смазки двигателей и других механизмов);
- механизм против обледенения (содержит легковоспламеняющиеся жидкости, которые используются для предотвращения образования льда на крыльях и других поверхностях самолета во время полета);
- система рециркуляции (также содержит легковоспламеняющиеся жидкости, которые используются для охлаждения воздуха и управления температурой внутри кабины);
- цистерны с горючим (содержат легковоспламеняющиеся жидкости - авиационный керосин или топливо для реактивных двигателей);
- вспомогательный источник энергии (содержит легковоспламеняющиеся жидкости, такие как гидравлическое масло или топливо для генератора) [2].

Различают несколько типов очагов возгорания на судне:

- пожар баков с горючим;
- пожар в кабине пассажиров;
- пожар шасси;
- пожар в двигателе;
- пожар в грузовом отсеке;
- пожар в особых условиях.

Рассмотрим первые два вида возгораний. Чтобы предпринять меры по ликвидации пожара, необходимо выяснить место очага возгорания, поскольку по классификации пожаров на воздушных судах этапы тушения и всевозможные опасности расходятся. Так, к характерным чертам пожара разлитого топлива относят быстрое распространение огня, высокую плотность теплового потока и температуру в зоне горения (до 10 000 °С). Особую опасность пожар составляет из-за быстрого прогорания обшивки фюзеляжа, вследствие чего огонь проникает во внутреннюю полость воздушного судна [3].

К основным пунктам ликвидации очага возгорания разлитого горючего вещества относятся:

- анализ очага возгорания;
- координирование сил и средств на решающем направлении;
- охлаждение фюзеляжа и крыла воздушного объекта;

ликвидация пожара разлитого авиатоплива. Схемы тушения пожара представлены на рис. 2.

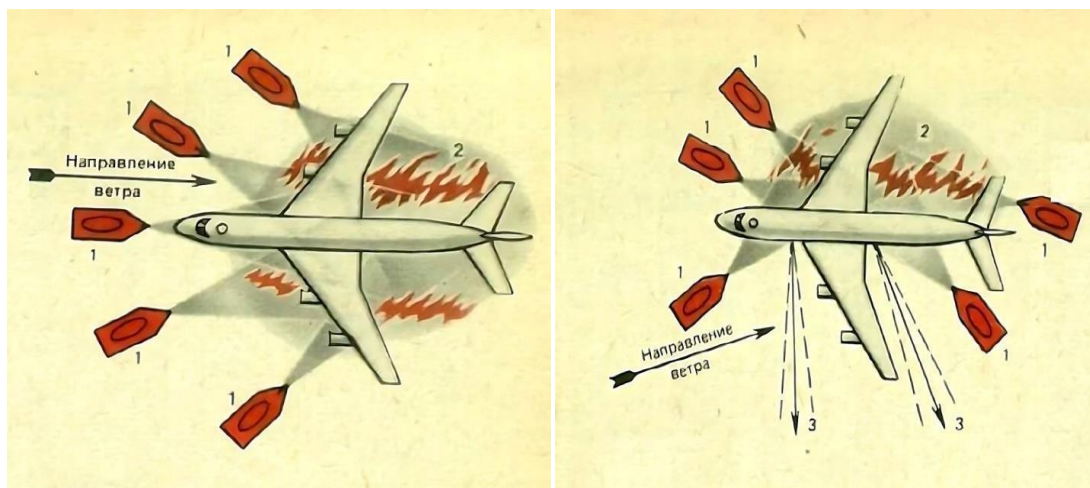


Рис. 2. Схема ликвидации кругового и одностороннего (соответственно) очага возгорания разлитого горючего:

1) пожарные автомобили; 2) зона горения; 3) пути эвакуации пассажиров

Анализ начинается при движении пожарных автомобилей к месту очага возгорания, в результате которой определяются место, характер и параметры пожара, наличие людей и степень угрозы им, а также воздействие природных условий на развитие пламени.

Следующий пункт включает экстренную локализации очага возгорания и вывод пассажиров из опасной зоны [4].

Фюзеляж и крылья самолета охлаждаются водой или другими огнетушащими веществами, которые распыляются на поверхности самолета.

Характерные признаки возгорания пассажирского салона могут включать:

Быстрое распространение огня - из-за большого количества горючих материалов (тканей, пенопласта, пластика и т.д.) огонь может быстро распространяться по салону;

Высокая температура - огонь в пассажирском салоне может достигать очень высоких температур, что может привести к повреждению структурных элементов самолета;

Обильное выделение дыма и газов - при возгорании горючих материалов выделяются ядовитые газы и дым, которые могут привести к отравлению пассажиров и экипажа;

Ограниченность пространства - пассажирский салон самолета является относительно ограниченным пространством, что может затруднить проведение эвакуации и тушения пожара;

Отсутствие возможности вызвать помощь - во время полета на больших высотах может отсутствовать связь с землей, что затрудняет вызов помощи и организацию спасательных операций.

Главной целью является снижение температуры и плотности задымления в салоне и локализация пожара с помощью распыленных струй. В результате тушения очага возгорания применяются такие средства, как:

Распыленные струи воды являются эффективным методом тушения пожара, однако могут быть опасны для людей, так как могут вызвать электрический разряд при контакте с проводами или электроникой. Поэтому перед использованием струй воды необходимо убедиться, что все электронные устройства отключены;

Углекислота используется при отсутствии людей в фюзеляже и герметичности горящих отсеков, так как она опасна для человека, поскольку может вызвать задыхание и даже смерть при высокой концентрации в воздухе;

Пена низкой и средней кратности обладает высокой эффективностью в тушении пожара, но при этом не является опасной для людей, так как не содержит вредных газов и не вызывает задыхания. Схема борьбы с пожаром представлена на рис. 3.

Так, для минимализации пожароопасности на объектах воздушного транспорта необходимы:

Установка автоматических систем пожаротушения. Регулярная проверка и обслуживание электрических систем и оборудования.

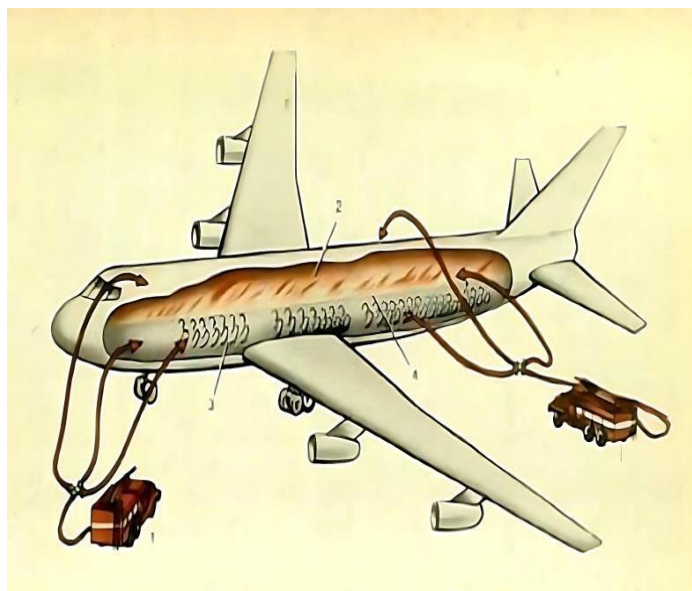


Рис. 3. Схема ликвидации очага возгорания пассажирского салона

Пожары могут возникать из-за неисправностей в электрических системах и оборудовании. Регулярная проверка и обслуживание могут предотвратить возникновение пожаров.

Обучение персонала пожарной безопасности. Персонал, работающий на объектах воздушного транспорта, должен быть обучен мерам пожарной безопасности, включая правильное использование огнетушителей и эвакуацию в случае пожара.

Использование огнезащитных материалов. Огнезащитные материалы могут предотвратить возникновение пожаров и помочь замедлить распространение пламени, если оно все же возникнет.

Применение систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Системы вентиляции и кондиционирования воздуха могут помочь предотвратить возникновение пожаров путем уменьшения количества кислорода и температуры воздуха.

Проведение регулярных пожарных учений и тренировок. Регулярные учения и тренировки помогут персоналу быстро и эффективно реагировать на пожары и минимизировать возможный ущерб [5].

В целом, пожаротушение на воздушных объектах является неотъемлемой частью безопасности авиации и требует постоянного внимания и улучшения.

Библиографический список

1. Тушение пожаров воздушных судов и в аэропортах [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://fireman.club/presentations/tushenie-pozharov-vozdushnyih-sudov-i-v-aeroportah/> Дата обращения: 01.11.25.

2. Пожаротушение на объектах воздушного транспорта. [Электронный ресурс] Режим доступа: https://studref.com/673417/bzhd/pozharotushenie_obektah_vozdušno_go_transporta/

Дата обращения: 01.11.25.

3. Пожарная техника: учебно-методическое пособие/ М.Д. Безбородько, М.В. Алешков, В.В. Роевко [и др.]; Академия Государственной противопожарной службы. Москва: Академия ГПС МЧС России, 2012. 438,

4. Рекомендации по тушению пожаров на воздушных судах на аэродромах гражданской авиации [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://pozhprouekt.ru/nsis/Rd/Rekom/rek-tushenie-aerodrom.htm/> Дата обращения: 01.11.25.

5. Пожаротушение на транспорте: учебно-методическое пособие/ В.В. Теревнев, Н.С. Артемьев, А.В. Подгрушный, В.А. Грачев; под общ. ред. М.М. Верзилина. Москва: Академия ГПС МЧС России, 2014. 340 с.

© Насибуллин М.О., 2025

УДК 614

Е.В. ПОПОВИЧ, И.Н. ГУБАЙДУЛЛИНА

popovich.ekaterina03@mail.ru

Уфимский университет науки и технологий

ОГНЕЗАЩИТНАЯ ОБРАБОТКА ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Аннотация: рассмотрен метод огнезащиты строительных конструкций и материалов из дерева. Исследован процесс реализации объектов из древесины с применением огнезащитных составов. Проведён анализ преимуществ и недостатков проведения деревообработки на заводе и вне его стен.

Ключевые слова: огнезащита; обработка; деревянная конструкция; антипирены; грунтовка

Огнезащита нужна для комплексной защиты древесины. Помимо того, что она задерживает время распространения пламени по древесине и в целом по постройке, такая обработка также защищает постройку из древесины от биопоражений, например, от гниения.

Не стоит забывать, что обработка антипиренами не делает древесину негорючим материалом, потому что обрабатывается только поверхностный слой древесины и рано или поздно древесина все равно сгорит. Такая обработка лишь увеличивает время нагрева до критической отметки, после которой температуры нагрева дерева будет достаточной чтобы брусья какого-либо вида дерева вспыхнули [1].

Основная цель такой обработки - дать возможность человеку покинуть горящее здание и потушить его без угрозы преждевременного разрушения конструкции.

Некоторые антипирены работают следующим образом – они выделяют

газы, которые препятствуют пламени, ингибируют процесс горения. Другие антипирены вызывают интенсивное обугливание древесины

На рынке представлена следующая модификация антипиренов. Это антипирены, которые при нанесении окрашивают древесину в определенный цвет. В основном он придает ей красноватый оттенок. Это необходимо для того, чтобы не было пропусков в нанесении готового раствора. Благодаря этому удастся равномерно покрыть всю поверхность – пропуски исключены. Со временем такое тонирование исчезает, однако, это не говорит о том, что действие антипирена прекращается. Действие состава снизилось, однако он продолжает работать. Вместе с тем, продают также и сухие концентраты с пропорциями 1 к 5-ти для приготовления раствора. Такие концентраты позволяют существенно сэкономить.

Раствор может наноситься кистью, валиком, распылителем или методом вымачивания – главное обеспечить необходимый суммарный расход на 1 м².

Нужно соблюдать следующие этапы нанесения:

Очистить поверхность от грязи пыли смолы и краски, стружки, опилок.

Используя средства индивидуальной защиты нанести раствор. Нанесение должно быть обильным и равномерным.

Дать высохнуть. Древесина сохнет не менее 48-ми часов при температуре от 16 до 20 градусов цельсия с относительной влажностью воздуха 60 процентов [2].

Суммарный расход средства для качественного обеспечения огнезащиты должен составлять не менее 500 грамм на 1 м².

Обработку рекомендуется проводить при температуре окружающей среды не менее +5 градусов по цельсию. Обработанную древесину необходимо защитить от влаги не менее чем на 24 часа.

Некоторые антипирены предназначены только для использования внутри помещений или на открытом воздухе без прямого воздействия атмосферных осадков и контакта с грунтом.

Древесина, обработанная антипиренами устойчива к старению, не высаливается и не выщелачивается, подходит для обработки как новых, так и ранее обработанных конструкций огнезащитными составами. Не препятствует дальнейшей обработке, склеиванию и окраске.

Рассмотрим процесс реализации объектов из древесины с применением огнезащитных составов. При планировании строительства здания все основные требования изначально закладываются в проект объекта. Он определяет внешний вид, используемые материалы, в том числе обеспечивает соблюдение требований пожарной безопасности. Этот документ задействован на всех этапах возведения объекта, от стадии проектирования до стадии строительства. С этим документом должны работать все организации, а именно подрядчики, различные надзорные органы, владельцы объектов, операторы и так далее, то есть это фактически основной и важнейший документ.

При проработке объектов необходимо собрать различные образцы или выкрасы. Это делается для того, чтобы изначально проектировщик с

архитектором смогли согласовать определенный внешний вид материалов и вид самого здания. После согласования с дизайнером и архитектором эти решения прописываются в проекте. Так, они решают ряд вопросов, связанных с обеспечением пожарной безопасности и установлением определенной степени огнестойкости здания. Однако из-за несоблюдения согласованности зачастую происходит следующая проблема: несовместимость огнезащитного покрытия с грунтом, ранее нанесенным на заводе.

Грунтовка для дерева – это специальный жидкий состав, который наносится на деревянную основу, хорошо впитывается в нее и обеспечивает хорошее сцепление следующего слоя лака. Производители добавляют в эти пропитки вещества, которые образуют пленку на поверхности или затвердевают глубоко в порах древесного материала. То есть она служит своеобразной подушкой между деревянной основой и лаком и позволяет всей конструкции быть максимально прочной.

Основными преимуществами грунтов для обработки деревянных поверхностей являются защита древесины от грибков, плесени и других присущих ей заболеваний, продление срока службы деревянной конструкции, выравнивание поверхности, а также грунтовка способствует хорошей адгезии между основанием и слоем краски или лака.

Лак нельзя использовать сразу, потому что у него обычно более низкий показатель адгезии, то есть он гораздо хуже прилипает к древесине, и может возникнуть такая ситуация, что после нанесения лака без грунтовки он отслаивается. Чтобы этого не произошло, используется грунтовка. Существует несколько типов грунтовок – от грунтовок на основе растворителей до акриловых и полиуретановых грунтовок. Грунтовка также является экономичным продуктом. Это лак, который может выступать, например, в качестве первого защитного слоя напольного покрытия. Суть в том, что грунтовочные смеси, как правило, намного дешевле основного лака.

Не рекомендуется наносить лаки и грунтовки разных производителей. Поскольку производитель производит лак по определенной химической формуле и грунтовку по определенной химической формуле, чтобы они как можно лучше сцеплялись друг с другом на молекулярном уровне. Также при помощи грунтовки можно колорировать цвет материала, конструкции, так есть возможность сэкономить на краске. Проблема несовместимости грунта и огнезащитной пропитки не является редкостью. И поэтому это следует четко оценить и учесть на этапе проектирования. На этапе проектирования необходимо запросить образцы и выкрасы у производителей. В конце концов, испытания на совместимость покрытий должны проводиться на стадии проектирования, а не на момент постройки объекта.

Существует два способа обработки конструкций огнезащитным покрытием: на заводе-изготовителе или на стройплощадке. Несомненно, у каждого способа есть свои преимущества и недостатки. Давайте рассмотрим этот вопрос более подробно.

Огнезащитная обработка деревянных конструкций в заводских условиях

имеет следующие преимущества и недостатки. Плюсы:

Удобство комфортно выполнения работ, высокая технологичность. Потому что все оборудование находится в специальном помещении, и человек может обрабатывать объект как на открытом воздухе, так и в помещении, например, при минусовых температурах;

Качественная обработка. Удобство контроля, проще соблюсти условия нанесения огнезащитного покрытия;

Экономия. Затраты на обработку ниже 50% так как нет высотных работ.

Минусы:

Транспортировка. Так как огнезащитное покрытие не является ударопрочным и износостойким, в связи с этим возникают сложности транспортировки конструкций на объект.

Как показывает практика, объект в лучшем случае находится за сотни километров от завода, а учитывая, что он может находиться в сельской местности, это означает, что при транспортировке по грунтовым дорогам конструкции трутся и бьются друг о друга. В результате всего этого требуется постоянный контроль за транспортируемыми материалами и строительными конструкциями;

Хранение. Также необходимо соблюсти необходимые меры для хранения таких конструкций, а именно: они должны быть защищены от солнца, дождя, ветра, от любых возможных факторов, негативно влияющих на качество наносимого огнезащитного слоя.

Огнезащитная обработка деревянных конструкций на объекте имеет следующие преимущества и недостатки. Плюсы:

Отсутствие необходимой транспортировки;

2. Отсутствует излишнее механическое воздействие на обрабатываемую конструкцию.

Минусы:

Сертификация. Любой эксперт может поставить под сомнение легитимность сертификатов на конструкции, обработанные вне заводских условий. При нанесении антипиренов отсутствует возможность контроля регламента производственных работ;

Специалисты. Необходимость в грамотных специалистах, которые умеют выполнять работы по огнезащитной обработке на высоте и в труднодоступных местах, наем таких работников ведет к дополнительным затратам.

