

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»
Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева
Российское химическое общество им. Д.И. Менделеева
Тульское отделение Российского химического общества им. Д.И. Менделеева
Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)
ТООО «Научно-технический центр»
ООО «ТУЛЬСКИЙ ДНТ»

ЭКОЛОГИЯ И ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

**V ВСЕРОССИЙСКАЯ МОЛОДЁЖНАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

Сборник докладов

Тула
Издательство ТулГУ
2026

УДК 504(062)
ББК 20.17я431
Э 40

Рецензенты:

С.Н. Вольхин, д-р пед. наук, профессор, ректор,
АНО ДПО «Академия профессионального развития»;

Е.М. Рылеева, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры
охраны труда и окружающей среды,
ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»

Э 40 Экология и техносферная безопасность : V Всероссийская
молодёжная научно-практическая конференция : сб. докладов / под
общ. ред. В.М. Панарина. – Тула : Изд-во ТулГУ, 2026. – 147 с.

ISBN 978-5-7679-5934-1

Цель проведения конференции – обмен опытом и укрепление связей между студентами, аспирантами, молодыми учеными для выявления новых направлений в решении теоретических и прикладных вопросов стратегии устойчивого развития и глобальных экологических проблем городов, экологии и охраны окружающей среды, энергии и чистых технологий, техносферной безопасности современного производства.

В сборнике представлены материалы по данным направлениям, даны решения некоторых практических задач охраны окружающей среды и техносферной безопасности.

Материалы предназначены для научных сотрудников, преподавателей высших учебных заведений, аспирантов, студентов и специалистов, занимающихся проблемами экологии и техносферной безопасности.

Редакционная коллегия:

В.П. Мешалкин, академик РАН; *В.М. Панарин*, проф., д-р техн. наук;
А.А. Маслова, доц., д-р техн. наук; *Л.Э. Шейнкман*, проф. д-р техн. наук;
А.Е. Коряков, доц., канд. техн. наук

УДК 504(062)
ББК 20.17я431

ISBN 978-5-7679-5934-1

© Авторы докладов, 2026
© Издательство ТулГУ, 2026

ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ВОЗВРАТА ЛАБОРАТОРНЫХ ОТХОДОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЦИКЛ

Студент гр. ЗМ 5104 С.А. Неврина,
Научный руководитель Б.С. Шапхаев

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,
г. Улан-Удэ

***Аннотация.** В статье рассматривается проблема обращения с лабораторными отходами стабильного газового конденсата, образующимися при проведении обязательных испытаний по ГОСТ Р 54389-2011. Традиционная практика передачи таких отходов сторонним организациям для утилизации сопряжена с дополнительной экологической нагрузкой и финансовыми затратами. Предложен и экспериментально обоснован метод ежедневного возврата отходов и лабораторных проб в резервуарный парк объёмом 5000 м³. Сравнение результатов анализов двух проб (до и после лабораторных процедур) показывает, что все контролируемые показатели остаются в пределах нормативных требований, а различия не превышают погрешностей измерений. Внедрение данной методики позволяет предотвратить образование отходов III класса опасности, исключить транспортные выбросы парниковых газов, снизить плату за негативное воздействие на окружающую среду и повысить ресурсоэффективность предприятия. Предложенный подход соответствует принципам цикличной экономики и рекомендуется для внедрения в лабораториях нефтегазового комплекса.*

***Ключевые слова:** стабильный газовый конденсат, лабораторные отходы, возврат в технологический цикл, ГОСТ Р 54389-2011, экологическая безопасность, ресурсосбережение, цикличная экономика, предотвращение отходов, углеродный след.*

В условиях современного производства, ориентированного на принципы ресурсосбережения и цикличной экономики, особое значение приобретает проблема экологической безопасности и рационального использования ресурсов. В отличие от линейной модели «взял – сделал – утилизировал», циклическая экономика предполагает максимальное сохранение материальной ценности ресурсов внутри производственной цепочки. Лабораторные отходы в этой парадигме перестают быть обузой и превращаются во внутренний вторичный ресурс, а их возврат становится не просто экологической инициативой, а экономически обоснованной технологической операцией. В производственных лабораториях формируется значительный поток отходов, содержащих углеводородные фракции и органические растворители. Традиционный путь их утилизации, подразумевающий сбор и передачу специализированным организациям, ведёт к прямым финансовым потерям и увеличению экологической нагрузки. Одним из перспективных решений является возвращение определённых видов отходов лабораторной деятельности обратно в технологический цикл, что способствует снижению негативного воздействия на окружающую среду и повышению экономической

эффективности предприятия. Опыт показывает, что при правильной организации входного контроля возвращаемые объёмы не превышают 0,001% от товарного потока, что гарантирует неизменность качества. Ключевое условие – сохранение качества конечного продукта при легальном превращении отхода во вторичное сырьё. Речь идёт, в первую очередь, о таких ценных компонентах, как углеводороды (нефть, газовый конденсат), которые могут быть напрямую возвращены в технологическую цепочку без ущерба для качества конечного продукта. Важным вопросом является включение в эту схему растворителей – нефраса и толуола. В данной статье обосновывается возможность возвращения углеводородов и растворителей без изменения химического состава основного продукта.

С практической точки зрения для легитимности операции необходимо соблюдение критериев, установленных Приказом Минприроды № 1027 [3]: возвращаемая смесь должна соответствовать техническим условиям на товарную продукцию, а её использование не должно приводить к образованию новых отходов с более высоким классом опасности. В соответствии со статьёй 1 Федерального закона № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» [2], вещество перестаёт быть отходом, если оно используется в технологическом процессе в качестве сырья или компонента для производства продукции. Дополнительно требуется документальное подтверждение того, что операция не является смешением отходов с продукцией с целью ухода от платы за НВОС – в нашем случае это исключено, так как возврат осуществляется в рамках регламента и фиксируется в журнале учёта. В лаборатории планируется осуществлять тщательную сортировку отходов, в ходе которой будут возвращены обратно в технологию компоненты: нефть, газовый конденсат, нефрас и толуол. Сортировка подразумевает визуальный контроль и исключение посторонних примесей (вода, кислоты, галогены) – любая подозрительная партия направляется на внешнюю утилизацию. Практика показывает, что основные риски связаны с попаданием хлорированных растворителей (например, дихлорэтана) или остатков моющих средств – поэтому каждую возвращаемую партию предлагается проверять экспресс-методом (плотность, проба на хлор). Стабильный газовый конденсат и нефть по своему химическому составу представляют собой сложную многокомпонентную смесь ароматических, нафтяных и парафиновых углеводородов C5 и выше. Нефрас представляет собой смесь лёгких углеводородов (C5-C10), являющихся естественными компонентами товарной нефти и конденсата. Толуол – стандартный ароматический компонент, присутствующий в составе газового конденсата и нефти в концентрациях до 1 %. Таким образом, все возвращаемые вещества изначально являются штатными компонентами конечного продукта, что принципиально отличает данную схему от попыток утилизировать посторонние отходы. Организация хранения опасных легковоспламеняющихся отходов в здании лаборатории сопряжена с нарушением норм пожарной безопасности. Согласно СП 12.13130 [4], хранение ЛВЖ в лаборатории допускается только в количествах, не превышающих сменную потребность.

Образующиеся 7,2 литра отходов за смену уже превышают этот порог, следовательно, их длительное накопление запрещено. В связи с этим предлагается внедрить систему ежедневного возврата образующихся отходов в основной технологический процесс, так как резервуарный парк имеет близкое расположение от здания лаборатории. Дополнительно ежедневный возврат исключает риск аварийного пролива и накопления значительной массы горючих веществ внутри лабораторного корпуса, что соответствует требованиям промышленной безопасности.