Библиографический список

1. Огнебиозащита для древесины [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://yashim.ru/stati/ognebiozashhita-dlya-drevesiny> Дата обращения: 16.09.2025.
2. Огнезащитная обработка [Электронный ресурс]. Режим доступа <https://ultan.ru/product/rastvor-nevymyvaemyy-ultan-ognebiozashchita-bochka-48-l-144-kv-m/> Дата обращения: 17.09.2025.

© Попович Е.В., Губайдуллина И.Н., 2025

А.А. ПРОХОРОВА, Э.И. КАЛЬМЕТЬЕВ, Ш.М. МИНАСОВ

lina.proxorova.78@mail.ru

Уфимский университет науки и технологий

МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАТЕГОРИЙ ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ ПОМЕЩЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ЗДАНИЯ

Аннотация: представлена модель автоматизированного определения категорий взрывопожарной и пожарной опасности помещений на основе цифровой модели здания. Разработаны структура базы данных, а также блок-схема алгоритма определения категории пожароопасности помещений. Решение предназначено анализа и управления рисками в зданиях с гибким функциональным назначением без изменения несущих конструкций.

Ключевые слова: пожарная опасность; категория пожароопасности помещения; взрывопожарная опасность; автоматизация расчетов; цифровая модель здания

В соответствии с требованиями пожарной безопасности производственные и складские помещения классифицируются по категориям взрывопожарной и пожарной опасности: от наиболее опасной категории А до минимально опасной категории Д [1].

Категории А и Б относятся к взрывопожароопасным и характеризуются присутствием горючих газов, легковоспламеняющихся жидкостей или горючей пыли в количествах, способных создать взрывоопасную среду. В частности, к категории А относят помещения с горючими газами или жидкостями с температурой вспышки $\leq 28^\circ\text{C}$, а к категории Б – с горючими пылями, волокнами или жидкостями с более высокой температурой вспышки.

Категории В1–В4 считаются пожароопасными (без взрыва) и включают помещения, где присутствуют горючие или трудногорючие жидкости, твердые материалы, волокна и т.п., которые могут гореть, но не образуют значительного избыточного давления при горении. В1 – имеет наиболее высокую пожароопасность, В4 – наименьшую.

Категория Г характеризует умеренную опасность – в помещении находятся негорючие материалы, которые нагреваются в процессе работы, либо там сжигаются горючие вещества в качестве топлива.

Категория Д присваивается самым безопасным помещениям, где обращаются только негорючие вещества в холодном состоянии.

К настоящему времени разработано множество инструментов, реализующих функции оценки пожарных рисков и определения категорий помещения, например, отечественные системы FireGuard Сигма ПБ и FireCategories. В частности, программа FireCategories [2] предназначена для

определения категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной опасности в соответствии с Федеральным законом №123-ФЗ и сводом правил СП 12.13130.2009 [3].

Определение категории помещений объектов большой протяженности и количества помещений различающихся назначений требует значительных трудозатрат. Наиболее актуальной проблема оценки пожарных рисков становится для владельцев зданий и сооружений, сдающих помещения в аренду, например, торговые комплексы, складские помещения, бизнес-центры, производственные площадки и т.п. В этих случаях изменение функционального назначения помещений может проходить достаточно часто, а нарушение правил пожарной безопасности приводит к трагическим последствиям. Задача автоматизации оценки пожарных рисков по-прежнему является актуальной

Функциональная модель. На рис. 1 и рис. 2 представлена функциональная модель IDEF0 процесса оценки категории помещений по критериям взрывопожароопасности. Она отражает логическую структуру обработки данных и этапы, необходимые для расчёта категории помещения.

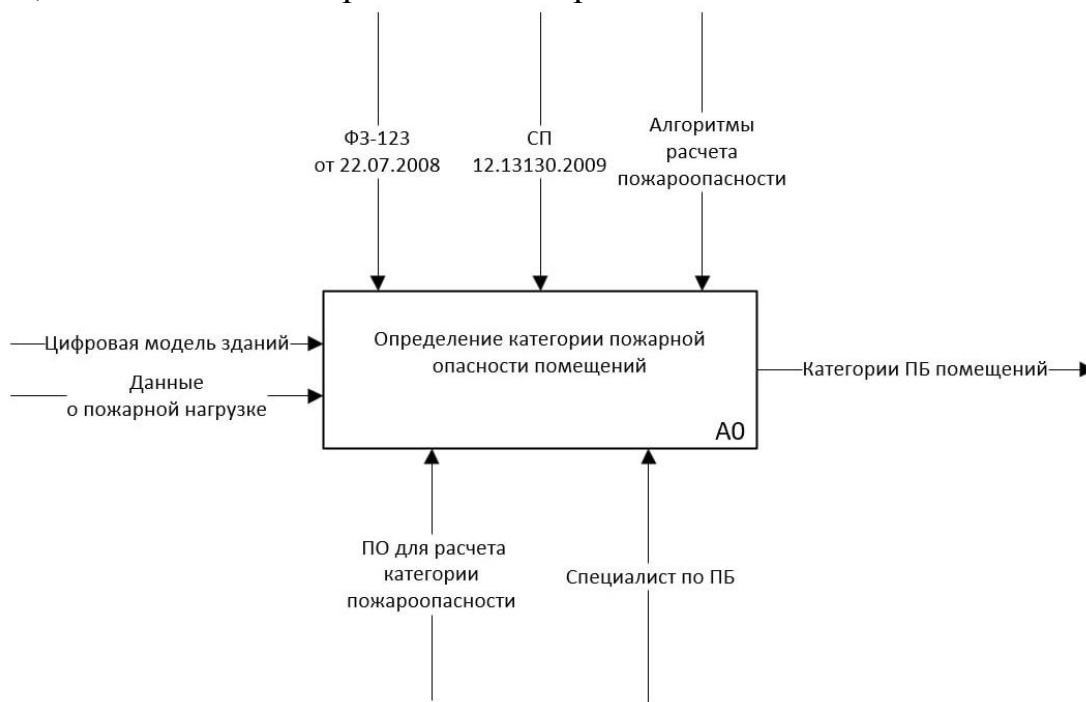


Рис. 1. Функциональная модель «Определение категории пожарной опасности помещений»

На всех этапах обеспечивается контроль со стороны специалиста, опора на действующие нормативы, а также использование цифровой модели и алгоритмов расчёта. Функциональная модель подчёркивает, что автоматизация возможна только при совместной работе нормативной базы, алгоритмического обеспечения и точного ввода параметров в цифровую модель. Это обеспечивает согласованность данных и корректность итогового результата.

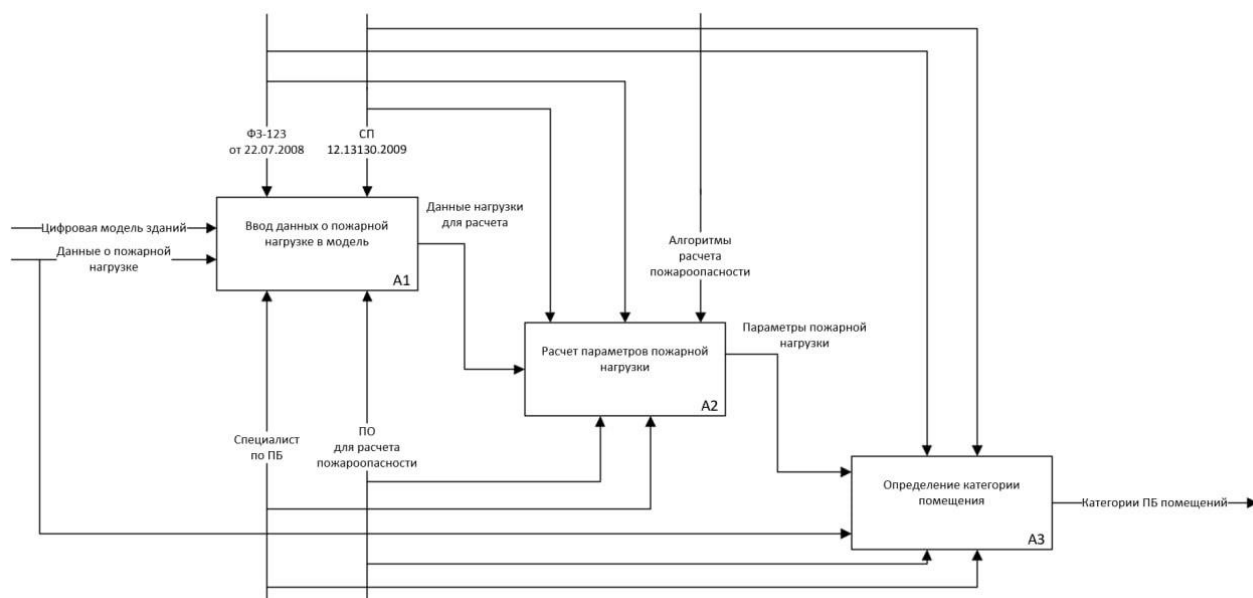


Рис. 2. Декомпозиция функциональной модели

Информационная модель базы данных.

На рис. 3 представлен фрагмент структуры базы данных, описывающий такие сущности как материалы, помещения, горючие вещества и вспомогательные справочники.

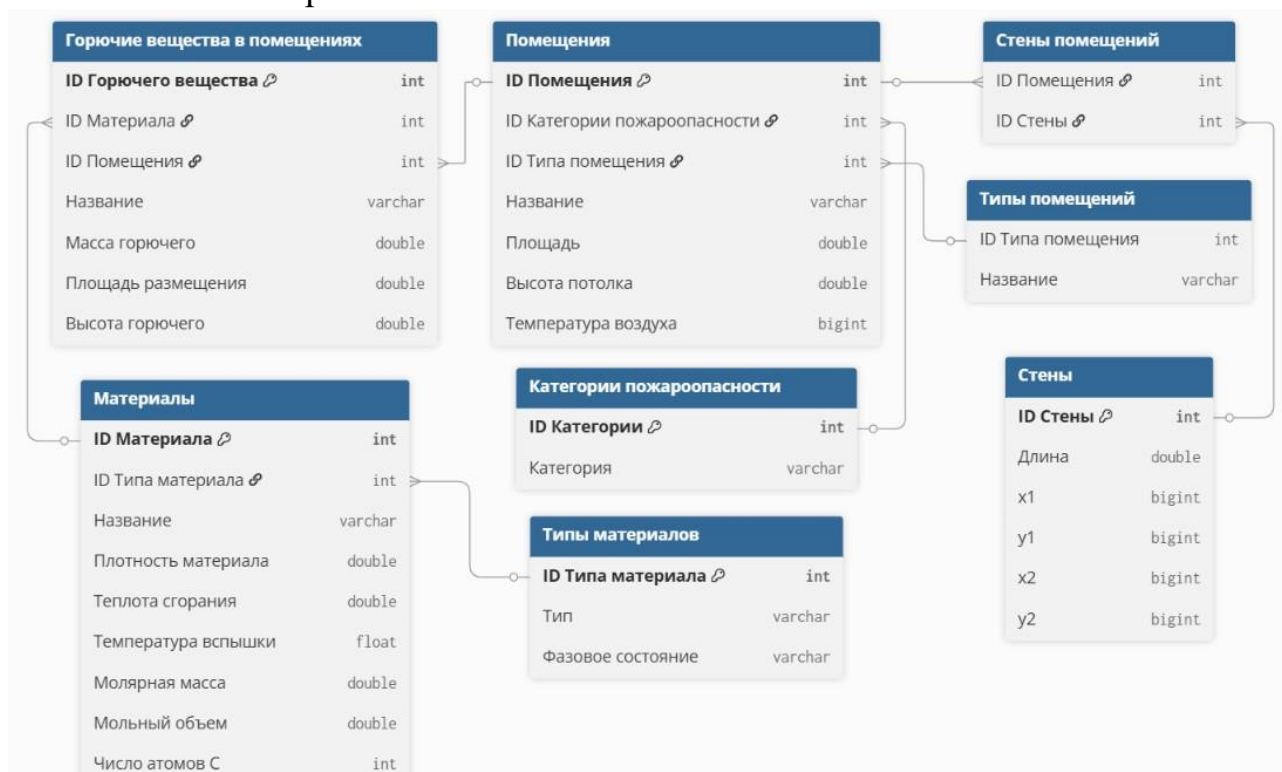


Рис. 3. Фрагмент структуры БД для расчета категории пожарной опасности

Алгоритм определения категории.

Блок-схема алгоритма определения категории помещений по взрывопожарной опасности приведена на рис. 4.

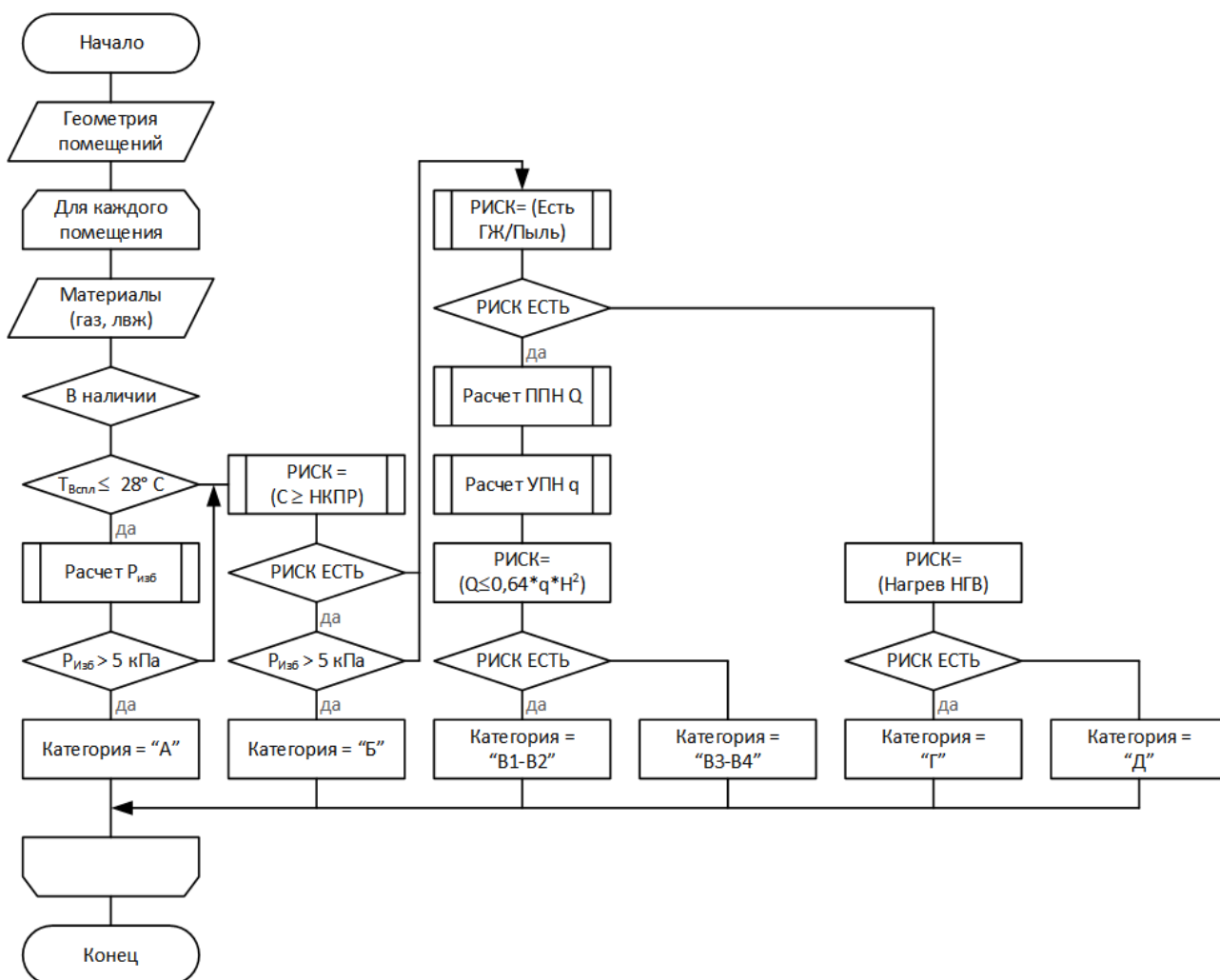


Рис. 4. Блок-схема алгоритма определения категории помещения по взрывопожарной опасности

Алгоритм разработан на основе нормативных документов.

При расчете категории помещения, сначала определяется, относится ли оно к взрывопожароопасным категориям А или Б. Для этого вычисляется расчетное избыточное давление взрыва ΔP внутри помещения при воспламенении горючей смеси в результате аварии. Расчет ΔP ведется по методикам, приведенным в нормативных документах [4].

Полученное расчетное значение ΔP сравнивается с пороговым значением.

Если $\Delta P > 5$ кПа, помещение относится к взрывопожароопасной категории (А или Б в зависимости от природы веществ) [5].

Если $\Delta P < 5$ кПа, то помещение не подпадает под категории А или Б, и далее определяется его пожароопасная категория В.

Для определения категории В1-В4 вычисляются величина пожарной нагрузки Q и удельная пожарная нагрузка q , характеризующие потенциальную тепловую энергию горения материалов и веществ в помещении [6].

Если помещение не удовлетворяет критериям категорий А, Б и В, то проверяется его соответствие категориям Г и Д, которые применяются, когда в

помещении используются негорючие вещества, материалы или технологические процессы без значительной пожарной опасности.

Заключение. Разработанное решение автоматизированного определения категорий взрывопожароопасности помещений на основе цифровой модели здания [7] позволяет упростить и ускорить данный процесс, минимизируя человеческий фактор и повышая точность расчётов. Расчеты производятся в соответствии с требованиями нормативных документов (ФЗ-123, СП 12.13130.2009 и др.).

Решение предназначено для интеграции в системы поддержки принятия решений при эксплуатации зданий и их комплексов для протяженных объектов сложной пространственной геометрии [8] и является частью разрабатываемой информационной системы управления комплексной безопасностью зданий и сооружений, служит основой для построения интеллектуальных подсистем оценки пожарных рисков с целью обеспечения максимального уровня защиты людей при минимальных затратах на ввод и эксплуатацию систем безопасности и парирования нештатных ситуаций.

Библиографический список

1. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ (ред. от 25.12.2023) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» // СПС КонсультантПлюс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/a8c77699ce581f96b2636dee84de4e750b33ed20/ Дата обращения: 15.11.2025.

2. FireCategories – расчет категорий // FireCat URL: <https://pyrosim.ru/pyrogramma-rascheta-kategorij> Дата обращения: 15.11.2025.

3. Приказ МЧС РФ от 25.03.2009 № 182 (ред. от 09.12.2010) «Об утверждении свода правил «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» // СПС КонсультантПлюс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_89061/c2e0537c74e6a91a3f0895023b8defd3f19c3080/ Дата обращения: 15.11.2025.

4. Приказ МЧС РФ от 18.06.2003 № 314 «Об утверждении норм пожарной безопасности "Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» (НПБ 105-03) // СПС КонсультантПлюс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_76267/b04de863a413c85c00c6020ca670f9b1a0440bdf/ Дата обращения 15.11.2025.

5. Захлевная И.И., Руденко В.А., Литовка В.А. Определение категории помещения по взрыво- и пожароопасности в цеху по производству полимерного материала // Образование. наука. Производство. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2022. С. 95-99.

6. Бородина Е.Ю., Полковников Е.В., Высоцкая Е.А. Практические приемы определения пожарной нагрузки на предприятии ООО

«Землянкмолоко» / Том Часть 2. Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2017. С. 303-308.

7. Сергеева А.Е., Кальметьев Э.И., Минасов Ш.М. Модели и алгоритмы формирования оптимального маршрута при техническом обслуживании и ремонте инженерных систем на объектах сложной геометрии // Мавлютовские чтения: материалы XVIII Всероссийской молодёжной научной конференции. Уфа, 2024. С. 843-849.

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2025668280. INTERIOR GUIDE PLAYER / Минасов Ш. М., Кальметьев Э. И., Сергеева А. Е. и др. Заявка №2025667093. Дата поступления 16.06.2025 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 14.07.2012 г.

© Прохорова А.А., Кальметьев Э.И., Минасов Ш.М., 2025

УДК 621.642.4

Д.М. РАХМАТУЛЛИНА

dina.rahm@yandex.ru

Науч. руковод. – д-р экон. наук, проф. **С.Г. АКСЕНОВ**

Уфимский университет науки и технологий

СИСТЕМА ПЕННОГО ТУШЕНИЯ НА НЕФТЕНАЛИВНЫХ ЭСТАКАДАХ

Аннотация: нефтеналивные эстакады относятся к объектам повышенной пожарной опасности из-за постоянного наличия паров легковоспламеняющихся жидкостей. Данная статья подробно рассматривает устройство, принцип работы, нормативные требования и ключевые компоненты этих инженерно-технических комплексов, чья надежная работа очень важна для предотвращения техногенных катастроф.

Ключевые слова: нефтеналивная эстакада; пенное тушение; пожарная безопасность; ороситель; пенообразователь

Каждая авария в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности может повлечь за собой катастрофические последствия: масштабные человеческие жертвы, многомиллиардный экономический ущерб, экологическую катастрофу. Строжайшее соблюдение мер безопасности на всех этапах производства является критически важным.

Нефтеналивные эстакады используются при загрузке и сливе нефти для последующей транспортировки, являются важной частью нефтяной базы: ключевым звеном в логистической цепи нефтепродуктов [1]. Конструкция состоит из нескольких частей: набор труб, смонтированных на специальных опорах, системы контроля, управления, автоматической регулировки подачи нефти, пожаротушения. На нефтяной базе такие конструкции устанавливаются так, чтобы был обеспечен подъезд железнодорожного или автомобильного

транспорта.

Аварии на нефтеналивных эстакадах могут произойти вследствие нескольких типовых нарушений и недостатков, которые можно выявить в ходе надзорных мероприятий [2]:

нарушение проектной документации: неверные расчеты площади орошаемой поверхности, интенсивности орошения;

эксплуатационные нарушения: недостаточный запас пенообразователя, неверное техническое обслуживание оборудования или его отсутствие, отсутствие четких инструкций для персонала, неправильное хранение оборудования;

нарушения при монтаже: неверная установка оросителей, не позволяющая эффективно покрыть пеной расчетную площадь.

Эти сооружения являются объектами повышенной пожарной опасности, так как на них постоянно проводятся работы с легковоспламеняющимися жидкостями (ЛВЖ) и горючими жидкостями (ГЖ), что сопровождается образованием взрывоопасных паровоздушных смесей, риском разливов продукта [3]. К пожару может привести возникновение: искр, образующихся от трения конструкции, электрооборудования, инструментов; статического электричества, возникающего при движении жидкости по трубопроводам и во время заполнения резервуаров; аварийного пролива нефтепродуктов.

Вода, традиционно используемая для тушения пожаров, не только неэффективна, но и крайне опасна при горении нефтепродуктов: она приводит к их растеканию и резкому увеличению площади пожара. Ключевым элементом противопожарной защиты на таких сооружениях является система пенного пожаротушения – единственный надежный способ локализации и ликвидации подобных аварий [4].

Система пенного пожаротушения представляет собой автоматизированный инженерный комплекс, включающий следующие элементы:

насосы – устройства, предназначенные для подачи воды и пенообразователя под требуемым давлением;

резервуары для воды и пенообразующего вещества – ёмкости, устойчивые к коррозии, которые содержат запас веществ, достаточный для тушения пожара в течение 10-15 минут;

трубопроводы – сеть распределительных каналов, предназначенная для транспортировки огнетушащего вещества к форсункам;

форсунки – элементы системы, отвечающие за распределение пены после срабатывания установки, их расположение настраивается таким образом, чтобы было обеспечено покрытие ключевых зон и участков с повышенной пожарной опасностью;

пенообразующее вещество – химический состав, смешиваемый с водой для получения пены;

дозировочные устройства – механизмы, позволяющие точно контролировать и регулировать объем подаваемого пенообразователя;

контрольные панели – оборудование для наблюдения за функционированием системы и управления ее работой;

системы обнаружения пожара – компоненты, запускающие систему тушения при возникновении угрозы: сигнализируют о пожаре и инициируют подачу воды и пенообразующего состава;

запорные устройства – элементы, предназначенные для регулирования потока огнетушащего вещества в системе;

запасные источники энергии – резервные энергосистемы, обеспечивающие бесперебойную работу установки при отключении основного электропитания [5].

Эти компоненты совместно образуют структуру системы пенного пожаротушения, обеспечивая эффективное и быстрое реагирование на возможные пожары.

Для тушения горящих нефтепродуктов обычно используется воздушно-механическая пена низкой и средней кратности. Сплошной слой пены имеет низкую плотность, поэтому растекается по всей поверхности горящего продукта, тем самым перекрывает доступ кислорода и при этом предотвращает выделение легковоспламеняющихся паров наружу, а водная составляющая пены поглощает тепло и снижает температуру. Вода при изготовлении раствора пенообразователя не должна содержать примесей нефтепродуктов.

Расчетные расходы раствора пенообразователя, а также воды и пенообразователя на тушение пожара определяются исходя из нормативной интенсивности подачи раствора пенообразователя, принимаемой по таблице 1 (для пены средней кратности) и по таблице 2 (для пены низкой кратности) на 1 м² расчетной площади тушения и рабочей концентрации пенообразователя.

Таблица 1

Нормативные интенсивности подачи пены средней кратности для тушения нефти и нефтепродуктов

Вид нефтепродукта	Нормативная интенсивность подачи раствора пенообразователя, л·м ⁻² ·с ⁻¹		
	Пенообразователи общего назначения	Пенообразователи целевого назначения	
		Фторсодержащие	
	Углеводородные	«не пленкообразующие»	«пленкообразующие»
Нефть и нефтепродукты с Твсп 28 °С и ниже и ГЖ, нагретые выше Твсп	0,08	0,06	0,05
Нефть и нефтепродукты с Твсп более 28 °С	0,05	0,05	0,04
Стабильный газовый конденсат	-	0,12	0,1

Пенообразователи делятся на три типа:

Целевого назначения. Используется при тушении нефтепродуктов и горюче-смазочных материалов (ГСМ). Для возможности применения в зимний период в концентрат добавляют морскую соль.

Общего назначения. Пенообразователь при этом используется для создания огнетушащих веществ, гасящих тлеющие материалы и ГСМ. Такие пенообразователи считаются универсальными и не подходят для пожаров в экстремальных условиях.

Пленкообразующие. Сфера применения – пожары углеводородного топлива или в резервуарах [6].

Таблица 2

Нормативная интенсивность подачи пены низкой кратности для тушения нефти и нефтепродуктов

Вид нефтепродукта	Нормативная интенсивность подачи раствора пенообразователя, л·м ⁻² ·с ⁻¹					
	Фторсодержащие пенообразователи «не пленкообразующие»		Фторсинтетические «пленкообразующие» пенообразователи		Фторпротеиновые «пленкообразующие» пенообразователи	
	на попер	в слой	на пов	в слой	на пов	в слой
Нефть и нефтепродукты с $T_{всп} \leq 28^\circ\text{C}$	0,08	-	0,07	0,10	0,07	0,10
Нефть и нефтепродукты с $T_{всп} > 28^\circ\text{C}$	0,06	-	0,05	0,08	0,05	0,08
Стабильный газовый конденсат	0,12	-	0,10	0,14	0,10	0,14

Площадь пожара определяется не площадью всей эстакады, а площадью возможного разлива нефтепродукта.

Так, зная площадь пожара ($S_{п}$ [м²]) и нормативную интенсивность ($J_{н}$ [л/м²·с]) можно определить минимальный показатель расхода водного пенообразователя на тушение такого пожара ($q_{р-ра}$ [л/с]):

$$q_{р-ра} = J_{н} \cdot S_{п}$$

Цикл работы системы полностью автоматизирован. При возникновении пожара срабатывает датчик системы обнаружения, сигнал поступает на приемно-контрольный прибор, затем – на пульт управления. Автоматически включается система оповещения, запускаются пожарные насосы, от которых вода поступает в трубопроводы. Раствор пенообразователя образуется путем смешения воды и пенообразователя, поступающего в водяной поток из емкости дозатора [7]. Далее раствор подается к пенным оросителям, которые, за счет своей конструкции, подсасывают воздух и генерируют из раствора пену нужной кратности. Пена поступает в очаг возгорания, ликвидируя его.

У системы пенного пожаротушения есть как преимущества, так и недостатки:

Преимущества: достигают высокой скорости и эффективности тушения горения ЛВЖ и ГЖ, возможность полной автоматизации процесса на всех этапах, предотвращение деформации конструкций

Недостатки: высокие затраты на проектирование, монтаж, техническое обслуживание, регулярные испытания, необходимость постоянного контроля запаса и качества пенообразователя, экологический ущерб от применения фторсодержащих пенообразователей, необходимость утилизации пены после срабатывания [8].

Тем не менее, системы пенного тушения являются неотъемлемым и наиболее важным элементом системы обеспечения пожарной безопасности на нефтеналивных эстакадах. Их корректная работа влияет на масштаб возможных последствий при возникновении аварии. Использование актуальных нормативно-правовых актов при проектировании, качественный монтаж, квалифицированное обслуживание – обеспечивают надежную защиту объекта.

Библиографический список

1. СП 155.13130.2014 Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности.
2. СП 484.1311500.2020 Системы противопожарной защиты. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования.
3. Сливоналивные эстакады для легковоспламеняющихся, горючих жидкостей и сжиженных углеводородных газов. Требования пожарной безопасности. Рекомендации ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2007.
4. Решетов А.П., Ключ В.В., Бондарь А.А., Косенко Д.В. Планирование и организация тушения пожаров. Пожарная тактика: учебник. СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС РФ, 2015.
5. Повизик Я.С. Пожарная тактика. М.: Спецтехника, 2007.
6. Гусаков А.Н., Текст научной статьи по специальности Энергетика и рациональное природопользование»: Пены для тушения нефти и нефтепродуктов.
7. Пенные установки пожаротушения: классификация и применение. [сайт] – URL: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/pennyie-ustanovki-pozharotusheniya-klassifikatsiya-i-primeneniye/?ysclid=mfthct5rbn770092284>
8. Пена и пенообразователи: назначение, виды, состав и свойства [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://fireman.club/presentations/pena-i-penoobrazovateli-naznachenie-vidyi-sostav-i-svoystva/>.

© Рахматуллина Д.М., 2025

И.Р. РИЯНОВ, Ф.К. СИНАГАТУЛЛИН

iriyanov01@gmail.com

Уфимский университет науки и технологии

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПОЖАРОВ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Аннотация: в статье рассматриваются методы применения искусственного интеллекта для прогнозирования и предотвращения пожаров на промышленных объектах. Представлены нейросетевые и машинно-обучающие модели, примеры практического внедрения, а также предложения по совершенствованию нормативно-технической базы промышленной пожарной безопасности.

Ключевые слова: искусственный интеллект; машинное обучение; нейронные сети; пожарная безопасность; промышленность; прогнозирование; абгазы; извещатели; нормативная база; автоматизация; промышленная безопасность; сенсоры; анализ данных; ПоТ

В последние годы подход к промышленной безопасности постепенно смещается от реактивного к предиктивному. Если раньше система пожарной сигнализации представляла собой совокупность сенсоров, фиксирующих уже начавшееся возгорание, то теперь перед инженерами стоит задача предугадывать развитие пожароопасной ситуации ещё до того, как она перерастёт в инцидент. Ключевую роль в этом переходе играет искусственный интеллект, способный анализировать большие массивы данных с датчиков, видеокамер, тепловизоров и систем контроля атмосферы.

В работах Андреева, Доронина и Терехина приведён пример внедрения интеллектуальных газовых извещателей, способных оценивать не только концентрацию газов, но и скорость изменения параметров среды, что позволяет обнаруживать предпосылки возгорания ещё до появления открытого пламени [1]. По сути, речь идёт о переходе от статического датчика к элементу системы машинного восприятия, в которой каждая единица оборудования формирует свой «профиль поведения». Такая архитектура близка к концепции самообучающихся распределённых сетей, применяемых в промышленной автоматике.

Интересно, что при испытаниях прототипов интеллектуальных извещателей в лаборатории Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России фиксировалось сокращение среднего времени реагирования на 23-27 % по сравнению с традиционными аналогами [1]. Это демонстрирует, что искусственный интеллект не просто анализирует поступающие сигналы, а

способен распознавать скрытые взаимосвязи между показателями — например, между микроскопическим повышением температуры и колебаниями содержания угарного газа.

Дальнейшее развитие концепции связано с идеей мультисенсорных комплексов, где информация с видеокамер, акустических и газоанализаторных модулей поступает в единую систему. Её алгоритмы, основанные на нейронных сетях и методах статистического обучения, оценивают вероятность возгорания в реальном времени. Исследования Ермакова, Димитрюка и их коллег показали, что интеграция ИИ-модулей в классические системы пожарной сигнализации повышает точность распознавания пожара с 85 % до 96 % [2]. Однако вместе с тем встаёт вопрос калибровки: алгоритм должен быть обучен на реальных промышленных данных, иначе ложные срабатывания нивелируют эффект автоматизации.

Наблюдается и вторая тенденция — развитие адаптивных систем диагностики. В отличие от простых извещателей, такие системы формируют цифровой профиль помещения: распределение тепловых потоков, влажности и давления в нормальных условиях. При любом отклонении от нормы ИИ формирует тревожный сигнал, не дожидаясь обнаружения дыма. Это особенно эффективно для химических производств, где возгорание может начаться без видимого пламени. По расчётам специалистов, применение подобного подхода позволяет снизить материальные потери при инцидентах на 35-40 % [2].

Рассматривая общий уровень внедрения ИИ в промышленную пожарную безопасность, можно заметить, что Россия пока находится на стадии опытных проектов. Однако нормативные инициативы, включая разработку стандартов для интеллектуальных извещателей, уже обсуждаются на уровне профильных подразделений МЧС. Таким образом, формируется технологическая основа для перехода от автоматических к интеллектуальным системам пожарной сигнализации, где ключевым элементом выступает способность алгоритма не просто фиксировать событие, а прогнозировать развитие угрозы.

Предиктивная аналитика в пожарной безопасности опирается на математические модели, которые объединяют физические характеристики среды и вероятностные зависимости. В классических подходах расчёт пожарных рисков основан на решении уравнений теплопереноса, однако такие модели требуют значительных вычислительных ресурсов. Применение машинного обучения позволило радикально ускорить этот процесс и адаптировать расчёты к условиям конкретного объекта.