Объём возвращаемого количества отходов в сутки составляет примерно 7,2 литра, из которых 1,2 – нефрас, 0,6 – толуол. Учитывая, что резервуар объёмом 5000 м³ обновляется каждые сутки, можно рассчитать примерную концентрацию толуола, возвращённого в резервуар. Исходя из расчётов массовой доли толуола в смеси, концентрация толуола равняется 0,000015 %, что считается следами количествами. Стандартная погрешность лабораторных методов определения содержания ароматических углеводородов составляет $\pm 0,05-0,1$ % абсолютных. Добавка в 0,000015 % лежит глубоко внутри шума измерений и не может быть детектирована даже при специальном анализе. Для того чтобы вещество оказало какое-либо значимое влияние на физико-химические свойства такой сложной смеси (например, на давление насыщенных паров, фракционный состав, плотность), его концентрация должна составлять как минимум доли процента или проценты. Следовательно, операция не является загрязнением или изменением состава, а представляет собой возврат в основной поток одного из его естественных химических компонентов в количестве, которое не выводит конечный продукт за рамки установленных технических регламентов и стандартов.

Однако оставался открытым вопрос: не изменяют ли сами лабораторные анализы качество нефти и стабильного газового конденсата настолько, что их возврат становится недопустимым? В производственных лабораториях пробы нефти и стабильного газового конденсата подвергаются комплексу испытаний согласно требованиям ГОСТ и внутренним регламентам. В соответствии с ГОСТ Р 54389-2011 «Конденсат газовый стабильный. Технические условия» [1], который распространяется на газовый конденсат, подготовленный на установках первичной переработки к транспортированию и применению в качестве сырья для дальнейшей переработки, установлен перечень обязательных показателей качества и методов их контроля. Часть этих анализов предполагает физическое воздействие на пробу (нагрев, фильтрование, контакт с реагентами). Для получения экспериментального подтверждения были проанализированы две пробы стабильного газового конденсата: первая – при входном контроле до проведения лабораторных испытаний, вторая – после полного комплекса анализов, приготовленная для возврата в резервуар. Результаты представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Результаты входного контроля стабильного газового конденсата

№ п/п	Наименование показателя	НД на метод испытаний	Норматив по ГОСТ Р 54389-2011	Результат	Погрешность $\pm\Delta$
1	Давление насыщенных паров, кПа (мм рт. ст.)	ГОСТ 1756-2000	Не более 66,7	58,3	3,5
2	Массовая доля воды, %	ГОСТ 2477-2014	Не более 0,5	Отсутствие	-
3	Массовая доля механических примесей, %	ГОСТ 6370-2018	Не более 0,05	Менее 0,005	-
4	Массовая концентрация хлористых солей, мг/дм ³	ГОСТ 21534- 2021 Метод А	Не более 300	3,0	3,0
5	Массовая доля серы, %	ГОСТ Р 51947- 2002	Не нормируют	0,101	0,013
6	Массовая доля сероводорода, ppm	ГОСТ Р 50802- 2021	Не более 100	Менее 2,0	-
7	Массовая доля метил- и этилмеркаптанов (сумма), ppm	ГОСТ Р 50802- 2021	Не более 100	52,1	12,0
8	Плотность при 20°С, кг/м ³	ГОСТ 3900-2022	Не нормируют	703,5	0,8
9	Плотность при 15°С, кг/м ³	ГОСТ Р 51069-97	Не нормируют	707,5	0,8
10	Выход фракций до 360°С, %	ГОСТ 2177-99 Метод Б	Не нормируют	36,8	1,4

Таблица 2

Результаты анализа стабильного газового конденсата после лабораторных испытаний

№ п/п	Наименование показателя	НД на метод испытаний	Норматив по ГОСТ Р 54389-2011	Результат	Погрешность $\pm\Delta$
1	Давление насыщенных паров, кПа (мм рт. ст.)	ГОСТ 1756-2000	Не более 66,7	60,2	3,5
2	Массовая доля воды, %	ГОСТ 2477-2014	Не более 0,5	Отсутствие	-
3	Массовая доля механических примесей, %	ГОСТ 6370-2018	Не более 0,05	Менее 0,005	-
4	Массовая концентрация хлористых солей, мг/дм ³	ГОСТ 21534-2021 Метод А	Не более 300	3,4	3,0
5	Массовая доля серы, %	ГОСТ Р 51947-2002	Не нормируют	0,101	0,013
6	Массовая доля сероводорода, ppm	ГОСТ Р 50802-2021	Не более 100	Менее 2,0	-
7	Массовая доля метил- и этилмеркаптанов (сумма), ppm	ГОСТ Р 50802-2021	Не более 100	52,1	12,0
8	Плотность при 20°C, кг/м ³	ГОСТ 3900-2022	Не нормируют	705,0	0,8
9	Плотность при 15°C, кг/м ³	ГОСТ Р 51069-97	Не нормируют	709,0	0,8
10	Выход фракций до 360°C, %	ГОСТ 2177-99 Метод Б	Не нормируют	36,1	1,4

Сравнение данных таблиц 1 и 2 показывает, что все показатели пробы после проведения лабораторных испытаний остались в пределах нормативных требований ГОСТ Р 54389-2011. Давление насыщенных паров изменилось с 58,3 кПа до 60,2 кПа, что находится внутри суммарной погрешности измерений. Массовая концентрация хлористых солей составила 3,4 мг/дм³ при норме не более 300 мг/дм³, что даже с учётом погрешности $\pm 3,0$ мг/дм³ остаётся на два порядка ниже норматива. Массовая доля серы не изменилась (0,101 % в обеих

пробах). Содержание метил- и этилмеркаптанов осталось одинаковым (52,1 ppm). Плотность при 20°C изменилась с 703,5 кг/м³ до 705,0 кг/м³, а плотность при 15°C – с 707,5 кг/м³ до 709,0 кг/м³. Выход фракций до 360°C составил 36,8 % в исходной пробе и 36,1 % в пробе после анализов – разница в 0,7 % также находится внутри погрешности метода ($\pm 1,4\%$).

Обращает на себя внимание тот факт, что ни один из показателей не приблизился к границе нормативного значения. Давление насыщенных паров даже после всех анализов остаётся ниже максимально допустимого 66,7 кПа (60,2 кПа). Содержание сероводорода в обеих пробах менее 2,0 ppm при норме не более 100 ppm. Механические примеси в обеих пробах менее 0,005 % при норме 0,05 %, то есть в 10 раз ниже предела. Особого внимания заслуживает анализ воды. По ГОСТ 2477-2014 в обеих пробах вода отсутствует. Это опровергает гипотетическое опасение, что при определении хлористых солей методом А (экстракция горячей водой) в пробу может попасть значимое количество влаги. В исследованной пробе после всех анализов вода по-прежнему не обнаруживается. Для практических целей возврата продукции в технологический цикл это означает, что проба после полного комплекса лабораторных испытаний по своим физико-химическим характеристикам идентична исходному товарному продукту.

С экологической точки зрения внедрение данной методики имеет первостепенное значение. Традиционная схема обращения с лабораторными отходами углеводородов предполагает их сбор, временное накопление и передачу сторонним организациям для утилизации, что неизбежно сопровождается транспортными выбросами парниковых газов, рисками разливов при перевозке и затратами энергоресурсов на сжигание или переработку. Ежегодно только одна производственная лаборатория генерирует около 1584 литров отходов (исходя из 7,2 литра в сутки при 220 рабочих днях). При традиционном подходе этот объём потребовал бы не менее 8-10 рейсов специализированного автотранспорта, каждый из которых сопровождается выбросом примерно 50-70 кг CO₂ на 100 км пробега. Кроме того, процесс сжигания углеводородных отходов на специализированных полигонах или цементных заводах приводит к дополнительным выбросам диоксида углерода, оксидов азота и серы. Предлагаемая методика возврата проб в технологический цикл полностью исключает эти негативные воздействия. Углеводороды не покидают пределов предприятия, не транспортируются по дорогам общего пользования и не подвергаются термическому обезвреживанию. Вместо этого они возвращаются в резервуарный парк и становятся частью товарной продукции. С учётом того, что в год возвращается более полутора тысяч литров ценного углеводородного сырья, предотвращается не только загрязнение окружающей среды, но и сохраняется невозобновляемый природный ресурс. При этом пробы после анализов не смешиваются с токсичными реагентами, не требуют обезвреживания и не изменяют своих свойств. Особого внимания заслуживает вопрос предотвращения образования отходов высших классов опасности. В традиционной логистической цепочке лабораторные углеводороды

классифицируются как отходы III класса опасности (легковоспламеняющиеся жидкости), что налагает на предприятие обязанности по паспортизации, лицензированию и плате за негативное воздействие на окружающую среду.