В исследовании Калачина предложена математическая модель прогнозирования опасных факторов пожара в помещении, где взаимосвязь между параметрами горючих материалов описывается системой линейных полиномиальных уравнений [3]. Автор использует восемь признаков: низшую теплоту сгорания, удельную скорость выгорания, дымообразующую способность, потребление кислорода и др. С помощью библиотеки Scikit-learn он реализовал алгоритм, который формирует корреляционную матрицу и выявляет наиболее значимые зависимости. Например, коэффициент корреляции

0,69 между теплотой сгорания и линейной скоростью пламени указывает на предсказуемую взаимосвязь этих факторов, что позволяет прогнозировать динамику распространения пожара ещё на стадии расчёта.

Применение подобных моделей на промышленных объектах обеспечивает переход к цифровому двойнику производственной зоны, где каждый технологический параметр становится частью обучающего датасета. В дальнейшем алгоритм способен оценивать вероятность возгорания при изменении температуры или концентрации газа. С точки зрения точности прогнозирования коэффициент детерминации разработанной модели составил $R^2 = 0,99$, что подтверждает её высокую адекватность [3].

Работа Сингха, Прибыльского и Косенко расширяет этот подход, предлагая использовать ансамбли нейронных сетей для анализа временных рядов показаний сенсоров [5]. Такой метод не требует строгого математического описания среды: система самостоятельно выделяет ключевые закономерности и создаёт прогноз на основе вероятностных сценариев. На промышленных объектах это особенно важно, поскольку поведение технологического оборудования сложно описать формулами. В экспериментах авторов модели на основе рекуррентных нейронных сетей предсказывали повышение температуры с точностью до 94 %, а время предупреждения превышало традиционные системы на 12-15 секунд [5].

Кроме того, машинное обучение используется для оптимизации конфигурации пожарных систем. Сравнение алгоритмов Random Forest, SVM и нейронных сетей показало, что комбинированные модели обеспечивают наилучший баланс между скоростью и надёжностью прогнозирования. В условиях ограниченных вычислительных мощностей такие системы можно внедрять даже на локальных контроллерах без необходимости подключения к облачным платформам.

Опыт отечественных и зарубежных инженеров подтверждает: эффективность ИИ-моделей напрямую зависит от качества обучающих данных. Если алгоритм «кормится» лабораторными примерами, он быстро теряет точность в реальных производственных условиях. Поэтому наиболее перспективным направлением становится создание национальных датасетов по типовым пожароопасным процессам в промышленности — от металлургии до нефтехимии. Такое решение позволит унифицировать обучение систем и повысить достоверность прогнозов, что в конечном итоге приведёт к снижению количества аварийных ситуаций и человеческих жертв.

Использование нейронных сетей в промышленной пожарной безопасности постепенно выходит за рамки задач раннего оповещения. Сегодня искусственный интеллект применяется для управления технологическими процессами, где существует риск возгорания. Особенно показательно исследование Коваленко, Шулаевой и их коллег, продемонстрировавших эффективность нейросетевого управления процессом сжигания абгазов на предприятиях нефтехимии [4]. Абгазы — это отходящие газовые смеси, содержащие горючие и токсичные компоненты. Их безопасное сжигание

требует точного контроля температуры и соотношения воздуха и газа. Любое отклонение способно вызвать локальный перегрев или взрыв.

Авторы создали модель, основанную на архитектуре многослойного персептрона, которая обучается на исторических данных датчиков температуры, давления и состава смеси. После обучения сеть самостоятельно вырабатывает корректирующие сигналы для системы подачи воздуха. В результате, как показали промышленные испытания, вероятность аварийного повышения температуры снизилась на 37 %, а расход топлива на поддержание горения уменьшился на 12 % [4]. Такие результаты демонстрируют, что нейросеть может выполнять функции оператора, принимая решения быстрее человека и без эмоциональных факторов.

Применение подобных систем особенно ценно для предприятий, где технологические процессы протекают при высоких температурах и наличии летучих соединений – например, в металлургии и производстве синтетических материалов. При этом архитектура нейросетей легко адаптируется под конкретные задачи: рекуррентные сети применяются для анализа временных зависимостей, а сверточные – для обработки тепловых изображений и видеопотоков. Появление таких гибридных решений формирует новое направление – «умная пожарная автоматика», где ИИ не просто контролирует параметры, а моделирует сценарии возможных нарушений в системе.

Однако широкое внедрение нейросетевых алгоритмов сталкивается с технологическими и нормативными барьерами. Большинство предприятий не располагает достаточным объёмом качественных данных для обучения моделей. Кроме того, действующие стандарты пожарной безопасности не предусматривают сертификацию программных решений, основанных на самообучающихся алгоритмах. Тем не менее, практика использования ИИ для управления процессами горения доказывает, что цифровое моделирование и предиктивная логика способны превратить даже потенциально опасные участки в управляемые системы. Именно здесь формируется фундамент для создания интегрированных платформ промышленной безопасности, объединяющих анализ, прогнозирование и управление в единую нейросетевую экосистему.

Переход от традиционных систем пожарной сигнализации к интеллектуальным решениям требует не только технических, но и правовых изменений. Автоматизированные алгоритмы прогнозирования и принятия решений пока находятся вне правового поля, а их внедрение ограничено отсутствием регламентов, описывающих порядок сертификации и ответственности. В этом контексте важным представляется вывод Андреева и его коллег о необходимости пересмотра структуры национальных стандартов пожарной сигнализации с учётом особенностей ИИ-систем [1].

Существующий Федеральный закон № 123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» закрепляет нормы проектирования и эксплуатации оборудования, но не содержит положений, касающихся алгоритмических решений. Например, в нём отсутствуют критерии достоверности прогноза или процедуры верификации нейросетевых моделей.

Между тем, опыт промышленности показывает, что интеллектуальные извещатели и прогнозирующие системы уже сейчас превосходят традиционные устройства по скорости и точности реакции. По данным исследователей, среднее время обнаружения возгорания при использовании ИИ-сенсоров сокращается до 1,8 секунды, тогда как стандартные системы реагируют через 3,2 секунды [2].

Одним из предложений, заслуживающих практического рассмотрения, является создание национального реестра сертифицированных алгоритмов, предназначенных для применения в системах промышленной безопасности. Это позволит формализовать процедуры проверки точности и устойчивости моделей, а также установить требования к объёму обучающих данных. Дополнительно можно внедрить механизм независимой экспертизы, где каждое программное решение проходит тестирование в условиях, приближённых к реальной эксплуатации.

Другим направлением развития нормативной базы является интеграция ИИ в архитектуру промышленных систем класса IIoT (Industrial Internet of Things). Здесь важно предусмотреть стандартизированные протоколы обмена данными между датчиками, контроллерами и облачными сервисами. Современные технологии позволяют формировать непрерывный поток информации о температуре, составе воздуха, давлении и вибрациях оборудования. Искусственный интеллект обрабатывает эти данные в реальном времени, выявляя аномалии и выдавая команды на локальные исполнительные механизмы.

Создание такой системы требует скоординированных действий регуляторов, разработчиков и производителей оборудования. В перспективе возможно формирование единого государственного стандарта на интеллектуальные пожарные комплексы, включающего требования к алгоритмам машинного обучения, интерфейсам и надёжности прогнозов. Это станет основой для перехода к концепции «умного промышленного объекта», где безопасность обеспечивается не только реагированием на события, но и постоянным прогнозом их вероятности. Иными словами, система искусственного интеллекта должна стать не вспомогательным элементом, а центральным механизмом управления пожарными рисками, включённым в нормативную структуру промышленности.

Библиографический список

1. Андреев А.В. Перспективы построения систем пожарной сигнализации на принципах искусственного интеллекта (на примере газовых пожарных извещателей) / А.В. Андреев, А.С. Доронин, С.Н. Терехин // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. 2022. № 1. С. 65-74.

2. Ермаков С.А. Вопрос о перспективах развития интеллектуальных пожарных извещателей / С.А. Ермаков, В.В. Димитрюк, С.М. Жданов, А.А.

Фадеев // Пожаровзрывобезопасность. 2024. Т. 33, № 2. С. 68-76.

3. Калачин С.В. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении методами машинного обучения // Безопасность труда в промышленности. 2020. № 3. С. 48-54.

4. Коваленко Ю.Ф. Моделирование безопасного проведения процесса сжигания абгазов с использованием нейронных сетей / Ю.Ф. Коваленко, Е.А. Шулаева, И.А. Табаков, М.Д. Мамлеев // Южно-Сибирский научный вестник. 2024. № 6(58). С. 207-212.

5. Сингх С. Разработка и исследование алгоритмов прогнозирования пожароопасных ситуаций / С.Сингх, А.В. Прибыльский, Е.Ю. Косенко // Известия ЮФУ. Технические науки. 2025. № 1(243). С. 65–81.

© Риянов И.Р., Синагатуллин Ф.К., 2025

УДК 614

В.А. САЙФУЛЛИН

saficvenya03@mail.ru

Науч. руковод. – канд. экон. наук, доцент **И.Н. ГУБАЙДУЛЛИНА**

Уфимский университет науки и технологий

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПОЖАРОВ В ЖИЛЫХ ДОМАХ

Аннотация: безопасность жилья продолжает подвергаться серьезной опасности из-за частых пожаров. Эта проблема, напрямую угрожающая жизням и имуществу, не теряет своей актуальности, несмотря на внедрение передовых технологий и систем предотвращения возгораний.

Ключевые слова: пожары; безопасность; автоматические системы; профилактика; датчики; огнестойкие материалы; системы оповещения

Существующие подходы к противопожарной защите жилых помещений требуют постоянного совершенствования. Сохранение жизни и собственности граждан напрямую зависит от решения проблемы возгораний в быту. Анализ статистики показывает, что основными источниками опасности по-прежнему остаются пренебрежение мерами предосторожности и несоблюдение установленных норм [1]. В связи с этим особую значимость приобретают превентивные стратегии, нацеленные на раннее выявление рисков и их нейтрализацию. Данное исследование посвящено анализу продуктивных методик, направленных на минимизацию вероятности возгораний в жилом секторе, а также оценке влияния технологических инноваций на формирование безопасной среды для проживания.

Анализ статистики МЧС России за 2024 год демонстрирует тревожную

цифру: свыше 35 тысяч пожаров возникло в жилых помещениях, причем основная их доля (60%) является следствием так называемого человеческого фактора [2].

Ярким примером подобной халатности стала трагедия в Новосибирске в январе 2025 года, где в двенадцатиэтажном жилом здании из-за неисправного электроудлинителя погибло четыре человека [3].

Анализ обстоятельств возгораний в жилом фонде позволяет выявить ключевые источники опасности. На первом месте находятся нарушения в эксплуатации электрооборудования: это может быть как некорректное обращение с бытовой техникой, так и аварийные ситуации, вызванные коротким замыканием или физическим износом домашней электросети. Подобные неполадки обычно провоцируются одновременным включением множества мощных приборов в одну розетку, применением дешёвых, не прошедших необходимых проверок гаджетов, а также механическими дефектами проводов.

Помимо электрических проблем, серьёзную угрозу несут и другие факторы. К ним относится табакокурение в непредназначенных для этого зонах, а также бесконтрольное использование открытого пламени, будь то декоративные свечи или конфорки газовой плиты. Отдельного внимания заслуживают отопительные системы: пренебрежение нормами безопасности при работе обогревателей и печей регулярно приводит к трагическим последствиям [1].

Таким образом, систематизация коренных причин возгораний даёт возможность целенаправленно выстраивать профилактическую работу, что в конечном счёте способствует существенному укреплению противопожарной защиты жилых помещений (таблица 1).

Таблица 1

Причины пожаров в жилых домах

Причина	Доля от всех пожаров
Неисправная электропроводка	34%
Неосторожное обращение с огнём	28%
Перегрузка сети	18%
Прочие	20%

Для самостоятельного контроля уровня безопасности жилища рекомендуется обратить внимание на несколько ключевых моментов:

- Проверить электророзетки на наличие потемнений или оплавления, свидетельствующих о перегреве.

- Убедиться, что применяемые удлинители оснащены встроенным механизмом, отключающим питание при превышении нагрузки.

- Обеспечить хранение горючих материалов (лаков, растворителей, бензина) на безопасном расстоянии от обогревателей, печей и других источников тепла.

Ведущую функцию в оперативном выявлении и подавлении очагов

пламени выполняют интегрированные комплексы сигнализации и автономного пожаротушения [4]. Специальные извещатели, анализирующие химический состав и прозрачность воздуха в режиме реального времени, незамедлительно инициируют тревожное оповещение при фиксации признаков дыма или утечки горючих газов. Подобные технологические решения предоставляют жильцам критически важный запас времени для реагирования, а также в автоматическом режиме приводят в действие системы водяного орошения (спринклеры) или иные средства локализации огня. Это существенно ограничивает площадь возгорания и сводит к минимуму возможные разрушения (таблица 2).

Таблица 2

Сравнительная характеристика датчиков

Тип датчика	Принцип работы	Плюсы	Минусы
Оптический	Реагирует на дым	Быстрое срабатывание	Чувствителен к пыли
Ионизационный	Фиксирует частицы горения	Высокая чувствительность	Требуется замены каждые 10 лет

Современные тенденции в области строительства и отделки жилья демонстрируют устойчивую ориентацию на применение материалов, обладающих повышенным сопротивлением к воздействию пламени. Их ключевая функция заключается в сдерживании скорости распространения пожара и сокращении вероятности его возникновения [5].

К такой категории продукции относятся специализированные строительные решения: конструкционные панели, ингибирующие горение, составы для обработки поверхностей (огнезащитные краски и пропитки), а также изоляторы и покрытия, сохраняющие целостность при экстремальном термическом воздействии.

Интеграция этих компонентов в структуру здания способствует комплексному повышению его устойчивости к огню. Наибольший эффект достигается в зонах с высокой вероятностью возгорания — на кухнях, в котельных, электрощитовых, а также при модернизации электрических сетей.

Исследования подтверждают, что выбор слабогорючих веществ (классифицируемых как Г1) позволяет сократить потенциал распространения пламени на 70 % в сравнении с сильногорючими аналогами (Г4) [5].

Концепция «умного дома» сегодня включает в себя комплексные решения для обеспечения безопасности, которые становятся её неотъемлемой частью [6]. Оборудование для интеллектуального мониторинга способно в автоматическом режиме фиксировать начальные признаки чрезвычайной ситуации — появление дыма, концентрацию бытового газа или критические температуры от электротехники. При срабатывании тревоги уведомление мгновенно поступает владельцам на смартфоны через специализированные приложения или с помощью голосовых и звуковых оповещателей.

Отдельные продвинутые конфигурации таких систем берут на себя функции активного противодействия угрозе: они способны самостоятельно

прекратить подачу электричества на аварийном участке или перекрыть магистраль газоснабжения. Этот проактивный принцип работы создает новый стандарт защищенности, давая возможность нейтрализовать источник опасности на ранней стадии и значительно сократить масштабы потенциального ущерба.

Примеры реализованных решений:

- Экосистема Яндекс Умный дом: обеспечивает совместную работу с сенсорными устройствами бренда Rubetek.
- Платформа Xiaomi Mi Home: использует протокол Zigbee для подключения различных датчиков.
- Охранная система Ajax: предлагает профессиональные комплексы, адаптированные для установки в многоквартирных жилых зданиях.

Формирование культуры безопасности как основа профилактики

Ключевым элементом в системе предупреждения возгораний выступает подготовка населения и неукоснительное следование установленным нормам [1]. Систематическое проведение обучающих мероприятий и практических занятий формирует у граждан алгоритмы грамотного поведения при чрезвычайных происшествиях: отрабатываются навыки применения первичных средств тушения, изучаются маршруты и порядок экстренного покидания здания.

Информированность о возможных источниках риска и четкое понимание последовательности необходимых мер кардинально уменьшают вероятность как возникновения огня, так и масштабов причиненного им ущерба. К фундаментальным требованиям относится корректная эксплуатация бытовой техники, запрет на оставление без контроля источников открытого пламени и строгое соблюдение регламента использования обогревательных установок.

Создание действительно безопасной среды в жилых зданиях, обеспечивающей сохранность жизни и собственности людей, достижимо исключительно через коллективную ответственность и осознанное соблюдение каждым жильцом профилактических правил.

Безопасность жилых помещений и сохранность имущества граждан в значительной степени зависят от внедрения прогрессивных способов предупреждения возгораний. Существенный вклад в повышение уровня защищенности вносят такие меры, как монтаж автономных систем контроля, применение строительных материалов с пониженной горючестью и интеграция интеллектуальных домашних комплексов. Вместе с тем, определяющее значение сохраняется за человеческим фактором: именно грамотность населения в вопросах противопожарного режима, а также его высокая личная ответственность при выполнении регламентированных правил создают фундамент для реальной безопасности.

Практические предложения по усилению защищённости:

- Организовать для проживающих периодические обучающие программы и практикумы по действиям при чрезвычайных происшествиях.
- Обеспечить монтаж новейших комплексов, объединяющих функции

сигнализации и автономной ликвидации очагов возгорания.

- Активно внедрять в отделке и строительстве сырье, обладающее повышенной устойчивостью к воздействию огня.

- Интегрировать в жилых зданиях элементы «умного дома», позволяющие осуществлять непрерывный контроль и оперативно принимать меры.

- Неукоснительно придерживаться регламентов использования бытовых электроприборов и отопительных агрегатов.

Эволюция средств обеспечения безопасности связана с прогрессом в сфере автономных систем и алгоритмов машинного обучения. Это создаст предпосылки для разработки принципиально новых комплексов, способных с максимальной эффективностью выявлять и локализовывать очаги возгорания [7].

Одним из ключевых векторов развития станет глубокая интеграция противопожарных механизмов в инфраструктуру «умных» городских пространств и жилых кварталов. Подобная синергия позволит вывести защиту имущества и граждан на качественно новый уровень, одновременно способствуя повышению комфорта окружающей среды.

На законодательном уровне уже готовятся изменения: согласно планам, с 2026 года все вводимые в эксплуатацию жилые здания в России будут в обязательном порядке оснащаться сенсорами, фиксирующими концентрацию угарного газа в воздухе [8].

Библиографический список

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 16 сентября 2020 года № 1479 «Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации» (в редакции от 30 марта 2023 года).

2. Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны (ВНИИПО). Сборник статистических данных и аналитических материалов по пожарной безопасности за 2024 год. М., 2025.

3. Интернет-ресурс сайт: <https://mchs.gov.ru/news> Дата обращения: 02.11.2025.

4. ГОСТ Р 53325-2012 Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования. Методы испытаний.

5. Федеральный закон от 22 июля 2008 года № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

6. Иванов А.В. Аналитическое исследование: Российский рынок интеллектуальных домашних систем (умный дом) в 2024-2025 гг. М.: Изд-во «Технологии безопасности», 2025.

7. Дорофеев А.А., Смирнов И. В. Возможности использования технологий искусственного интеллекта для обеспечения пожарной безопасности // Пожарная безопасность. 2025. № 2. С. 45–52.

8. Интернет-ресурс сайт: <https://regulation.gov.ru/> Дата обращения: 02.11.2025.

© Сайфуллин В.А., 2025

ПРОВЕДЕНИЕ УЧЕНИЙ ПО ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ: ВАЖНОСТЬ И МЕТОДОЛОГИЯ

Аннотация: пожарная безопасность играет фундаментальную роль в обеспечении охраны труда и защиты жизней людей. Возникновение пожаров возможно в любых сферах - на промышленных объектах, в общественных местах и жилых помещениях, а их последствия могут быть крайне тяжелыми. Одним из наиболее действенных методов подготовки к потенциальным чрезвычайным ситуациям являются учения по пожарной безопасности.

Ключевые слова: пожарная безопасность; учения; чрезвычайные ситуации; подготовка; методология

Пожарная безопасность — это совокупность мер, охватывающих профилактику возгораний, оперативное их купирование и ликвидацию, а также обеспечение защиты жизней и материальных ценностей от огненной опасности. Данная система предусматривает реализацию как технических, так и организационных мероприятий.

Понимание факторов, вызывающих возгорания, играет ключевую роль в разработке действенных стратегий профилактики пожаров. Основные причины включают:

- Неосторожное обращение с огнем;
- Нарушение правил эксплуатации электрооборудования;
- Короткое замыкание;
- Пожарная безопасность на производстве.

Пожары способны причинить существенный ущерб имуществу, привести к травмам и даже гибели людей. Статистические данные свидетельствуют о том, что большинство смертельных случаев при пожарах происходит не непосредственно от огня, а в результате воздействия дыма и токсичных веществ. В связи с этим, разработка и реализация комплексных мер по предупреждению и тушению пожаров является крайне важной задачей [1].

Обучение правилам пожарной безопасности способствует подготовке персонала к адекватному реагированию в чрезвычайных ситуациях, связанных с пожаром. Данная подготовка включает в себя:

- Ознакомление с планами эвакуации;
- Обучение использованию средств пожаротушения;
- Развитие навыков быстрой и безопасной эвакуации.

Проведение регулярных учений по пожарной безопасности способствует

повышению уровня информированности персонала о потенциальных рисках возникновения пожара и мерах по их предупреждению, что в свою очередь, содействует формированию культуры безопасности на рабочих местах [2].

Учения играют важную роль в определении степени готовности организации к адекватному реагированию на непредвиденные ситуации. В ходе учений осуществляется:

Проверка функционирования систем оповещения;

Оценка эффективности действий сотрудников;

Выявление недостатков в организации процедуры эвакуации.

Проведение учебных мероприятий позволяет выявить слабые стороны в подготовке персонала и функционировании систем безопасности. Полученная информация служит основой для внесения необходимых изменений и повышения общего уровня безопасности.

1. Предварительный этап:

1) формирование целей и задач учений. В начальной фазе проведения учений необходимо сформулировать ясные и конкретные цели и задачи. К ним могут относиться:

Отработка действий персонала в чрезвычайных ситуациях, связанных с пожаром;

Проверка эффективности работы систем оповещения о пожаре;

Оценка уровня взаимодействия между различными службами, участвующими в ликвидации последствий пожара.

2) формирование рабочей группы. Организация рабочей группы, уполномоченной на проведение учений, представляет собой существенный этап подготовки. В состав данной группы целесообразно включить:

Представителей руководящего состава учреждения;

Специалистов в области охраны труда;

Инспекторов пожарной безопасности.

3) разработка сценария учений. Сценарий проводимых учений должен быть составлен с максимальной степенью реалистичности и учитывать все потенциальные риски, присущие данному объекту. В его структуру должны быть включены следующие элементы:

Детальное описание сложившейся ситуации: к примеру, возникновение очага возгорания в конкретном помещении объекта;

Уточнение условий: указание времени суток, количества находящихся на объекте людей и иных факторов, влияющих на ход событий;

Ожидаемые действия сотрудников: четкое определение мер, которые должны быть предприняты сотрудниками объекта в ответ на возникшую ситуацию.

2. Проведение учений:

1) информирование персонала. При организации учебно-тренировочных мероприятий, необходимо проведение всестороннего инструктажа сотрудников. В рамках инструктажа, всем участникам следует донести полную информацию о предстоящих учениях, включая их цели и порядок проведения.

2) осуществление сценария. В ходе проведения учений необходимо неукоснительно соблюдать утверждённый план мероприятий. Особое значение следует придавать созданию максимально приближенных к реальности условий, способных обеспечить сотрудникам ощущение достоверной опасности.

3) наблюдение и регистрация действий. Для проведения всестороннего анализа результатов учений необходимо организовать наблюдение за действиями персонала. В ходе учений назначенные наблюдатели должны осуществлять фиксацию всех действий сотрудников. Данные, полученные в результате наблюдения, послужат основой для последующего детального изучения и оценки эффективности проведенных мероприятий.

3. Анализ результатов учений:

1) обсуждение результатов. По завершении учебных мероприятий необходимо провести обстоятельное обсуждение с участниками для выяснения следующих аспектов:

Выявление успешных моментов и эффективных решений, примененных в ходе учений;

Анализ допущенных ошибок и определение причин их возникновения;

Разработка рекомендаций по совершенствованию процесса подготовки к будущим учебным мероприятиям.

2) составление отчёта. По результатам проведенного обсуждения следует составить отчёт, включающий в себя:

Анализ готовности персонала: оценка уровня подготовленности сотрудников к выполнению поставленных задач;

Идентифицированные недостатки: подробное описание выявленных слабых сторон и проблемных областей;

Предложения по совершенствованию: конкретные рекомендации, направленные на повышение эффективности работы и устранение выявленных недостатков [3].

Периодичность проведения пожарных учений играет важную роль. Пожарная безопасность является приоритетной задачей для любой организации. Для обеспечения готовности к чрезвычайным ситуациям необходимо проводить регулярные учения по пожарной безопасности. Минимальная частота проведения таких учений - один раз в год для большинства организаций.

Система противопожарной безопасности требует комплексного подхода к организации тренировочного процесса. Регулярные учения позволяют отработать алгоритмы действий при возникновении чрезвычайных ситуаций. Практические занятия формируют у сотрудников необходимые навыки использования первичных средств пожаротушения. Теоретическая подготовка обеспечивает понимание причин возгораний и методов их предотвращения. Интеграция современных технологий в обучающий процесс повышает эффективность противопожарных мероприятий.

Результативность пожарной безопасности напрямую зависит от

вовлеченности персонала в профилактические мероприятия. Создание безопасной рабочей среды достигается путем непрерывного совершенствования навыков реагирования на нештатные ситуации. Внедрение инновационных методик обучения способствует лучшему усвоению материала сотрудниками. Систематический контроль уровня подготовки персонала позволяет своевременно выявлять пробелы в знаниях. Комплексный подход к обеспечению пожарной безопасности минимизирует риски возникновения возгораний на объекте.

Библиографический список

1. Значение пожарных учений: подготовка к неожиданностям [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://msc01.ru/blog/novosti/znachenie-pozharnykh-ucheniya-podgotovka-k-neozhidannostyam/> Дата обращения: 31.10.2025.
2. Что такое пожарные учения. Как и где проводится тренировка [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://stroy-zashita.ru/blog/pozharnye-ucheniya> Дата обращения: 31.10.2025.
3. Лекция «Организация учений по эвакуации персонала» [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://вдпо.рф/ptm/lecture/618> Дата обращения: 31.10.2025.

© Саляева А.С., Аксенов С.Г., 2025

УДК 614

Д.А. УРМАНШИНА

31_24@list.ru

Науч. руковод. – д-р экон. наук, проф. **С.Г. АКСЕНОВ**

Уфимский университет науки и технологий

БАЗАЛЬТОВЫЙ ОГНЕЗАЩИТНЫЙ УТЕПЛИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ, ЕГО ПРОИЗВОДСТВО, СВОЙСТВА И СФЕРА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Аннотация: статья посвящена рассмотрению вопроса, связанного с базальтовый огнезащитный и утеплительный материал, технология его производства, свойства и сфера использования.

Ключевые слова: огнезащита; утеплитель; базальт; вата; материал

Пассивная огнезащита, является одним из основных элементов обеспечения пожарной безопасности строительных конструкций и инженерных сетей.

Устойчивость зданий и строительных материалов, из которых возводятся

каркасы будущих строений, которые используются в качестве утеплителей, звукоизоляционных и отделочных материалов, определяет, помимо всего прочего, такой критерий, как временной предел их огнестойкости. Он является одним из основных показателей устойчивости сооружения к воздействию открытого пламени. Поэтому, нет сомнений в том, что принимаются достаточно жесткие меры к повышению указанного выше критерия. Ведь с повышением временного показателя повышается качество и прочность, используемых в строительстве, материалов, что ведет к увеличению времени на поддержание своей цельной структуры при огневом воздействии. За последнее время произошло серьезное увеличение нормируемых пределов огнестойкости. Так, с 45-60 минут до 3-4 часов повысилось время требуемой устойчивости строительных материалов к воздействию открытого горения, что получило отображение в Федеральном законе от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». Настоящее изменение затронуло и другие подзаконные акты.

Средства огнезащиты можно разделить на три основных вида:

Нанесение тонкослойных, до 3 мм, покрытий, иначе говоря, вспучивающихся красок.

Нанесение штукатурных составов.

Обшивка поверхностей плитными и рулонными, теплоизоляционными и огнезащитными материалами.

Разберем каждый из видов. Технология окраски не является сложным процессом, однако, как и любые другие ремонтные работы, нуждается в детальной подготовке. Для этого поверхность приводят в надлежащий вид: снимают старый слой краски или ржавчины если таковые имеются, обезжиривают поверхность. В последующем краску послойно наносят, при этом необходимо выдерживать некоторое время перед нанесением следующего слоя. Нанесение огнезащитных красок не являются в последующем действенным способом повышения огнестойкости конструкций. Это обусловлено тем, что такая краска не способна выдержать длительное термическое воздействие, физико-химический контакт с пламенем приводит к усиленному нагреву защищаемых поверхностей и их разрушению.

Второй вид периодически требует повторного нанесения в следствии того, что в процессе эксплуатации нанесенные составы теряют ежегодно до 8% огнезащитной эффективности. В результате перепадов температур и под воздействием различных вибраций, штукатурные составы со временем растрескиваются и отслаиваются что также является существенным недостатком. Более того, для качественного нанесения такого состава нельзя не использовать специальное оборудование, которое является достаточно дорогим. А чтобы придать прочность и надежность применяемому материалу, также важно прибегнуть к послойному армированию.

Третий вид, а именно облицовка поверхностей плитными огнеупорными материалами. Такие материалы используются чаще всего для теплоизоляции и пожаробезопасности возгораемых потолочных узлов и при возведении

кирпичных каминов и дымоходов. Многочисленные тесты, при проведении которых использовалась бытовая газовая горелка температура пламени на выходе которой равнялась 1300 градусов по Цельсию. Проводимые в течении трех минут таких огнезащитных материалов показали, что изменение поверхности под огнеупорным материалом практически равна нулю.

Например, такой облицовкой может служить базальтовый огнезащитный утеплительный материал или базальтовая вата. Базальт – это вулканическая горная порода основного состава, образующаяся из жидкой лавы на дневной поверхности [1].

Как упоминалось ранее, сырьем для создания базальтовой ваты служит вулканическая порода. Для получения волокон сырье необходимо нагреть в высокотемпературных печах до температуры равной 1500 градусов по Цельсию. Благодаря специальному дозатору порода подается в плавильную печь равными долями. Сама печь выстроена из огнеупорного кирпича и работает на газозоудной смеси под низким давлением. С помощью вытягивающих устройств формируются волокна, которые поступают в приемник. Далее волокна поступают в камеру накачивания с температурой 1600 градусов по Цельсию, поток пламени составляет 30 метров в секунду. Благодаря этим параметрам волокна раздуваются до уровня микрочастиц и попадают в камеру волокнаосаждения, где в последствии осаждаются в барабане приемного конвейера. Так, благодаря высоким температурам из черного камня получается белая вата. обслуживание филерных питателей происходит вручную, температура самого питателя 1200 градусов по Цельсию. На барабане волокно осаднения формируется холст шириной в один метр и транспортируется. Ее белизна при этом зависит от качества входного сырья – каменной крошки. Далее вата попадает на раскладчик который задает ей габаритные размеры. В среднем: поверхностная плотности 400-1700 г/м³; длина 10000-20000 мм; толщина 5-20 мм; ширина 1000-1500 мм. Далее вата наматывается на рулон после чего взвешивается, на контроле также и плотность изделия, которая составляет 80-125 кг/м³. Далее рулоны поступают на участок прошивки. После прохождения контроля качества вата отправляется на упаковку. Материал выполняется как с обкладкой, так и без нее. Обкладкой служит алюминиевая фольга армированная стеклосеткой.

Сертифицированным материал из базальтового волокна служит для огнезащиты, металлических и железобетонных конструкций, а также коробов систем вентиляции и дыма газоудаления с пределами огнестойкости от 30-240 минут. Помимо рулонов из базальтового материала основой огнезащитных покрытий служат плиты огнезащитные.

Базальтовый огнеупорный изоляционный материал, мало весит и максимально устойчив к агрессивным средам и перепадам температур. Он является экологически чистым, а при его изготовлении не используются примеси и разного рода наполнители. Поэтому по санитарным и гигиеническим показателям он готов к применению на объектах вне зависимости от его функционального назначения, например, в медицинских или детских

учреждениях, заведениях общественного питания или культурно-развлекательных центров.

Так, такие материалы часто используют и для огнезащиты воздуховодов. В основном это двухкомпонентная конструктивная система огнезащиты воздуховодов, состоящая из фольгированного рулонного базальтового материала.

Сегодня этот уникальный продукт стал доступен и для частного домостроения. Благодаря своей легкой, волокнистой структуре, материал без особых усилий режется ручным способом, монтируется на поверхность с помощью клеевого огнезащитного состава, обладает замечательными и звукоизолирующими свойствами и превосходит практически все имеющиеся на рынке утеплители, а также вата имеет свойства водоотталкивания. Слой фольги не только усиливает теплоизолирующий эффект, но и выступает в роли надежной пароизоляции, базальтового утеплителя, что позволяет применять его в помещениях с повышенным, влажностным режимом, таких как бани и сауны также материал активно используется для тепло- и звукоизоляции стен, полов, кровель и чердачных. Такой базальтовый материал, толщиной всего 10 мм, способен заменить кирпичную кладку толщиной более 250 мм. Большое значение при строительстве бани или имеет утепление стен и потолка. При этом не стоит забывать самого главного: утеплитель должен быть не горючим и абсолютно экологичным, не выделять вредных веществ, даже под воздействием высокой температуры.

Это отличный материал для выполнения теплоизолирующей подложки, для теплого пола, в том числе под стяжку, что особенно актуально в ванной комнате. Также используется для теплозвукоизоляции промышленного оборудования, судовых помещений и бытовой техники. Помимо всего прочего данный материал вибростойкий и обладает пониженной гигроскопичностью, он долговечен, химически устойчив к кислотам, щелочам и органическим растворителям. Срок службы покрытия, смонтированного в строгом соответствии инструкции, составляет не менее 25 лет. Абсолютная негорючесть, применение во всех сферах, требующих увеличения огнестойкости и уменьшения потерь. Материал прост, в обращении, крепится на гвозди, скобы или клей, позволяя потребителю самостоятельно выполнить монтаж. Таким образом, монтаж огнезащитного покрытия – важнейшее звено качественной защиты любого объекта.

Библиографический список

1. Базальт горная порода – происхождение, характеристики, описание/ [Электронный ресурс]. Режим доступа <https://obrazovaka.ru/okruzhayushhiy-mir/bazalt-gornaya-poroda.html/> Дата обращения: 02.11.2025.

© Урманшина Д.А., 2025

Г.А. ШАЙМОРДАНОВА, М.В. ИСИНБАЕВА

G39913984@gmail.com

Науч. руковод. – д-р экон. наук, проф. **С.Г. АКСЕНОВ**

Уфимский университет науки и технологий

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СТРАНАХ С РАЗНЫМ УРОВНЕМ РАЗВИТИЯ

Аннотация: в статье исследуется влияние уровня социально-экономического развития на состояние пожарной безопасности в различных странах. Рассмотрены исторические предпосылки, физико-химические и социально-экономические факторы возникновения пожаров, а также современные подходы к управлению рисками и профилактике возгораний.