При возврате в технологический цикл данная субстанция перестаёт быть отходом в соответствии со статьёй 1 Федерального закона № 89-ФЗ [2] и становится вторичным сырьём, используемым в основном производстве. Это позволяет предприятию исключить из своего экологического отчёта значительный объём образующихся отходов, снизить плату за НВОС и улучшить ключевые показатели устойчивого развития. По данным расчётов, годовая экономия на плате за размещение отходов только для одной лаборатории может составить от 50 до 100 тысяч рублей в зависимости от региональных тарифов, не считая затрат на транспортировку. Помимо прямого экологического эффекта, следует отметить и вклад в снижение углеродного следа предприятия. К косвенным выбросам парниковых газов относятся выбросы, связанные с транспортировкой отходов и их переработкой вне предприятия. Отказ от аутсорсинговой утилизации позволяет исключить из отчётности эти объёмы. Расчёт показывает, что предотвращение 8-10 рейсов бензовоза в год снижает выбросы CO₂ примерно на 1,5-2 тонны в год, что сопоставимо с работой 150-200 деревьев за тот же период.

Таким образом, экспериментальные данные полностью подтверждают теоретические выводы о возможности и целесообразности возврата лабораторных проб стабильного газового конденсата в технологический цикл. Лабораторные анализы, предусмотренные ГОСТ Р 54389-2011 [1] и соответствующими методами испытаний [5-13], не вносят в пробы изменений, которые могли бы ухудшить товарные качества продукции. Единственный разрушающий анализ (определение серы по ГОСТ Р 51947-2002 [9]) расходует менее 1 мл пробы, что на фоне суточного возврата 7,2 литра является незначительным (менее 0,014 %). Возврат растворителей (нефрас, толуол) в концентрациях 0,000015 % не изменяет свойств товарной продукции и находится ниже порога детектирования стандартными методами. Предложенная методика полностью соответствует принципам ресурсосбережения и цикличной экономики, а также вносит реальный вклад в снижение экологической нагрузки: предотвращаются транспортные выбросы, исключается риск разливов, снижается объём отходов, направляемых на сжигание и захоронение, и улучшается экономика предприятия. Данный подход является примером наилучшей доступной технологии в области обращения с лабораторными отходами углеводородов и может быть рекомендован к внедрению на всех предприятиях нефтегазового комплекса.

Список литературы

1. ГОСТ Р 54389-2011 «Конденсат газовый стабильный. Технические условия». М.: Стандартинформ, 2012.
2. Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» (ред. от 04.08.2023).

3. Приказ Минприроды России от 08.12.2020 № 1027 «Об утверждении Порядка учёта в области обращения с отходами».
4. СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности».
5. ГОСТ 1756-2000 «Нефтепродукты. Определение давления насыщенных паров методом Рейда». – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
6. ГОСТ 2477-2014 «Нефть и нефтепродукты. Метод определения содержания воды». – М.: Стандартинформ, 2015.
7. ГОСТ 6370-2018 «Нефть, нефтепродукты и присадки. Метод определения механических примесей». – М.: Стандартинформ, 2018.
8. ГОСТ 21534-2021 «Нефть. Методы определения хлористых солей». – М.: Российский институт стандартизации, 2021.
9. ГОСТ Р 51947-2002 «Нефть и нефтепродукты. Определение серы методом энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектроскопии». – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.
10. ГОСТ Р 50802-2021 «Нефть. Метод определения сероводорода, метил- и этилмеркаптанов». – М.: Стандартинформ, 2021.
11. ГОСТ 3900-2022 «Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности». – М.: Российский институт стандартизации, 2022.
12. ГОСТ Р 51069-97 «Нефть и нефтепродукты. Метод определения плотности, относительной плотности и плотности в градусах API ареометром». – М.: ИПК Издательство стандартов, 1997.
13. ГОСТ 2177-99 «Нефтепродукты. Методы определения фракционного состава». – М.: ИПК Издательство стандартов, 2000.

ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

К.Ф. Янкив, Е.С. Смирнова

Российский государственный социальный университет,
г. Москва

Аннотация. В статье рассматривается влияние экологических факторов на химический состав сосны обыкновенной, произрастающей в условиях городской среды. В качестве факторов воздействия исследованы устойчивый снежный покров и экспериментально смоделированный кислотный дождь. Фотометрическим методом определены и представлены суммарные концентрации флавоноидов и тритерпеновых сапонинов в экстрактах, полученных методом экстрагирования при помощи аппарата Сокслета.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, экологические факторы, снежный покров, кислотный дождь, флавоноиды, сапонины, аппарат Сокслета, экстракт, оптическая плотность, фотометрия.

Каждый день антропогенная нагрузка на городские экосистемы стремительно растет. Растения, находясь в постоянном взаимодействии со

средой, первыми реагируют на изменения качества окружающей среды. Сосна обыкновенная, являясь широко распространенным и долгоживущим видом, накапливает и биохимически реагирует на поллютанты, что делает ее хорошим биоиндикатором состояния окружающей среды.

Поскольку у сосны обыкновенной сложный химический состав, для оценки реакции на внешние воздействия, мы выбрали определение суммарного содержания флавоноидов и тритерпеновых сапонинов. Флавоноиды – полифенольные соединения – выполняют в растениях антиоксидантную и фотозащитную функции. Они нейтрализуют активные формы кислорода, образующиеся при стрессе, и хелатируют ионы металлов. Таким образом, содержание флавоноидов напрямую отражает состояние антиоксидантной защиты растений. Тритерпеновые сапонины – поверхностно-активные сложные органические соединения – участвуют в защитных реакциях и отвечают за поддержание целостности мембран. Их концентрация также отражает состояние защитного метаболизма и может изменяться под воздействием экологических факторов [1-3].

Объектом исследования стали ветви сосны обыкновенной, произрастающей в условиях городской среды. Место сбора – жилой массив района Марьино города Москва. Сырьё было собрано дважды: первый образец – в апреле 2026 года (после схода снежного покрова, содержащего накопленные загрязнения), второй – в мае 2026 года. Для моделирования кислотного дождя собранное сырьё второго образца погружали в слабокислый раствор соляной кислоты с $pH \approx 5,5$ и выдерживали в течение 72 часов, после чего приступали к приготовлению экстракта.

В ходе работы было получено два экстракта из сырья, собранного в разные сроки. Для экстрагирования использовался аппарат Сокслета. Выбор данного метода экстрагирования обусловлен тем, что он обеспечивает наиболее полное извлечение биологически активных соединений. Для обоих экстрактов в качестве экстрагента использовали 40 % этиловый спирт объемом 240 мл, навеска сырья (хвой) составляла 30 гр.

Наличие флавоноидов и сапонинов определяли качественным и количественным методами.

Флавоноиды обнаруживали тремя реакциями: цианидиновой пробой, реакцией с 10 % раствором щёлочи (появление жёлтого окрашивания) и реакцией с уксуснокислым свинцом (изменение окраски и выпадение осадка).

Сапонины определяли реакцией со щёлочью и соляной кислотой (устойчивое пенообразование), реакцией с уксуснокислым свинцом (выпадение осадка) и реакцией с концентрированной серной кислотой и сульфатом железа (II) (переход окраски из голубой в зелёную). Положительный результат всех реакций подтвердил присутствие в экстракте как флавоноидов, так и сапонинов, что изображено на рисунках 1 и 2.