Ключевые слова: пожарная безопасность; международное сравнение; устойчивое развитие; противопожарная защита; МЧС России; техногенные риски; физико-химические факторы

Различия в уровне пожарной безопасности между странами мира обусловлены не только экономическим развитием, но и историей формирования противопожарных служб. В государствах, где индустриализация началась раньше, организационные и технические подходы к борьбе с огнем развивались системно и под контролем государства. Так, в Германии профессиональные пожарные бригады были учреждены ещё в 1851 году, а в США в 1896 году появилась Национальная ассоциация противопожарной защиты (NFPA), установившая первые стандарты безопасности для жилых и промышленных зданий. Подобные инициативы задали основу для нормативной и технической культуры предупреждения пожаров. В России развитие пожарной охраны имело иную траекторию: первые добровольные дружины формировались в XIX веке, но системное государственное регулирование началось после Декрета СНК «Об организации государственных мер борьбы с огнём» в 1918 году. Этот акт стал ключевым шагом в переходе от стихийной помощи к централизованной защите. В 1930-1950-е годы СССР активно развивал пожарную науку и технику, создавая специализированные учебные заведения, что позволило сформировать национальную систему пожарной безопасности. Современная МЧС России стала правопреемником этой традиции, вобрав в себя как научную, так и инженерную базу противопожарного дела.

Если сравнивать историческую динамику с развивающимися странами, становится заметно, что там становление противопожарных служб происходило с опозданием на десятилетия. Например, в Индии до начала XXI века добровольные бригады оставались основным инструментом тушения пожаров,

а централизованное управление на уровне штатов начало формироваться лишь после катастрофических техногенных происшествий в 1990-е годы. Подобные различия в темпах институционализации напрямую влияют на современные показатели смертности и ущерба. По данным международной статистики, в странах с высоким уровнем развития средний показатель погибших на 100000 человек не превышает 0,3, тогда как в государствах с низким доходом этот показатель достигает 4-5. Такая разница не является следствием природных факторов – она связана с качеством профилактики, образованием населения и технической оснащённостью [2].

Историческая преемственность опыта – не просто культурное наследие. Она формирует институциональную память, определяющую, насколько общество способно предотвращать риски. В странах, где пожарная охрана изначально была встроена в систему государственной безопасности, выработался устойчивый механизм взаимодействия между муниципалитетами, промышленностью и учебными центрами. Там, где пожарная защита развивалась фрагментарно, приоритеты часто смещались в сторону компенсационных мер – ликвидации последствий вместо предотвращения причин. Этот дисбаланс сохраняется и сегодня, определяя различия в структуре потерь и эффективности управления пожароопасными процессами.

Природа возникновения пожаров имеет разный характер в зависимости от уровня развития страны, типа застройки и используемых технологий. В промышленно развитых регионах основными источниками возгораний являются нарушения в работе электрооборудования, перегрев систем вентиляции и короткие замыкания на производстве. В развивающихся государствах преобладают бытовые причины – открытый огонь, неисправные печи, неосторожное обращение с горючими веществами [3]. Анализ структуры пожаров в жилых зданиях, проведённый Владимировой А.С. [4], показывает, что в 2020 году 70 % случаев возгорания было связано с человеческим фактором, а почти 7 % – с аварийными режимами электрических сетей. Этот факт указывает на необходимость сочетать технические и образовательные меры: одни лишь технологии не способны компенсировать низкую культуру обращения с огнём.

В развитых странах физико-химические аспекты пожарной безопасности становятся предметом высокотехнологичных исследований. Так, на промышленных предприятиях Германии и Японии широко применяются системы газового пожаротушения с использованием инертных смесей, снижающих концентрацию кислорода в очаге возгорания без вреда для оборудования. В России аналогичные системы начали внедряться на стратегических объектах энергетики и связи, однако в бытовом секторе по-прежнему доминируют водяные установки, что снижает эффективность тушения пожаров класса Е (электрооборудование под напряжением). В странах Африки и Южной Азии, напротив, основной риск связан с применением нестандартных строительных материалов — пластика, несертифицированных утеплителей, дешёвых горючих красок. Именно сочетание химически активных

веществ и низкого контроля делает пожары в этих регионах особенно разрушительными [4].

Факторы пожароопасности не ограничиваются физикой горения. Они зависят от уровня урбанизации, плотности транспортных узлов, архитектурной планировки и даже климатических условий. В тропических странах влажность и высокая температура способствуют быстрому распространению дыма и токсичных газов. В северных регионах риски повышаются из-за печного отопления и накопления горючей пыли в вентиляционных шахтах. Однако ключевая закономерность универсальна: чем выше технологическая культура производства и строительного контроля, тем меньше вероятность катастрофического сценария.

Сложность современного анализа состоит в том, что физико-химические причины пожаров тесно связаны с социально-экономическими. В бедных странах отсутствие инспекционного надзора, дефицит пожарных депо и старое оборудование превращают любое возгорание в чрезвычайную ситуацию. По оценкам исследователей, на каждые 100000 жителей развитых стран приходится 35 единиц пожарной техники, а в странах с низким доходом — не более 3-5 [5]. Следовательно, физическая опасность огня превращается в социальный риск, отражающий общую устойчивость государства. Этот вывод подтверждает необходимость рассматривать пожарную безопасность не как узко техническую дисциплину, а как элемент национальной стратегии устойчивого развития.

Пожарная безопасность напрямую связана с экономической устойчивостью государства. Чем слабее система профилактики, тем выше прямые и косвенные убытки, выражающиеся не только в разрушении имущества, но и в потерях человеческого потенциала, производительности и доверия к институтам власти. В исследовании Сабурова О.В. [3] приведена методика расчёта совокупных издержек, показывающая, что экономический эффект от одного крупного пожара можно приравнять к годовому бюджету муниципального района. В России суммарные убытки от пожаров ежегодно достигают десятков миллиардов рублей, а часть потерь остаётся скрытой — в виде долгосрочного снижения регионального ВВП (внутренний валовый продукт) и социальных выплат пострадавшим. В развивающихся странах, где страхование имущества и аудит пожарной безопасности фактически отсутствуют, последствия становятся необратимыми: один пожар способен уничтожить экономическую инфраструктуру целого населённого пункта.

Сопоставление данных по урбанизированным и сельским территориям подтверждает, что социальные факторы усиливают последствия техногенных рисков. По сведениям Савельева А.П. [5], за 2019-2020 гг. в сельской местности России произошло около 205 тыс. пожаров ежегодно — почти 47 % от общего числа. В городах этот показатель был немного выше, но различия в уровне смертности и травматизма значительны: сельская инфраструктура реагирует медленнее, пожарные части расположены на большом расстоянии, а водоснабжение нередко ограничено. Эти данные отражают универсальную

тенденцию: чем менее развита система городской логистики и коммунальных сетей, тем выше цена одного возгорания. В ряде стран Латинской Америки и Африки аналогичные проблемы приводят к повторяющимся трагедиям, поскольку здания возводятся из дешёвых горючих материалов, а службы реагирования не обладают ресурсами для оперативного вмешательства.

Кроме материальных убытков, пожарная статистика показывает зависимость между числом возгораний и общим уровнем социальной ответственности. Когда население не вовлечено в профилактические программы, частота пожаров возрастает в разы. Примером служат российские регионы, где введение обязательных инструктажей и общественного контроля позволило снизить количество бытовых пожаров почти на 30 %. С другой стороны, в странах с высоким доходом меры профилактики включены в государственные стратегии устойчивого развития. Например, в Японии ежегодные национальные учения по эвакуации охватывают миллионы граждан и поддерживаются законом о гражданской защите 2004 года. Экономический эффект от подобных мер выражается не только в сохранении имущества, но и в укреплении общественной дисциплины, формирующей «культуру безопасности».

Современные вызовы требуют рассматривать пожарную безопасность как стратегическую задачу национального масштаба. Исследователи Насырова Э.С. и Нафикова Э.В. [1] подчёркивают, что качество противопожарной защиты становится одним из индикаторов устойчивого развития регионов. Это не только техническая, но и социально-экономическая категория, влияющая на инвестиционную привлекательность и экологическую стабильность территорий. В странах с высоким уровнем ВВП внедрение цифровых систем раннего обнаружения позволяет минимизировать ущерб: автоматические датчики IoT (Internet of Things) и тепловизионные камеры интегрируются в городскую инфраструктуру. В России эти решения пока носят пилотный характер – их используют на стратегических объектах энергетики и связи, что подтверждает необходимость расширения технологического подхода на бытовой сектор.

Перспективным направлением является переход от компенсационной к превентивной модели управления пожарными рисками. Это означает смещение акцента с устранения последствий на предотвращение причин. Реализация такой модели требует межотраслевого взаимодействия: участия органов власти, бизнеса, образовательных структур и населения. По мнению Савельева А.П. [5], внедрение инновационных мер профилактики способно сократить число пожаров в стране на 38-45 % за 5-7 лет. Этот прогноз подтверждает эффективность стратегического планирования и стимулирования предприятий, инвестирующих в противопожарную защиту.

Развитие международного сотрудничества также становится частью устойчивой политики. В странах Европейского союза действуют единые стандарты пожарной безопасности EN 54, регулирующие всё – от систем оповещения до классификации горючих веществ. Для развивающихся

государств участие в подобных инициативах означает доступ к передовым технологиям и обучению специалистов. Однако адаптация международных норм должна учитывать местные реалии – климат, плотность застройки, доступность ресурсов. Для этого необходимы научные исследования и обмен опытом между университетами и пожарно-техническими центрами.

Ключ к снижению потерь – не только оборудование, но и человеческий фактор. Программа обучения населения действиям при пожаре, обязательное включение тем безопасности в школьные курсы, поощрение добровольных дружин – всё это создаёт устойчивую культуру обращения с рисками. В странах, где такие меры реализованы на государственном уровне, количество смертей на пожарах сократилось в 3-4 раза по сравнению с 1990-ми годами. Россия, обладая значительным научным и инженерным потенциалом, способна стать примером интеграции пожарной безопасности в стратегию национального развития. Это направление объединяет технический прогресс, социальную ответственность и долгосрочную экономическую эффективность, что делает его фундаментом будущей безопасности общества.

Библиографический список

1. Насырова Э.С., Нафикова Э.В., Камаева Э.Д., Фазылова А.В. Пожарная безопасность как фактор обеспечения устойчивого развития // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2022. Т. 11, № 2 (58). С. 181–187.

2. Сиабандов Э.Т. История развития пожарной охраны России // Проблемы техносферной безопасности: материалы международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов. 2020. № 9. С. 63–66.

3. Сабуров О.В., Дудурич Б.Б., Наумов Д.Л. Количественная оценка непосредственных и прямых издержек пожара как показатель для оценки понимания наступивших социальных и экономических последствий // Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2024. № 2 (30). С. 385–396.

4. Владимирова А. С. Анализ факторов, способствующих возникновению пожаров в зданиях // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2023. № 1 (45). С. 34–41.

5. Савельев А.П., Шкрабак Р.В., Шкрабак В.С., Еналеева С.А., Шкрабак Р.Р., Шкрабак А.Р. Сравнительная характеристика пожаров и их последствий в сельской и городской местностях в 2019-2020 гг. с учётом общих сведений по ним // Аграрный научный журнал. 2021. № 3. С. 86–89.

© Шайморданова Г.А., Исинбаева М.В., 2025

И.С. ШИРЫКАЛОВ, И.Н. ГУБАЙДУЛЛИНА
ivan.shirykalov.97@mail.ru

Уфимский университет науки и технологий

КОПТЕРЫ КАК ЭФФЕКТИВНОЕ СРЕДСТВО ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

Аннотация: в статье представлено обоснование применения комплексов из небольших беспилотных летательных аппаратов – коптеров – для тушения пожаров высотных зданий, рассмотрены перспективные пути их модификации для данной задачи.

Ключевые слова: коптер; пожар; статистика; жилой дом; высотное здание; комплекс дронов; тушение; беспилотная авиация; экономический эффект; огнетушащее вещество; замкнутое пространство; задымление; датчик; тепловизор; этажность

Согласно официальной статистике МЧС России [1], за 2024 год на территории Российской Федерации произошло 59505 пожаров жилых домов (17,13 % от общего числа пожаров за рассматриваемый период), прямой материальный ущерб составил 4672922 тыс. руб. (23,68 % от общего ущерба), погибло на таких пожарах 6079 человек (80,25 % от общего количества погибших). Анализ статистических данных позволяет сделать вывод о том, что пожары в жилых домах со значительным отрывом забирают жизни большей части от общего числа погибших, причиняют наибольшую долю от совокупного материального ущерба.

Согласно данным электронного ресурса skycity20 [9], всего в России на момент обращения к данным статистики свыше 10000 зданий высотой более 20 этажей (согласно СП 267.1325800.2016 «Здания и комплексы высотные» [2], высотным считается здание, имеющее высоту, определяемую в соответствии с СП 1.13130.2009, более 75 м – соответствует зданиям этажностью в среднем от 18-25 этажей). К тому же, число высотных зданий, как и темпы их строительства в России, возрастают: согласно данным информагентства «Интерфакс» [10], уже на момент 2022 года наибольшая доля жилищного строительства в России приходилась на дома 18-24 этажа - 28,7% от всей площади строящегося жилья, доля площади домов от 25 этажей и выше составляла 26%. Согласно данным другого источника [7], количество домов высотой от 40 этажей в Москве за 5 лет – с 2020 по 2025 гг. – выросло более, чем в 3 раза – с 81 до 250 соответственно.

Исходя из всех указанных выше статистических данных становится очевидно, что проблема обеспечения пожарной безопасности и обеспечения эффективного тушения пожаров высотных зданий с каждым годом в России

становится все актуальнее, ведь таких домов с каждым годом становится все больше, а пожары именно жилых зданий причиняют наибольший совокупный ущерб и сопровождаются наибольшим числом жертв.

В то время как данная проблема становится все актуальнее, возрастает необходимость создания достаточно надежного, доступного и эффективного средства тушения пожаров на высоте: наземная техника, способная осуществлять тушение пожара на высотах 20 этажей и выше будет либо недостаточно эффективной [3], либо крайне дорогой и дефицитной, дефицитными являются также и пожарные вертолеты, ведь по состоянию на 01.01.2025, согласно официальным данным МЧС России, на оснащении авиации Министерства состоит 72 вертолета на всю страну [8].

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА), находящиеся на оснащении МЧС России, применяются в основном для выполнения аэрофотосъемки с топографической привязкой к местности (разведки территории и динамики развития открытых пожаров), проведения поисково-спасательных работ, мониторинга паводковой обстановки и водных объектов, лесопожарной обстановки, для ликвидации ЧС и т.д. – это БПЛА вертолетного, самолетного, и комбинированного типов, причем большая часть из них представлена коптерами – небольшими БПЛА вертолетного типа с несколькими несущими винтами.

Основная идея данной работы заключается в предложении использовать коптеры для тушения пожаров высотных зданий, предварительно модифицировав их: такие модификации уже начинают воплощать в жизнь отдельные разработчики [4], испытывая модели собственного производства, которые способны перевозить по воздуху заряды с огнетушащим веществом (ОТВ), либо распылять его из собственной емкости или от пожарного рукава. Помимо приведенной модификации, предназначенной в первую очередь для тушения очага возгорания, считаю также перспективным взять за основу разведывательного пожарного коптера доступные китайские дроны (например, компании DJI Mavic) или их отечественные аналоги, надежно показавшие себя в ходе Специальной Военной Операции ВС РФ на Украине. Оснастив доступную модель коптера тепловизором и датчиками приближения по всем осям для ориентирования в сильно задымленном замкнутом пространстве, будет получен БПЛА, способный влетать в окна (проемы) горящего высотного здания и ориентироваться внутри, передавая оператору картину развития пожара и позволяя оперативно установить, где находится очаг возгорания, координировать действия БПЛА, оснащенных зарядами с ОТВ – для его непосредственного тушения без привлечения дополнительной техники, а также осуществлять оперативный поиск пострадавших в задымленных помещениях.

Эффективность и актуальность данного предложения для МЧС России подкрепляются:

1. Экономическим эффектом: стоимость базового коптера компании DJI Mavic с пультом управления или отечественных аналогов составляет в среднем 100-500 тысяч рублей, в то время как стоимость пожарного вертолета Ка-32 в

среднем составляет около 1 млрд. рублей [5], не считая затрат на постоянное обслуживание и поддержку его технического состояния в необходимой степени готовности;

2. Повышенной маневренностью и малыми габаритами БПЛА, позволяющими комплексу из разведочных коптеров и коптеров, оснащенных ОТВ, осуществлять тушение пожара высотного здания непосредственно изнутри горящих помещений, доставляя ОТВ прямо в очаг возгорания, облегчая тем самым процесс тушения пожара вне зависимости от того, на какой высоте произошло возгорание;

3. Широкими возможностями модификации БПЛА: возможность устанавливать заряды с ОТВ, подбирая действующее вещество в зависимости от фактического класса пожара и объекта, устанавливать различные датчики, выбирать базовую модель беспилотника и иные модификации, исходя из конкретной задачи;

4. Богатым опытом МЧС России в области БПЛА [6], в том числе применительно к ликвидации ЧС, что упростит внедрение коптеров в тушение пожаров высотных зданий и интегрирование модифицированных под эту задачу моделей на вооружение Министерства;

5. Снижением риска для пожарных: перенос функций разведки обстановки и поиска пострадавших в задымленных помещениях с человека на БПЛА снижает нагрузку на пожарные команды, действующие внутри высотного здания, что значительно облегчает работу пожарных команд, действующих внутри горящего здания, и снижает риск для пожарных, к тому же повышая эффективность поиска пострадавших.