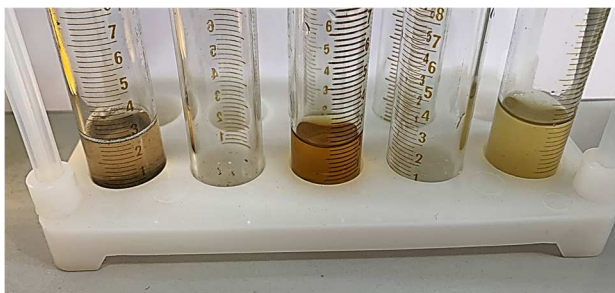


Рис. 1. качественное определение содержания флавоноидов

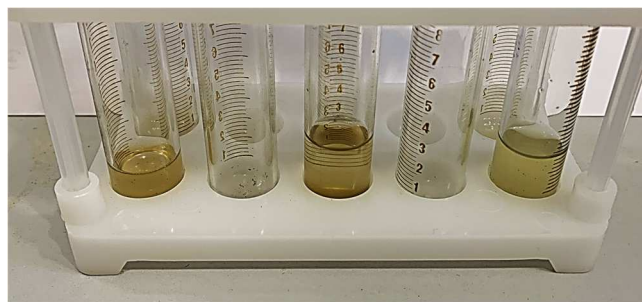


Рис. 2. качественное определение содержания сапонинов

Для количественного определения флавоноидов и сапонинов в экстрактах требовалось значение влажности сырья, которое определяли гравиметрическим методом и рассчитывали по формуле 1, представленной ниже:

$$W = \frac{(m_1 - m_2)}{m} \cdot 100, \quad (1)$$

где m_1 – масса бюкса с навеской до высушивания, г;

m_2 – масса бюкса с навеской после высушивания, г;

m – масса навески до высушивания, г.

Влажность сырья составила 54,13 %

Концентрацию сумм флавоноидов и сапонинов в экстракте определяли фотометрическим методом, измеряя оптическую плотность растворов на фотометре КФК-3-«ЗОМЗ». Флавоноиды определяли при длине волны 408 нм (комплекс с рутином), сапонины – при 381 нм (комплекс с эсцином). Содержание суммы в процентах (X) вычисляли по формуле (2):

$$X = \frac{A \cdot 50 \cdot 25 \cdot 100}{E \cdot a \cdot (100 - W)}, \quad (2)$$

где A – оптическая плотность раствора Б;

E – удельный показатель поглощения комплекса рутина с алюминия хлоридом при длине 408 нм, равный 248;

E – удельный показатель поглощения комплекса эсцина с алюминия хлоридом при длине 381 нм, равный 76,5;

a – навеска сырья, г;

W – влажность сырья, %.

Результаты количественного определения сумм флавоноидов и тритерпеновых сапонинов в двух экстрактах представлены в таблице.

Анализ данных таблицы 1 свидетельствует, что в экстракте 1 (сырьё, подвергнувшееся воздействию тающего снежного покрова) содержание суммы флавоноидов составило 0,038 %, суммы сапонинов – 0,165%. В экстракте №2 (дополнительное воздействие кислотного дождя, pH ≈ 5,5, 72 ч) оба показателя снизились: содержание флавоноидов – до 0,030 %, сапонинов - до 0,120 %. Таким

образом, моделированное кислотное воздействие оказывает выраженный депрессивный эффект на синтез вторичных метаболитов обеих групп.

Результаты фотометрического определения БАВ в экстрактах сосны обыкновенной

Показатель	Экстракт №1		Экстракт №2	
	Оптическая плотность А	Концентрация, %	Оптическая плотность А	Концентрация, %
Сумма флавоноидов X в пересчете на рутин, %	0,105	0,038	0,082	0,030
Сумма сапонинов X в пересчете на эсцин, %	0,139	0,165	0,101	0,120

Установлено, что в условиях воздействия исключительно тающего загрязнённого снежного покрова (экстракт 1) растение сохраняет более высокий уровень вторичных метаболитов. Дополнительное моделированное воздействие кислотного дождя (экстракт №2) приводит к снижению как суммы флавоноидов (на 21 %), так и суммы сапонинов (на 27 %). Полученные данные демонстрируют, что экологические факторы, такие как загрязнённый снежный покров и кислотный дождь, реально и измеримо изменяют химический состав растений

Список литературы

1. Задубровская Т.А. Ядовитые вещества в комнатных растениях / Л.В. Шуклина, А.Ю. Шеховцова, К.Ф. Янкив // В сборнике: *Фундаментальные и прикладные исследования в области химии и экологии.* – 2021. сборник научных статей Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Курск, 2021. – С. 115-119.
2. Горелова М.И. Флавоноиды как биологически активные соединения экстракта маклюры / К.Ф. Янкив // В сборнике: *Фундаментальные и прикладные исследования в области химии и экологии.* – 2022. сборник научных статей Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 80-летию со дня рождения профессора Ф.Ф. Ниязи. Юго-Западный государственный университет; Raunvísindastofnun Háskólans; University of Szeged; Омский государственный медицинский университет. – Курск, 2022. – С. 51-54.
3. Береснева А.В. Экстракция флавоноидов, сапонинов и дубильных веществ из семян конского каштана и их качественное определение / К.Ф. Янкив // В сборнике: *Фундаментальные и прикладные исследования в области химии и*

экологии - 2022. сборник научных статей Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 80-летию со дня рождения профессора Ф.Ф. Ниязи. Юго-Западный государственный университет; *Raunvísindastofnun Háskólans; University of Szeged; Омский государственный медицинский университет.* – Курск, 2022. – С. 40-43.

МЕТОДОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ДАННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРИ ПОИСКЕ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Аспирант гр. аОТиОС/2.10.2-25 Ю.Д. Исаева,
Научный руководитель А.А. Маслова
Тульский государственный университет,
г. Тула

***Аннотация.** В статье рассматривается проблема идентификации источников загрязнения атмосферного воздуха в условиях роста промышленного производства и урбанизации. Показаны ограничения существующих методов – математического моделирования и подходов на основе искусственного интеллекта. Предложена каскадная система анализа, которая позволит повысить точность выявления источников выбросов.*

Интенсивное развитие промышленного производства в сочетании с ускоренной урбанизацией в XXI веке выдвинули вопросы обеспечения экологической безопасности на передний план глобальных приоритетов. Особую актуальность приобрела проблема поддержания надлежащего качества атмосферного воздуха – важного компонента окружающей среды, напрямую влияющего на здоровье населения и устойчивое развитие территорий.

Несмотря на существование разветвлённой системы экологического нормирования и контроля, в современных условиях по-прежнему регулярно фиксируются случаи незапланированных, залповых и несанкционированных выбросов загрязняющих веществ. Подобные инциденты, возникающие вследствие технологических нарушений, аварийных ситуаций или даже преднамеренных действий, зачастую носят кратковременный и локальный характер. Это создаёт существенные трудности для их своевременного обнаружения и локализации традиционными методами мониторинга, которые ориентированы преимущественно на постоянный контроль фоновых концентраций [1].

В результате складывается ситуация: современные измерительные комплексы фиксируют факт превышения предельно допустимых концентраций вредных веществ, однако установить конкретный источник выброса зачастую не представляется возможным. Подобная неопределённость влечёт за собой целый комплекс серьёзных последствий:

- негативное воздействие на здоровье и благополучие населения, вплоть до роста заболеваемости;

- сложности в применении адекватных мер административного и технического воздействия к виновникам загрязнения;
- репутационные и финансовые потери для предприятий, в том числе из-за необоснованных обвинений;
- снижение доверия общественности к системе экологического контроля в целом.

Ключевая научная проблема, на решение которой направлено данное исследование, заключается в отсутствии надёжных автоматизированных методов, способных не просто зафиксировать факт превышения концентрации загрязняющего вещества, но и с высокой точностью определить конкретный стационарный источник выброса [2]. Особенно остро эта проблема проявляется в условиях сложной промышленной застройки и изменчивых метеорологических условий, когда традиционные подходы оказываются малоэффективными.

Актуальность исследования определяется комплексом взаимосвязанных факторов:

- Загрязнение атмосферного воздуха в промышленных регионах представляет серьёзную угрозу здоровью населения. Раннее обнаружение и точная атрибуция источников выбросов позволят оперативно устранять экологические угрозы.

- Современные информационно-измерительные системы (ИИС) генерируют огромные массивы данных о состоянии атмосферного воздуха. Однако в большинстве случаев этот потенциал остаётся нереализованным: данные накапливаются, но не подвергаются глубокому интеллектуальному анализу.

Современные подходы к решению задачи можно условно разделить на два основных класса:

1. Методы решения обратных задач математической физики. Они позволяют реконструировать параметры источника загрязнения (местоположение, интенсивность, время начала выброса) по данным о концентрациях, измеренных в ограниченном числе точек.

2. Методы на основе искусственного интеллекта. Использование нейронных сетей и алгоритмов машинного обучения даёт возможность напрямую сопоставлять поля концентраций с параметрами источника, минуя сложные вычисления. Однако эти подходы имеют существенные ограничения: они требуют больших объёмов размеченных данных для обучения характеризуются низкой интерпретируемостью результатов [3].

Анализ существующих подходов выявил ряд существенных ограничений:

- Стационарные посты наблюдения способны зафиксировать аномалию концентраций, но не могут однозначно определить её источник, особенно если рядом расположено несколько потенциальных загрязнителей или меняется направление ветра.

- Методы математического моделирования рассеивания эффективны для прогнозирования распространения выбросов от известного источника, но

требуют априорных данных о его параметрах (мощность, высота выброса). Они неприменимы для обнаружения неизвестных или неучтённых выбросов.

Для преодоления существующих ограничений разработана новая каскадная методология анализа данных экологического мониторинга. Она последовательно решает три задачи:

- Детектирование аномалий с помощью алгоритма Isolation Forest: в режиме реального времени система анализирует многомерные данные с датчиков и выявляет аномальные эпизоды по редким сочетаниям признаков – это позволяет отфильтровать фоновый шум и выделить инциденты, требующие углублённого анализа [4].

- Классификация выбросов посредством Random Forest: выявленные аномалии сопоставляются с профилями известных источников загрязнения. Обученный на исторических или синтетических данных ансамбль деревьев формирует вероятностную гипотезу о том, какой объект мог стать источником выброса.

Таким образом, предложенный подход существенно повышает точность и оперативность выявления источников загрязнения, одновременно снижая вычислительные затраты и повышая надёжность итоговых результатов.

Список литературы

1. Звягинцева А.В. Анализ моделей классификации для распознавания прецедентных событий в технологических процессах добычи нефти и газа / А.В. Звягинцева, И.Ю. Ковалев // Проблемы искусственного интеллекта. – 2025. № 2. – С. 66-78.

2. Кечеджиев А.С. Исследование обнаружения аномалий с использованием Isolation Forest в машинном обучении / А.С. Кечеджиев, О.Л. Цветкова // Вестник ДГТУ. Технические науки. – 2024. – № 1. – С. 106-112. DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-1-106-112.

3. Тарасов О.В. Построение индивидуальных образовательных траекторий на основе байесовской оценки знаний, кривой забывания и кластеризации задач / О.В. Тарасов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2025. – № 1 (69). – С. 30-37.

4. Воронин Е.А. Применение технологий машинного обучения в задачах оценки и обеспечения надёжности технических систем с учётом безопасности их работы / Е.А. Воронин // Надёжность и качество сложных систем. – 2024. – №4(48). – С. 75-83.

ТЕХНОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КМА

Т.А. Левина, Е.В. Калугина

Филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» в г. Губкине Белгородской области

***Аннотация.** Проведена оценка техногенного влияния на состояние подземных вод Старооскольско-Губкинского промышленного комплекса Белгородской области.*

***Ключевые слова:** режим подземных вод, техногенное воздействие; качество подземных вод; хвостохранилище.*

Территория Белгородской области характеризуется высокоразвитой промышленностью и сельскохозяйственным производством, что приводит к значительной техногенной нагрузке на гидрогеологическую систему, прежде всего на подземные воды, являющиеся единственным источником питьевого водоснабжения населения региона.

Особенности современных гидрогеологических условий территории Белгородской области заключаются в интенсивном нарушении природного состояния гидрогеологических подразделений, с одной стороны за счет осушения водоносных горизонтов в зоне влияния дренажных систем и водозаборов, с другой стороны, развития процессов подтопления в зоне влияния гидротехнических сооружений, техногенного и антропогенного загрязнения подземных вод [1]. В результате интенсивного освоения железорудных месторождений и эксплуатации водоносных горизонтов для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения крупных промышленных центров Белгородской области привело к значительным изменениям качественного состояния и гидрогеологического режима подземных вод.

Основной целью нашего исследования является изучение состояния подземных вод горнопромышленных районов КМА на территории Белгородской области, в частности, Старооскольско-Губкинского промышленного района.

Анализ состояния подземных вод в условиях возрастающего техногенного воздействия, расположенных на территории Белгородской области, проводился на основании многолетних исследований и материалов Белгородского территориального центра государственного мониторинга геологической среды и водоёмов (филиала ОАО «Гео центр-Москва» ТЦ «Белгородгеомониторинг»).

По Старооскольско-Губкинскому железорудному району суммарный водоотбор подземных вод достиг 350 тыс. м³/сут. Вода используется для хозяйственно-питьевого водоснабжения (120,6 тыс. м³/сут) и технического водоснабжения (106,4 тыс. м³/сут). Прямой сброс дренажных вод в поверхностные водотоки составляет 113 тыс. м³/сут. В то же время для технического водоснабжения горнорудных предприятий района из Старооскольского водохранилища ежесуточно забирается 105 тыс. м³ свежей воды.

На данной территории режим подземных вод формируется в зависимости от естественных факторов: развития гидрографической сети, условий залегания и параметров водоносных горизонтов, рельефа местности, климата, а также в зависимости от искусственных факторов: влияния крупных водозаборов городов Губкин и Старый Оскол, дренажных комплексов и гидротехнических сооружений Лебединского и Стойленского ГОКов. Основными факторами техногенного воздействия на подземные воды на территории области являются следующие:

- отбор подземных вод и сброс стоков в различного типа гидротехнические объекты;
- формирование в водоносных горизонтах депрессионных воронок и куполов растекания;
- загрязнение подземных и поверхностных вод за счет влияния полей фильтрации, отстойников и полей орошения стоками животноводческих комплексов, хвостохранилищ и других гидродинамически активных объектов загрязнения гидрогеологической системы.

Отрицательное влияние объектов Лебединского ГОКа связано как с интенсивным отбором подземных вод системой осушения карьеров, так и с фильтрационными потерями из технических водоемов (хвостохранилище, гидроотвал), что проявляется в трех основных направлениях: истощение запасов подземных вод; подтопление территорий; изменение качества подземных вод.

Режимная сеть гидрогеологических наблюдательных скважин размещена вокруг Лебединского карьера и прилегающей к нему территории, на хвостохранилище, заповеднике «Ямская степь», территории ГБЖ, промплощадке ЛГОКа, на водозаборных сооружениях.

Развитие горнодобывающей промышленности изменило условия питания и разгрузки подземных вод района. Основное питание водоносных горизонтов происходит за счет инфильтрации из технических водоемов (хвостохранилищ), а разгрузка – в дренажные системы карьеров. Подземные воды преимущественно альб-сеноманского водоносного горизонта широко используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения и извлекаются подземными дренажными комплексами Лебединского и Стойленского карьеров, а также водозаборами подземных вод. Основной объем хозяйственно-питьевой воды приходится на воду, извлеченную при осушении карьеров подземными дренажными комплексами. Объектом ГОКов, оказывающим наиболее существенное непосредственное влияние на режим и баланс подземных вод, является дренажная система Лебединского и Южно-Лебединского карьер.

Территория Стойленского ГОКа с расположенными на ней Стойленским карьером, отвалами, горно-обоганительной фабрикой и хвостохранилищем располагается в 6-8 км юго-западнее г. Старый Оскол в 5-8 км западнее р. Оскол. Влияние карьера и хвостохранилища на изменение уровня режима подземных вод достаточно существенно. К основным объектам ГОКа, оказывающим существенное влияние на гидродинамический режим подземных вод, следует отнести карьер, хвостохранилище и водозаборы подземных вод. На

юго-западе и западе исследуемой территории располагаются соответственно хвостохранилище и карьер Лебединского ГОКа, также оказывающие влияние на изменение режима подземных вод всех водоносных горизонтов, учитывая их взаимосвязь.

Коробковское месторождение железных руд на юго-востоке граничит с Лебединским железорудным месторождением, на юго-западе – с Салтыковским железорудным месторождением. Анализ многолетних замеров водоприлива на горизонте +35 м показывает, что водоприток из выработок этого горизонта за многолетний период наблюдений значительно снизился с 231 м³/час в 1965 г. до 200 м³/час в 1971 г. и до 110-120 м³/час в настоящее время. Причиной снижения водопритоков явилось образование обширной депрессионной воронки в архей-протерозойском водоносном комплексе, которая в 70-е годы соединилась с депрессионной воронкой от работы дренажной системы Лебединского карьера.