Принимая к сведению изложенные выше аргументы, считаю перспективным и актуальным:

1. Разработать модели модифицированных под тушение пожаров в высотных зданиях коптеры, состоящие из доступных отечественных или зарубежных моделей с тепловизором и датчиками приближения по всем осям для ориентирования в сильно задымленном замкнутом пространстве, иными модификациями под конкретные задачи;

2. Провести практические испытания и поставить на оснащение подразделений МЧС России описанные выше модели БПЛА, исходя в первую очередь из количества высотных зданий в конкретном городе;

3. Создать систему подготовки (профессиональной переподготовки) операторов БПЛА конкретно для нужд МЧС России, к примеру, в формате соответствующих программ подготовки при федеральных образовательных организациях высшего образования, сотрудничающих с МЧС России.

Беспилотная авиация является одной из наиболее перспективных ветвей развития современной отечественной авиации, открываются новые горизонты ее использования и разрабатываются новые модели, активно расширяется производство. Представленная работа имеет цель внести свое перспективное предложение в процесс тушения пожаров высотных зданий для снижения материального ущерба народному хозяйству и уменьшения числа жертв, так

как тушить такие пожары затруднительно в связи с ограниченными техническими возможностями оснащения подразделений МЧС России. Цель работы считаю достигнутой, аналитический обзор – завершённым.

Библиографический список

1. Гончаренко В.С., Чечетина Т.А., Сибирко В.И. Пожары и пожарная безопасность в 2024 г. Статистика пожаров и их последствий: информационно-аналитический сборник. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2023. 3-8 с.
2. СП 267.1325800.2016. Здания и комплексы высотные.
3. Мартемьянов С.И., Маторина О.С., Стрельцов О.В. Применение беспилотных летательных аппаратов для поддержки управления противопожарными действиями в условиях чрезвычайных ситуаций // Международный научно-исследовательский журнал, 2024. №1. С. 1-7.
4. «Принесет лестницу или кислородную маску»: в Новосибирске разработали первые в России пожарные дроны // Комсомольская Правда [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.nsk.kp.ru/daily/27680/5070521/> Дата обращения: 21.09.2025.
5. Башкирия получила спасательный вертолет Ка-32 за 990 млн рублей // РБК [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ufa.rbc.ru/ufa/08/04/2022/62503e569a79474b7317b902> Дата обращения: 21.09.2025.
6. Беспилотные летательные аппараты // МЧС России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mchs.gov.ru/ministerstvo/o-ministerstve/tehnika/aviacionnaya-tehnika/bespilotnye-letatelnye-apparaty> Дата обращения: 21.09.2025.
7. В Москве за пять лет стало в три раза больше небоскребов // Редакция ТотДом Журнал [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://totdom.com/news/v_moskve_za_pyat_let_stalo_v_tri_raza_bolshe_neboskreb ov](https://totdom.com/news/v_moskve_za_pyat_let_stalo_v_tri_raza_bolshe_neboskreb_ov) Дата обращения: 21.09.2025.
8. Общая информация об авиации МЧС России // МЧС России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mchs.gov.ru/ministerstvo/uchrezhdeniya-mchs-rossii/spasatelnye-podrazdeleniya/aviaciya/obshchaya-informaciya> Дата обращения: 21.09.2025.
9. Рейтинг городов по зданиям 20+ этажей // skycity20.ru [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://skycity20.ru> Дата обращения: 21.09.2025.
10. Четверть новостроек в России составляют здания выше 25 этажей // Интерфакс.ру [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.interfax.ru/business/872290> Дата обращения: 21.09.2025.

© Ширыкалов И.С., Губайдуллина И.Н., 2025

А.Р. ЯГАФАРОВА

Azaliyagafarova2003@mail.ru

Науч. руковод. – д-р экон. наук, проф. **С.Г. АКСЕНОВ**

Уфимский университет науки и технологий

МОЛНИЕЗАЩИТА АВТОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ

Аннотация: в статье рассмотрены система молниезащиты автозаправочных станций, её разновидности, требования и нормативные документы к молниезащите АЗС.

Ключевые слова: автозаправочная станция; АЗС; пожарная безопасность; молниезащита; оборудование; заземление

Автозаправочная станция (АЗС) – комплекс оборудования на придорожной территории, используемый для заправки топливом транспортных средств.

Молниезащита – это система технических заключений и специальных установок для обеспечения безопасности рассматриваемого объекта, а также имущества и людей, находящихся в объекте.

Для АЗС, которая находится в первой категории по устройству молниезащиты, согласно «Инструкции по устройству молниезащиты зданий и сооружений», необходимы разные системы защиты от молний, коротких замыканий.

Автозаправочные станции являются местом повышенной опасности. Находящееся в нем топливо может стать причиной возгорания и взрыва, например, при попадании молнии. Чтобы не допустить разрушительных последствий, в обязательном порядке проводится молниезащита АЗС.

Существуют документы, которые определяют систему молниезащиты объектов АЗС от прямого попадания молнии:

- ПУЭ;
- Нормативы ПБ 111-98.

АЗС обязательно размещают согласно требованиям пожарной безопасности. Требования к размещению указаны в законах [1]:

- АЗС должна находиться с подветренной стороны (это та сторона предмета, которая находится в тени от ветра) преобладающих ветров касательно жилой зоны и производственных объектов;
- Все элементы станции должны располагаться так, чтобы исключить растекание топлива по территории и за пределы объекта;
- Возле АЗС нельзя высаживать растения, которые во время цветения выделяют хлопьевидные частички;
- При соседстве с сельскохозяйственной территорией всю

автозаправочную станцию нужно обеспечить покрытием из негорючих материалов либо вспахать прилегающую землю полосой шириной в 5 м.

Различают две системы молниезащиты-внутреннюю и внешнюю. На АЗС используют обе системы молниезащиты. Внутренняя система молниезащиты – это система электронных устройств, которые защищают станцию от импульсных перенапряжений (возрастание напряжения в электрической сети, следом за которым напряжение возвращается в начальное), поступающих в него через линии электрической сети, телефонные кабели и т.д. А внешняя система обеспечивает перехват молнии и отводит её в землю.

При организации систем молниезащиты на АЗС соблюдается следующий порядок её размещения [2]:

металлические и неметаллические детали систем защиты представляют собой не прерывающуюся электрическую цепь, которая прикрепляется на близком расстоянии к АЗС к контуру заземления как минимум в двух местах;

сопротивление заземлителя должно быть не больше 100 Ом для статического электричества, и также не превышать 10 Ом — для устройства систем молниезащиты.

Ежегодно автозаправочная станция проходит проверку на молниезащиту, которая включает в себя:

- осмотр внешних элементов;
- проверку сопротивления изоляции оборудования;
- тестирование срабатывания защиты в цепи с глухой нейтралью;
- проверку контуров заземления.

Молниезащита автозаправочной станции заключается в установке молниеприемников. Молниеприёмник нужен для забора разряда молнии и размещается в месте контакта с каналом молнии, который может представлять собой металлический штырь (рис.1 [3]). Отдельно стоящие молниеприемники устанавливаются как на сооружениях, так и на земле. Токоотвод — часть молниеотвода, которая необходима для отвода тока молнии от молниеприемника к заземлителю. Токоотводы размещают по территории станции параллельно друг другу, соблюдая дистанцию в 10 м. Затем их соединяют горизонтальными элементами с шагом в 20 метров. Токоотводы крепят к стене, устанавливают непосредственно внутрь нее. Токоотводы, находящиеся на земле, окрашивают в черный цвет. Элементы молниезащиты АЗС соединяют между собой зажимами или болтами.

Помимо внешних и внутренних систем молниезащиты применяются конструкции, которые защищают баки с бензином от возгорания. Они прописываются и заносятся в проект объекта еще на первоначальном этапе, охватывают заземление всех элементов автозаправочной станции, которые способны привести к возможному возгоранию. Возможны следующие способы молниезащиты:

- Экранирование – это пресечение электромагнитной энергии в определенном пространстве в результате ограничения ее распространения всеми возможными способами. Используются металлические элементы здания,

соединения на стенах АЗС.

- УЗИП — прибор защиты от импульсных перенапряжений. Различают однополюсные, двухполюсные, трёхполюсные и четырёхполюсные устройства защиты. Их применяют для защиты от ударов молнии (прямых, импульсивных разрядов). Расчёт места расположения этих устройств проводится согласно нормативам. Также требования изложены в ГОСТ 54986-2012.

На автозаправочной станции имеется мощное электрическое оборудование, которому необходима защита от коротких замыканий и попадания напряжения на корпус. Именно для этого проводятся мероприятия по заземлению АЗС [3]. Система заземления включает в себя расположенный по периметру станции заземлитель на глубине 0,5-0,7 м и на расстоянии не менее 1 метра от фундамента.

- ★ Молниеприёмник
- ★ Токоотвод
- ★ Заземление
- ★ УЗИП



Рис. 1. Элементы молниезащиты АЗС

В заключении отмечу, что все перечисленные мероприятия и средства по молниезащите АЗС позволяют обезопасить находящиеся на станции оборудование и людей во время молнии. Каждый способ и элемент защиты по своему эффективен. На рис. 1 представлены все элементы молниезащиты необходимые на АЗС [4]. Автозаправочная станция является местом повышенной опасности и поэтому соблюдение здесь требований пожарной безопасности особенно важно [5].

Библиографический список

1. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ (ред. от 14.07.2022) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
2. Требования и организация молниезащиты АЗС и резервуаров с горючим [Электронный ресурс]. Режим доступа:

<https://220.guru/electroprovodka/zazemlenie-molniezashhita/zashhita-ot-molnij-azs.html> Дата обращения: 04.11.2025.

3. Молниезащита АЗС [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://zinkonteh.by/info/139-molniezashchita-azs> Дата обращения: 05.11.2025.

4. Проверка заземления на АЗС [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://stroiteh-msk.ru/obzory/proverka-zazemleniya-na-azs.html> Дата обращения: 06.11.2025.

5. Аксенов С.Г., Киселева Е.А. Мероприятия, направленные на уменьшение пожароопасных ситуаций, на примере газовой котельной // Молодой ученый. 2022. № 47.

© Ягафарова А.Р., 2025

УДК 614

А.Р. ЯГАФАРОВА

azaliyagafarova2003@mail.ru

Науч. руковод. – канд. экон. наук, доцент **И.Н. ГУБАЙДУЛИНА**

Уфимский университет науки и технологий

ПОЖАРНЫЕ ГИДРАНТЫ

Аннотация: в статье рассматривается важнейшая роль пожарных гидрантов в системе тушения пожаров, перечисляются нормативно-правовые акты, которым им нужно соответствовать. Особое внимание уделяется улучшению гидрантов в области пожарной безопасности, так как развитие технологий в мире улучшает их эффективность и надежность, обеспечивая лучший уровень их работы.

Ключевые слова: пожарный гидрант; требования пожарной безопасности; новые технологии; инновация; безопасность

На сегодняшний день во всем мире пожарные гидранты являются одними из главных частей в системе пожаротушения, они обеспечивают непрерывный доступ к воде и тем самым исполняют важнейшую роль в тушении пожаров.

Главным преимуществом гидранта выделяют то, что он значительно снижает вероятность развития крупных пожаров. Это способствует защите жизни и здоровья граждан, имущества государства и общества в целом.

Стоит начать с того, что гидрант пожарный – это устройство на водопроводной сети, которое позволяет вставить пожарное оборудование (рукавный трубопровод), для подачи воды непосредственно в очаг пожара [1].

Устроен гидрант из корпуса, предохранительной крышки, ниппеля с резьбой, уплотнительного и предохранительного кольца и т.д.

Для забора воды во время пожара открывают кран, к нему через патрубки подключают рукавные трубопроводы, то есть пожарные шланги.

Когда пожарный открывает кран, то через колонку с огромной силой выбрасывается вода в мотопомпу или пожарную автоцистерну. В закрытом состоянии гидрант сдерживает напор водопровода, то есть воды.

Основные типы пожарных гидрантов: надземные и подземные.

Отличаются своим расположением – соответственно над землей или под ней. Устройство пожарного подземного гидранта представлено на рис. 1.

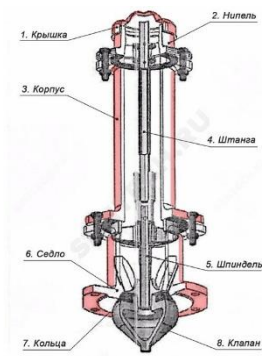


Рис. 1. Устройство подземного гидранта

Подземные гидранты распространены в городских средах, из-за своего закрытого вида и являются самым используемым типом пожарных гидрантов.

Требования пожарной безопасности для пожарных гидрантов прописаны в нормативно-правовых актах, правилах и ГОСТах, вот некоторые из них:

строительные нормы и правила (СНиП) 2.04.05-91 «Проектирование пожарных зданий и сооружений», в нем содержатся основные нормы по эксплуатации пожарных гидрантов;

ППР 01-07 «Правила противопожарного режима на объектах гражданского назначения», на основе этих правил размещают гидранты на объектах общественного значения – школы, торгово-развлекательные центры и т.д.;

ГОСТ Р 53322-2009 «Пожарные гидранты надземные», данный стандарт обязателен к конструкциям надземных пожарных гидрантов;

ГОСТ Р 53323-2009 «Пожарные гидранты подземные»: стандарт для подземных гидрантов.

Соответствие данным правилам пожарных гидрантов является важнейшим для специальных организаций и работающих в нем людей, для обеспечения их лучшей и эффективной работы [2].

Пожарные гидранты должны регулярно проходить проверку и подвергаться испытаниям (убедиться, что нет утечек), чтобы обеспечивать надежную работу в условиях возникновения пожаров.

Профилактика гидрантов включает в себя: чистку и замену изношенных или поврежденных элементов конструкции, обеспечивая долговечный срок их службы.

Постоянное обслуживание гидрантов гарантирует их правильную работу и быструю готовность к использованию в случае пожара. Проверка гидрантов проводится не реже двух раз в год: в весенний и осенний период. Она состоит

из визуального осмотра, испытаний под давлением, пропуска воды [3].

Правильная установка пожарных гидрантов на водопроводной сети должна быть с расчетным расходом на тушение пожара для любой точки ее точки. Не менее чем от 2-х гидрантов при расходе на тушение 15 л/с. И от 1-го гидранта – при расходе воды меньше, чем 15 л/с, с учетом длин рукавных линий не более чем 200 м [4].

Гидранты, являясь важнейшими инструментами в тушении пожаров, прошли долгий путь совершенствования.

С развитием новых технологий во всем мире, прогресс в области гидрантов открывает новые возможности для повышения их эффективности и надежности.

Первым новшеством стоит отметить внедрение экологических гидрантов на основе альтернативных источников энергии, которые позволяют снизить зависимость от электричества. Источниками в данном случае могут выступить:

солнечные панели;

кинетическая энергия.

Вторым важно отметить разработку гидрантов с автоматическим определением возгораний. В данных гидрантах используются такие датчики, которые способны выявлять постоянные признаки возгораний, ими могут быть как дым, так и высокая температура.

При обнаружении данных признаков такой гидрант автоматически начинает реагировать и подавать воду в очаг пожара. Это позволяет существенно снизить время реакции пожарных на вызов и повысить их быстроту тушения.

Все эти нововведения открывают новые перспективы для создания надежных и экологически чистых гидрантов.

Пожарные гидранты в системе тушения пожаров не могут быть не оценены. С течением времени они постоянно продолжают развиваться и совершенствоваться. Стремительное развитие новых технологий для гидрантов играет только в лучшую сторону, делая нашу жизнь безопаснее.

Библиографический ресурс

1. Роль пожарных гидрантов в системе пожаротушения [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ppb-moscow.ru/blog/rol-pozharnyh-gidrantov-sisteme-pozharotusheniya.html> Дата обращения: 06.11.2025.

2. ГОСТ Р 53961-2010 «Техника пожарная. Гидранты пожарные подземные Общие технические требования. Методы испытаний».

3. СП 8.13130.2020 «Системы противопожарной защиты. Наружное противопожарное водоснабжение. Требования пожарной безопасности».

4. Аксенов С.Г., Киселева Е.А. Мероприятия, направленные на уменьшение пожароопасных ситуаций, на примере газовой котельной // Молодой ученый. 2022. № 47.

© Ягафарова А.Р., 2025

З.Р. ЯРИЕВА

yarievazarina26@yandex.ru

Науч. руковод. – д-р экон. наук, проф. **С.Г. АКСЕНОВ**

Уфимский университет науки и технологий

ПОЖАРНАЯ КАЛАНЧА – СТАРИННЫЙ СИМВОЛ СОВРЕМЕННОГО ГОРОДА

Аннотация: в данной статье исследуется трансформация пожарной каланчи из функционального сооружения, предназначенного для выявления пожаров, в знаковый элемент городского ландшафта. Проведенный анализ их трансформация с точки зрения истории и культуры позволяет проследить эволюцию как менялось практическое назначение, внешний вид и место пожарной каланчи в жизни городского сообщества.