Осушение железорудных месторождений осуществляется с помощью дренажных сооружений или открытым водоотливом из карьеров через земснаряды. На Лебединском и Стойленском месторождениях понижение уровня подземных вод привело к формированию депрессионных воронок со значительным радиусом влияния.

Снижение уровня подземных вод привело к образованию депрессионной воронки эллипсовидной формы, вытянутой в субширотном направлении, с размерами по длинной оси до 40 км. Несмотря на большое количество разведанных эксплуатационных запасов подземных вод, по отдельным городам отмечается их значительный дефицит.

Положение депрессионных воронок на территории Лебединского и Стойленского месторождений в 2020 году и прогнозная карта уровня подземных вод на 2030 год приведены на рисунках 1 и 2. К 2030 году возможно слияние депрессионных воронок Лебединского и Стойленского месторождений [2].

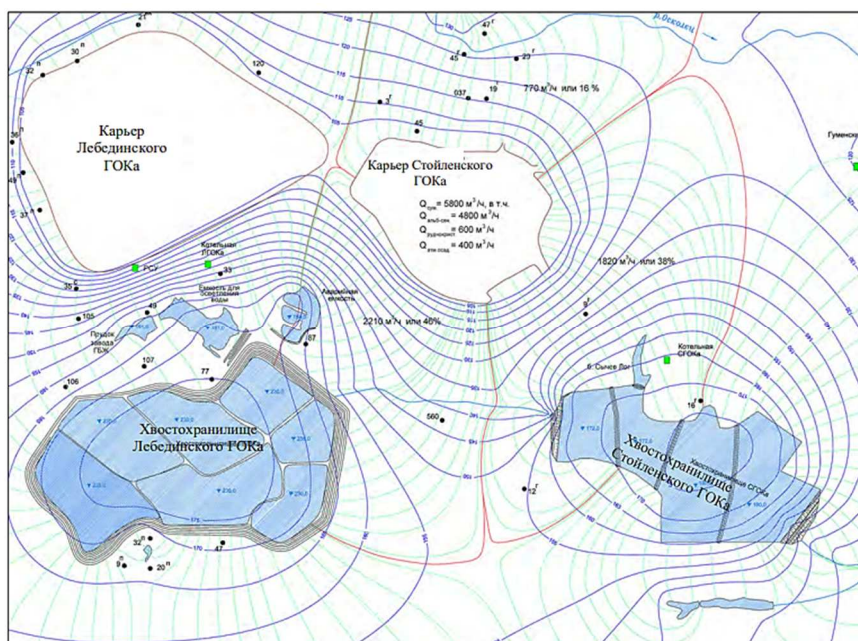


Рис. 1. Положение депрессионной воронки в Старооскольском рудном узле на 2020 год (ОАО «ВИОГЕМ»)

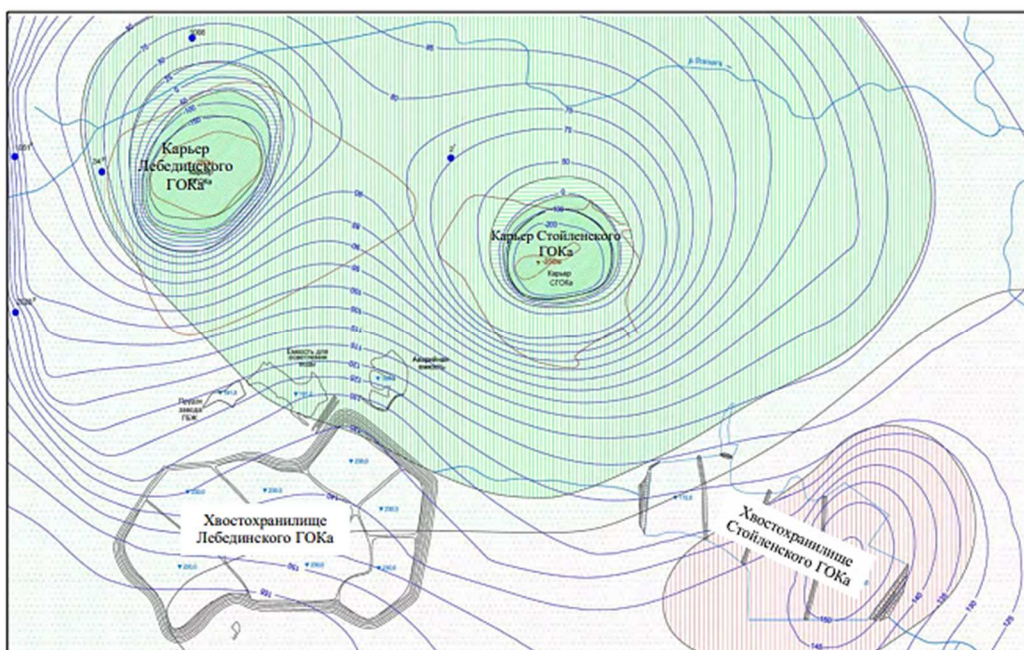


Рис. 2. Прогнозная карта уровней подземных вод на 2030 г.:
слияние депрессионных воронок

Лебединского и Стойленского ГОКов (ОАО «ВНОВЕР»)

В связи с осушением обводненных обрабатываемых месторождений железных руд, проведением опытных работ на строящихся рудниках, эксплуатацией крупными водозаборами основных продуктивных водоносных горизонтов, функционированием гидротехнических сооружений (гидроотвалов, прудов-накопителей) в зоне влияния Старооскольско-Губкинского промышленного комплекса на территории Белгородской области по ряду водоносных горизонтов режим подземных вод значительно нарушен [3].

Гидрохимическое состояние подземных вод на территории Белгородской области характеризуется практически повсеместным природным несоответствием качества подземных вод основных эксплуатируемых водоносных горизонтов по содержанию железа и общей жесткости.

В условиях нарушения гидродинамического режима подземных вод происходит постепенное замещение природных вод техногенными стоками и ухудшение их качества с образованием обширных депрессионных воронок вокруг карьера, куполов растекания техногенных вод под хвостохранилищами.

При прослеживании химического состава подземных вод наблюдается колебание значений основных химических компонентов в пределах предельно-допустимых концентраций. В связи с использованием подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения требуется их охрана от техногенного загрязнения, основными источниками которого являются хвостохранилища Лебединского и Стойленского ГОКов.

Заключение

Подземные воды Старооскольско-Губкинского промышленного района подверглись значительному воздействию в результате строительства и эксплуатации горнодобывающих предприятий, однако качество их

удовлетворительное и соответствует нормативным требованиям для вод хозяйственно-питьевого назначения. Для предотвращения дальнейшего истощения и загрязнения подземных вод необходимы мероприятия по оценке и прогнозу защищенности подземных вод, а та же конкретные действия по снижению техногенного воздействия.

Список литературы

1. Бочаров В.Л. Эколого-гидрогеологические условия территории КМА / В.Л. Бочаров, А.Н. Круговых // *Высокие технологии в экологии. Труды IX науч.-практ. конф.* – Воронеж: Изд-во РЦ «Менеджер», 2006. – С. 71-76.
2. Ведение геоэкологического мониторинга подземных вод в зоне влияния объектов ОАО «СГОК». Отчет ООО НТЦ «НОВОТЭК». – Белгород, 2009.
3. Металлоинвест. Отчет об устойчивом развитии 2025. / Режим доступа: <https://www.metalloinvest.com/development/csr-reports/>

ПРИМЕНЕНИЕ АППАРАТОВ С КОАЛЕСЦИРУЮЩИМИ НАСАДКАМИ В СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМЕ ОЧИСТКИ СТОКОВ НПЗ

Аспирант к. МТК М.Н. Петров,
Научный руководитель А.Н. Веригин
Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет),
г. Санкт-Петербург

Аннотация. Рассмотрена общая типовая схема водоочистных сооружений НПЗ, в которой могут быть использованы аппараты с коалесцирующей насадкой. Рассмотрен принцип действия и приведены некоторые конструкции коалесцеров. Показан положительный эффект и перспективы применения аппаратов с коалесцирующей насадкой в системе промышленной канализации НПЗ.

Ключевые слова: коалесцирующая насадка, НПЗ, нефтеловушки, очистка.

Для очистных сооружений нефтеперерабатывающего завода производительностью 500 м³/час (12 000 м³/сутки) требуется создание масштабного, автоматизированного и модульного комплекса. Для обеспечения непрерывности процесса (24/7/365) все ключевые узлы очистных сооружений разделяются на параллельные технологические линии. Можно выделить четыре основных технологических блока системы очистки: блок механической очистки и усреднения, блок физико-химической очистки, блок биологической очистки и шламовое хозяйство.

Типовой блок предварительной механической очистки и усреднения состоит из двух механических решеток барабанного или ступенчатого типа с прозором 2-3 мм для улавливания крупного мусора; песколовок тангенциального или аэрируемые типа; нефтеловушек (API-сепараторов), где за счёт разницы плотности свободная нефть всплывает на поверхность и собирается скребками,

а тяжёлый шлам оседает на дно, и резервуаров-усреднителей, нивелирующих залповые сбросы на НПЗ. Среднее время пребывания стоков в песколовках около 2 минут, среднее время пребывания в усреднителях 6-8 часов. Усреднители представляют собой железобетонные резервуары объёмом 2-2,5 тысячи м³, оборудованные погружными мешалками или системами крупнопузырьковой аэрации для предотвращения осаждения шлама и закисания стоков.

Блок физико-химической очистки (блок разрушения эмульсий) состоит из блока приготовления и дозирования реагентов, смесителей и установки напорной флотации. Блок приготовления и дозирования – это автоматизированная станция для растворения коагулянта (например, оксихлорида алюминия) и флокулянта (полиакриламида). Под действием введённых реагентов укрупняются мелкодисперсные капли нефти и взвешенные вещества собираются в хлопья. В качестве смесителей, чаще всего применяются статические, они предназначены для быстрого распределения реагентов в потоке.

Блок биологической очистки представляет собой систему отстойников большой площади, в которую входят аэротенки, воздухоудельные станции и мембранные резервуары. Аэротенки (зоны денитрификации и нитрификации) имеют общий объём порядка 6-8 тысяч м³ и часто оборудуются мелкопузырчатыми дисковыми аэраторами. Воздухоудельные станции – это 3-4 высокоэффективных турбовоздуходувки (2-3 в работе, 1 в резерве) для подачи воздуха в аэротенки и на промывку мембран. Мембранные резервуары – это фильтры с ультрафильтрационными с размером пор 0,04-0,1 мкм. Они обеспечивают полное отделение активного ила и задерживают крупные органические молекулы.

Шламовое хозяйство (узел обработки осадков) предназначен для удаления сырого осадка, флотошлама и избыточного активного ила. Шламовое хозяйство состоит из резервуаров-накопителей (обычно с перемешивающими устройствами) и обезвоживателей. Обезвоживание происходит в мультидисковых шнековых обезвоживателях или декантерных центрифугах. На выходе получается так называемый «кек» (нерастворимый остаток) влажностью 75-80 %, пригодный для транспортировки на установки термической десорбции или сжигания.

Аппараты с коалесцирующей насадкой играют ключевую роль на этапах механической и физико-химической очистки стоков НПЗ. Их главная задача – интенсифицировать отделение свободных и частично эмульгированных нефтепродуктов от воды, заменяя собой громоздкие классические отстойники [1, 2].

Принцип работы насадки основан на гидрофобных свойствах материала (обычно олеофильный пластик, полипропилен, ПВХ или нержавеющая сталь). Микрокапли нефти «прилипают» к поверхности насадки, сталкиваются друг с другом, укрупняются (коалесцируют) в большие капли и быстро всплывают на поверхность [1, 3, 4].

Аппараты с коалесцирующей насадкой могут быть использованы в

качестве тонкослойных коалесцентных сепараторов, вместо или после нефтеловушек, в качестве локальных очистных сооружений технологических установок, в качестве коалесцентных фильтров перед биоочисткой и в системе ливневой канализации.

Тонкослойные коалесцентные сепараторы (вместо или после API-отстойников) используются на этапе первичной механической очистки, сразу после песколовков. Коалесцирующая насадка тонкослойного сепаратора позволяет эффективно укрупнять и собирать капли размером до 20-50 мкм, уменьшая требуемую площадь сооружений в 3-4 раза, сравните: типовые нефтеловушки улавливает капли нефти размером 150-200 мкм.

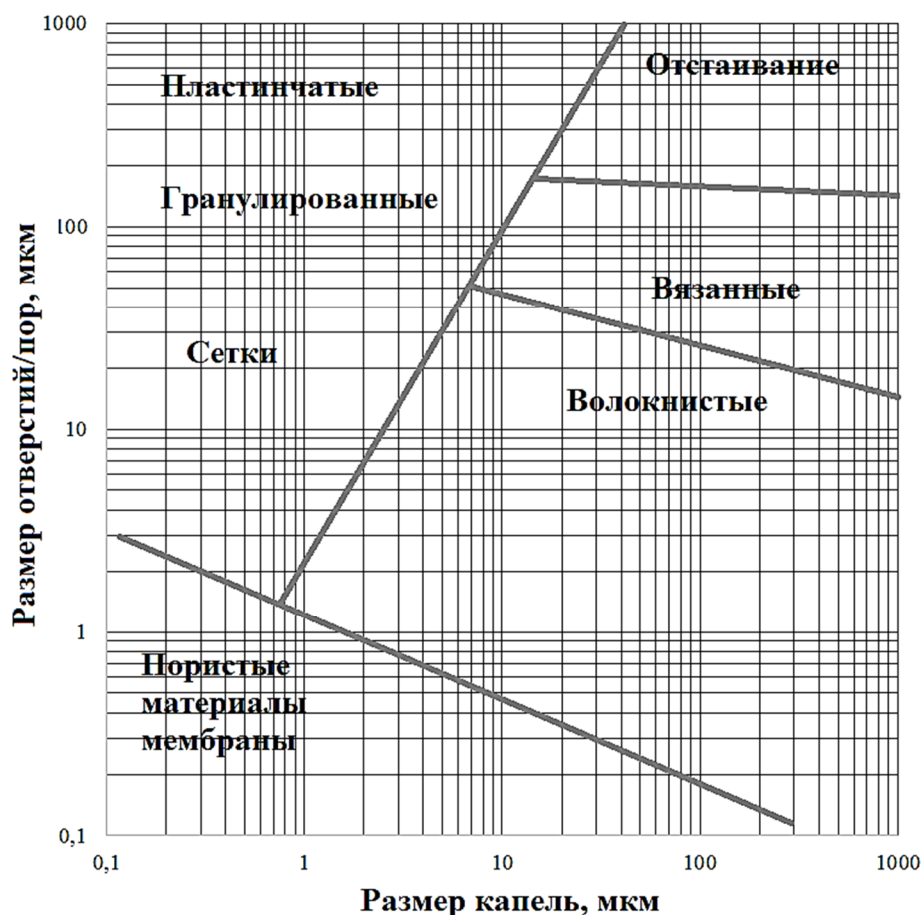
На локальные очистные сооружения (ЛОС) технологических установок используются аппараты с коалесцирующей насадкой, представляющие собой компактные напорные или безнапорные нефтеотделители с насыпной (гранулированной) или блочной полимерной насадкой. Располагаются они на выходе из конкретных цехов перед сбросом в общезаводской коллектор, например, на выходе с ЭЛОУ.

Коалесцентные фильтры – это аппараты с волокнистой, сетчатой или пористой коалесцирующей насадкой, применяемые для доочистки до этапа биологической очистки. Располагаются они после флотаторов непосредственно перед подачей воды в аэротенки или мембранные биореакторы. Активный ил в биологических реакторах гибнет или теряет эффективность, если концентрация нефтепродуктов в воде превышает 10-15 мг/л. Коалесцентные фильтры тонкой очистки улавливают микрокапли размером менее 10-20 мкм, гарантированно снижая остаточное содержание нефти до безопасных для бактерий значений (менее 5 мг/л) [6, 7, 8.].