Ключевые слова: пожарная каланча; городская архитектура; башня; историческое наследие; культурный символ; городская идентичность

Пожарная каланча представляет собой значимый объект архитектурного наследия ушедшей эпохи, сохранившийся до наших дней. Ее основное предназначение заключалось в организации визуального мониторинга возгораний с возвышенной точки, оперативном информировании населения о чрезвычайных ситуациях, а также в обеспечении размещения противопожарных подразделений и инвентаря. Примечательно, что данные сооружения успешно совмещали практическое назначение и эстетическую выразительность, внося вклад в архитектурный облик городов.

Термин «каланча» имеет арабские корни: он происходит от слова «кал’а», что означает «крепость». Первоначально на Руси каланчами именовали турецкие оборонительные башни. Однако в XIX столетии значение слова изменилось: оно стало применяться к кавказским сторожевым башням и, что особенно важно, к новым наблюдательным башням при пожарных частях. Толчком к массовому возведению таких пожарных каланч стал указ Александра I от 1804 года «О сложении с обывателей Москвы повинности ставить пожарных слуг и об учреждении в оной пожарной команды» [1].

Пожарные каланчи возводились преимущественно из кирпича с элементами чугунного и кованого металла. Ранние образцы нередко строились из дерева, но из-за высокой пожароопасности от этой практики постепенно отказались.

Типовая планировка включала:

1-й этаж – помещение для пожарного инвентаря, конюшни, комнаты дежурных;

2 – 3-й этаж – служебные помещения, склады рукавов и лестниц;

Верхняя часть – закрытая смотровая площадка с панорамными окнами и открытым балконом для сигнальных устройств;

Шпиль – венчающий элемент с флагштоком и колоколом [2].

Поскольку пожарные части в то время находились в ведении полиции, каланчи обычно строили прямо над зданиями полицейских участков. Благодаря своей высоте эти башни возвышались над остальными городскими постройками, сразу бросаясь в глаза.

С точки зрения организации процесса, каланча представляла собой сложную систему оповещения:

Наблюдательный пост: дежурный вел постоянное наблюдение. Высота сооружения (часто 20-30 метров) обеспечивала панорамный обзор всей малоэтажной застройки города [3].

Система сигнализации: для передачи информации о месте пожара использовалась система условных знаков: шары, флаги, фонари в ночное время. Их количество и комбинация соответствовали номеру городского пожарного участка.

Система была разработана и для условий плохой видимости: при снежной погоде, туманах и др.

Несмотря на свою практическую функцию, пожарные каланчи практически сразу стали рассматриваться как объекты, требующие представительного архитектурного оформления. Осознавая их значимость и доминирующее положение в городском пространстве, власти стремились придать им эстетически привлекательный вид, что привело к разнообразию архитектурных стилей:

Классицизм и ампир: характерны для первой половины XIX века. Лаконичность форм, строгая симметрия, использование портиков и ордерных элементов (каланча в г. Клин).

Эклектика и историзм: доминируют во второй половине XIX века. Архитекторы свободно смешивали элементы ренессанса, барокко, готики, создавая импозантные и узнаваемые здания (каланча в г. Вологда).

Модерн и русский стиль: для начала XX века характерны более пластичные формы, использование асимметрии, кованых элементов и стилизованных древнерусских мотивов (каланча в г. Ростов Великий).

Архитектурная выразительность, подчеркнутая вертикаль (башня, шпиль) и центральное расположение на главных площадях изначально закладывали в эти объекты потенциал будущего символа [4].

Развитие технологий, такие как внедрение телефонов, радиосвязи и автоматизированных систем сигнализации, и увеличение этажности городской застройки привело к тому, что к середине XX века пожарные каланчи постепенно утратили свою основную задачу. Тем не менее, это не привело к их массовому уничтожению. Вместо этого, начался процесс их восстановления и переосмысления как символов.

Можно выделить несколько основных направлений адаптации пожарных каланчей в современных условиях:

Музеефикация: наиболее распространенный подход, когда в зданиях каланчей размещаются музеи, часто посвященные истории пожарного дела (например, в Москве, Ярославле, Пскове). В этом случае, сама башня становится центральным экспонатом.

Административное использование: каланчи интегрируются в структуру региональных управлений МЧС России, выполняя представительские функции и подчеркивая связь с историей службы.

Интеграция в туристическую и культурную среду: каланчи превращаются в туристические достопримечательности, смотровые площадки и центры проведения городских мероприятий [5].

Приведенный анализ демонстрирует эволюцию пожарной каланчи: от специализированного сооружения до многогранного культурного символа. Этому способствовали несколько факторов: благоприятная локация в городской структуре, яркая архитектурная выразительность и, как ни странно, утрата первоначальной функции, что позволило раскрыть ее символический потенциал. В современном городском ландшафте каланча выступает в качестве устойчивого культурного кода, обеспечивающего связь времен и поддержание городской идентичности. Сохранение и адаптивное использование объекта представляют собой эффективную модель работы с историко-архитектурным наследием – не консервацию прошлого, а его органичную интеграцию в современную городскую жизнь, наполняющую ее новыми смыслами и глубиной.

Библиографический список:

1. Иванов Е.К. Архитектура пожарных депо России XIX-XX вв. М.: Стройиздат, 1985. – 215 с.
2. Смирнова Л.М. Урбанистические символы в исторической перспективе // Вестник урбанистики. 2018. № 4. С. 45-59.
3. Щенков А.С. Реставрация и приспособление памятников архитектуры в современной городской среде. М.: Либроком, 2012. 304 с.
4. Пожарная каланча - «глаза пожарной команды» [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://portal.edufire37.ru/articles/75> Дата обращения 02.11.2025.
5. По прозванию каланча [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://presnya.mos.ru/important-in-the-area/detail/11855637.html> Дата обращения 02.11.2025.

© Яриева З.Р., 2025

Д.Х. ЗИННАТУЛЛИНА, И.А. СМИРНОВ

dianazinnatullina19@gmail.com

Науч. руковод. – канд. техн. наук. доцент **Ю.Н. ЭЙДЕМИЛЛЕР**

Уфимский университет науки и технологий

ПЕРЕДОВЫЕ МЕТОДЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ ПОСЛЕ АТАКИ БПЛА

Аннотация: по данным из открытых источников за 2024 год над 35 российскими регионами было всего сбито около 7345 БПЛА. Чаще всего атаки производились на нефтебазы или на склады горюче-смазочных материалов. В связи с этим, актуальность эффективного тушения пожаров после атаки БПЛА только возрастает. Авторы рассмотрели общие тенденции развития беспилотных летальных аппаратов и предложили ряд методов по борьбе с возгоранием.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты; атаки БПЛА; тушение пожаров; стратегические объекты; пожарная безопасность

Важно подчеркнуть, что по официальным данным за 2024 год наибольшее количество БПЛА было зафиксировано и сбито в Белгородской области в количестве 1896 [4]. Как сообщает тот же источник в Брянской области это количество составило 1206, а в Курской области значение приравнивается к 1170. Кроме того, в январе прошлого года было предотвращено около 100 атак, а к середине июня примерно 600 атак. Стоит обратить внимание, что наибольший пик атак пришёлся на осень, а именно на октябрь месяц. Именно в этом месяц 2024 года было совершено атак в размере 1128 БПЛА. Того же года уже в следующем месяце наблюдается уменьшение количество атак до 1038, а в декабре количество атаки уменьшились до 731.

В современном мире люди всё больше стали использовать искусственный интеллект в различных сферах, соответственно, инженеры БПЛА не обошли его стороной. ИИ позволяет не только оптимально рассчитывать расстояние до объекта поражения, но автономно принимает решения в зависимости от ситуации. Как пишет Б.Р. Андриевский, стратегия будет варьироваться в зависимости от изменения траектории движения непосредственного объекта [1]. Благодаря хорошо обученной модели LLM можно эффективно управлять БПЛА, что выступает отличным помощников вовремя выполнения задач.

Для полного понимания масштаба и географии проблемы обратимся к карте (рис. 1). Благодаря ей можно понять, что большинство атак совершались как на дальние субъекты Российской Федерации, так и на ближние. В совокупности подобная визуализация демонстрирует, что основная угроза пожаров, которая создаётся в результате диверсионных атак перестала быть гипотетической, теперь требует от пожарных служб высокого уровня

готовности и своевременных способов тушения пожаров.

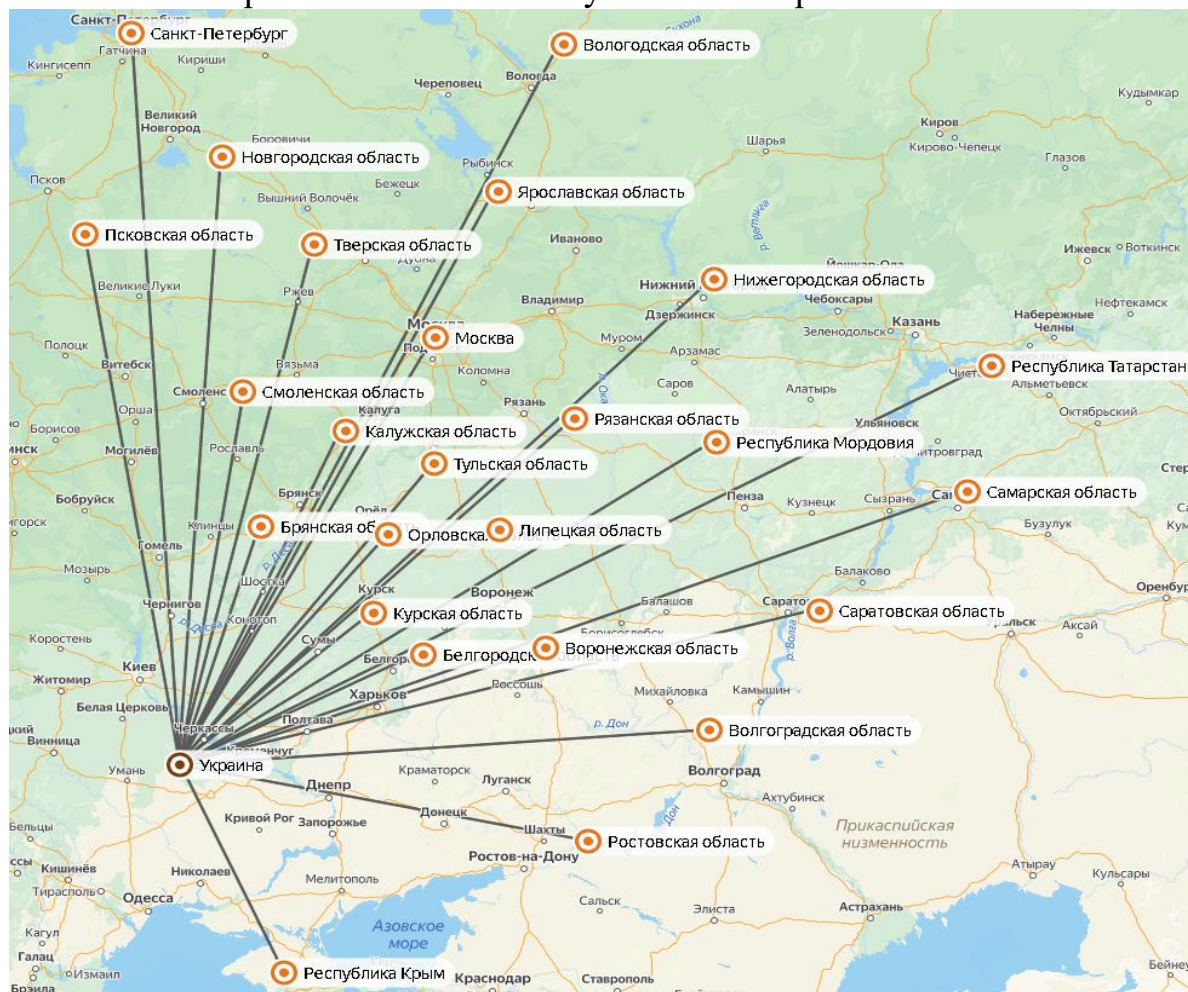


Рис. 1. Области, которые чаще всего подвергались атакам БПЛА за 2024 год в Российской Федерации [5]

По данным из рис. 1 можно сделать вывод, что большинство территорий, которые чаще всего были подвержены атакам БПЛА в Российской Федерации свидетельствуют о том, что ключевая задача БПЛА заключается в уничтожении стратегических объектов.

Также стоит понимать, что регулярность таких подобных атак обуславливает повышенную опасность, из-за которой как правило возникают пожары. В большинстве случаев это заключается в том, что БПЛА всё чаще несут не просто обыкновенную взрывчатку, а кумулятивные или зажигательные боеприпасы. Именно задача таких боеприпасов заключается в том, чтобы пробить не только преграду, но и инициировать горение. Как зачастую происходит, горячая жидкость разливается, её пары сразу же начинают воспламеняться. Отсюда возникает пожар, который через несколько минут перекидывается на соседние здания или рядом стоящие конструкции. К этому всему ещё добавляются такие последствия как: обрушение здания, химическое заражение и чрезвычайные ситуации. Следовательно, традиционные методы тушения возгорания после атаки БПЛА оказываются малоэффективными и крайне опасными для пожарных служб.

Далее рассмотрим основные методы тушения пожаров после атаки БПЛА. Важно учитывать географию объекта и его специфику, на котором произошла атака. Например, произошло возгорание на нефтебазе, которая находится на горе. Пожарной службе будет сложно в быстром порядке ликвидировать пожар. Поэтому это необходимо брать во внимание при руководстве использования новых методов тушения пожаров.

Таблица 1

Современные методы тушения пожаров после атаки БПЛА

№	Полное название метода	Описание и основной принцип работы	Ключевой сценарий применения	Особенности и другие параметры
1	Роботизированные пожарные комплексы	Он представляет собой полноценный самоходную установку на гусеничной, вместе с дистанционным управляемым оператором. Также в нём присутствуют стволы для подачи необходимых жидкостей.	Основное применение заключается в тушении пожаров в зонах с высокой угрозой обрушения, взрывов, в том числе с повышенной температурой.	- дальность действия до 300-500 метров; - подача до 60 л/с жидкости; - противоударная защита.
2	Барьерной тушение, при помощи БПЛА-камикадзе	БПЛА представляет собой небольшое устройство, которое предназначение для поражения эпицентра пламени.	Основное применение, когда прямое тушение невозможно из-за интенсивности горения объекта.	- дальность действия до 300-500 метров; - система наведения по тепловому излучению.
3	Криогенные завесы	Представляет собой большой завес из испаряющего жидкого азота для быстрого охлаждения	Основное применение в защите персонала при проведении непосредственных аварийных работ.	- эффективность действия 10-25 метров; - система для подачи азота и его хранения; - датчики контроля температуры.

По данным из таблицы 1 можно сделать вывод, что современные методы тушения имеют свои преимущества. Например, максимальное снижение риска для пожарных служб, в том числе повышается эффективность работы в условиях угроз (обрушения, заражения), а также это позволяет работать в непригодных условиях для человека.

Однако, у методов можно заметить и существенные недостатки.

Например, высокая стоимость данных технологий и её обслуживание. К этому же относится необходимость специального обучения персонала.

Таким образом, современные способы тушения пожаров часто сталкиваются с различными новым вызовами, которые требуют перехода от традиционных методов к передовым решениям. Такие решения, как роботизированные комплексы, БПЛА-камикадзе и криогенные завесы, все они обладают общей чертой, а именно минимизируют основной риск для жизни пожарного состава.

Библиографический список

1. Андриевский Б.Р., Попов А.М., Михайлов В.А., Попов Ф.А. Применение методов искусственного интеллекта для управления полетом беспилотных летательных аппаратов // Аэрокосмическая техника и технологии. 2023. №2.
2. Рекомендации по тушению пожаров в резервуарных парках хранения темных и светлых нефтепродуктов при атаках беспилотных летательных аппаратов. М.: МЧС России, 2025. 182 с.
3. Методические рекомендации по организации гарнизонной службы в пожарно-спасательных гарнизонах. М.: АГПС МЧС России, 2025. 153.
4. Профиль / Официальный источник. – Режим доступа: <https://lenta.ru/news/2025/01/13/nazvan-samyu-atakuemyu-vsu-v-2024-godu-region-rossii/> Дата обращения: 05.11.2025.
5. 63RU / Официальный сайт. Режим доступа: <https://63.ru/text/politics/2024/04/03/73417103/> Дата обращения: 07.11.2025.

© Зиннатуллина Д.Х., Смирнов И.А., 2025

При подготовке электронного издания использовались следующие программные средства:

- Adobe Acrobat – текстовый редактор;
- Microsoft Word – текстовый редактор.

Все права защищены. Книга или любая ее часть не может быть скопирована, воспроизведена в электронной или механической форме, в виде фотокопии, записи в память ЭВМ, репродукции или каким-либо иным способом, а также использована в любой информационной системе без получения разрешения от издателя. Копирование, воспроизведение и иное использование книги или ее части без согласия издателя является незаконным и влечет уголовную, административную и гражданскую ответственность.

Научное издание

МАВЛЮТОВСКИЕ ЧТЕНИЯ

Том 6

Материалы

***XIX Всероссийской молодёжной научной конференции
(г. Уфа, 24 – 28 ноября 2025 г.)***

Электронное издание сетевого доступа

*За достоверность информации, изложенной в статьях,
ответственность несут авторы.*

Статьи публикуются в авторской редакции

Подписано к использованию 29.12.2025 г.
Гарнитура «Times New Roman». Объем 14,76 Мб.
Заказ 397.

***ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
450008, Башкортостан, г. Уфа, ул. Карла Маркса, 12.***

Тел.: +7-908-35-05-007
e-mail: ric-bdu@yandex.ru