В ливневой канализации аппараты с коалесцирующей насадкой применяются для очистки ливневых и талых нефтесодержащих стоков. Они устанавливаются на самостоятельной линии очистки дождевых вод с территории НПЗ, резервуарных парков и сливо-наливных эстакад [5]. Такие аппараты представляют собой горизонтальные модульные сепараторы, в которых коалесцентный блок объединён в одном корпусе с отсеком отстаивания и сорбционным фильтром [9, 10]. Дождевые стоки идут неравномерно. Коалесцирующая насадка позволяет оборудованию мгновенно включаться в работу без дозирования химии (коагулянтов), эффективно улавливая смытые с почвы нефтепродукты при залповых притоках [2].

Применение тех или иных типов коалесцирующих насадок в зависимости от размера коллоидов представлено на рисунке.

Существует два основных фактора влияющих на работу коалесцирующей насадки: загрязнения и температура. Коалесцирующие насадки критичны к содержанию взвешенных веществ (песок, глина, окалина). Если сток плохо очищен от механики, межполочное пространство насадки быстро забивается шламом («цементируется»), и аппарат теряет эффективность. Поэтому перед любым коалесцентором обязательно проектируется эффективный узел задержания песка [3, 8, 9, 11].



Применение различных типов коалесцирующих насадок

Эффективная коалесценция происходит, если рабочая температура выше температуры плавления коллоидов, для нефтепродуктов содержащих парафины, смолы битумы она должна быть более 60°C [12], что требует создание системы обогрева и постоянных энергетических затрат.

Список литературы

1. Очистка стоков нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий: [Электронный ресурс] URL: <https://kpее.ru/ochistka-stokov-neftepererabatyvayushchih-i-neftehimicheskikh-predpriyatij/>
2. Oil/water separator for pierside APPLICATIONS: [Электронный ресурс] URL: https://p2infohouse.org/ref/20/19926/P2_Opportunity_Handbook/9-II-6.html
3. The high-efficiency coalescing packing: [Электронный ресурс] URL: <https://en.sinokle.com/product/61.html>
- 4 Coalescer Filter very vital for oil removal, for separation of immiscible liquids: [Электронный ресурс] URL: <https://watermanaustralia.com/coalescer-filter-very-vital-for-oil-removal-for-separation-of-immiscible-liquids>
5. Москвичева Е.В. Очистка нефтесодержащих сточных вод с использованием смешанного реагента: монография / Е.В. Москвичева, И.В. Стрелетов, Э.П. Доскина, А.В. Москвичева // Волгоградский государственный технический университет. – Волгоград, 2018. – 110с.

6. ИТС 8 – 2015. Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. – Бюро НДТ, Москва, 2015

7. Hao Lu, Yi-qian Liu, Jing-bo Cai, Xiao Xu, Lin-sheng Xie, Qiang Yang, Yue-xi Li, Kai Zhu Treatment of offshore oily produced water: Research and application of a novel fibrous coalescence technique. Journal of Petroleum Science and Engineering, July 2019: [Электронный ресурс] URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920410519302645>

8. Wastewater_treatment: [Электронный ресурс] URL: https://www.vodaland.com.ua/ru/catalog/wastewater_treatment/sorption_block/gorizontalni/

9. Argel T. Очистка сточных вод от нефтепродуктов: [Электронный ресурс] URL: <https://kaluga.vo-da.ru/argel/t>

10. Сепараторы нефтепродуктов SOR.И: [Электронный ресурс] URL: https://www.irimex.ru/services/catalog/sistemy_vodopodgotovki/filtry_polimery/sor_ii/

11. Waste Water Treatment [Электронный ресурс] URL: <https://amacs.com/industries-served/waste-water-treatment/>

12. Рамасен М.А. Исследование нефтепродуктов улавливаемых на коалесцирующей насадке. Рекомендации для проектирования / М.А. Рамасен, М.Н. Петров, М.А. Родина, А.С. Родин // Известия СПбГТИ(ТУ). – 2026. – № 77. – С.65-69. DOI 10.36807/1998-9849-2026-77-103-65-69

РЕШЕНИЕ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ И УСВОЕНИЕ ДАННЫХ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ИСТОЧНИКОВ ВЫБРОСОВ

Аспирант гр. аОТиОС/2.10.2-25 Ю.Д. Исаева,
Научный руководитель А.А. Маслова
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. В статье рассматриваются современные подходы к решению обратных задач и усвоению данных для идентификации источников выбросов загрязняющих веществ. Показано, что традиционное прямое моделирование, основанное на априорных данных об эмиссиях, не всегда обеспечивает требуемую точность прогнозов из-за неопределённости параметров источников. Анализируются методы вариационного усвоения данных, байесовского подхода, ансамблевые методы и использование операторов чувствительности.

Прямые задачи моделирования распространения загрязняющих веществ в атмосфере предполагают, что параметры источников выбросов известны. Однако на практике данные о выбросах, составляемые на основе статистической отчётности предприятий, содержат существенные неопределённости. Исследования показывают, что априорные антропогенные оценки могут существенно расходиться с фактическими выбросами в зависимости от региона

и периода. В условиях аварийных ситуаций или изменений технологических режимов оперативная информация об источниках часто отсутствует вовсе.

Эти ограничения обуславливают необходимость разработки методов обратного моделирования – подходов, которые по данным наблюдений позволяют восстанавливать неизвестные параметры источников: их местоположение, мощность, режим выброса. В отличие от прямой задачи, обратная задача является некорректно поставленной: малые погрешности в данных наблюдений могут приводить к большим ошибкам в оценке источников. Поэтому особое значение приобретает процедура верификации обратных алгоритмов, которая в данном контексте означает оценку сходимости решения, устойчивости к шумам и сравнение восстановленных параметров с независимыми данными.

В основе современных методов идентификации источников лежит подход «сверху вниз». Его суть заключается в том, что вместо прямого расчёта концентраций по известным выбросам решается обратная задача: по измеренным концентрациям восстанавливаются параметры источников. Этот подход получил широкое распространение в последние два десятилетия благодаря развитию спутниковых технологий и совершенствованию численных методов. Ключевое преимущество подхода «сверху вниз» заключается в его независимости от субъективных факторов. Спутниковые и наземные измерения фиксируют фактическое состояние атмосферы, что позволяет выявлять неучтённые или заниженные источники выбросов [1].

Основные методы решения обратных задач:

1. Вариационный метод

Вариационный подход является одним из наиболее развитых методов усвоения данных. Его математическая основа – минимизация функционала невязки между модельным полем концентраций и данными наблюдений. Ключевое преимущество вариационного метода – возможность учёта полной динамики процесса и совместной оптимизации большого числа параметров. Однако вычислительная сложность метода требует значительных ресурсов, особенно при работе с высоким пространственным разрешением [2].

2. Байесовский подход

Байесовский метод занимает особое место в решении обратных задач. Он позволяет не только найти оптимальную оценку параметров источников, но и количественно оценить их неопределённость. В рамках байесовского подхода априорная информация о выбросах комбинируется с данными наблюдений, причём вклад каждого источника информации определяется их точностью. Байесовский подход хорошо зарекомендовал себя при работе с пространственно-распределёнными источниками на масштабах города и региона [3].

3. Ансамблевые методы

Ансамблевый фильтр Калмана представляет собой альтернативу вариационному подходу. Вместо вычисления точного градиента функционала он использует статистическую информацию из ансамбля траекторий модели. Это

позволяет оценивать не только оптимальные значения эмиссий, но и их неопределённость.

Успех обратного моделирования в значительной степени определяется качеством и доступностью данных наблюдений [4]. В настоящее время используются три основные категории данных:

1. Спутниковые данные

Развитие спутниковых технологий произвело революцию в области обратного моделирования. Спутниковые приборы позволяют получать глобальные и региональные данные о содержании загрязняющих веществ и парниковых газов в атмосфере. Основные решаемые задачи включают инверсию выбросов диоксида азота, аммиака, формальдегида, диоксида серы, а также парниковых газов.

2. Наземные наблюдения

Данные наземных станций мониторинга обеспечивают высокую точность и временное разрешение, однако их пространственный охват ограничен. Комбинирование наземных и спутниковых данных является одним из ключевых направлений развития методов обратного моделирования.

3. Данные аэрозольного и аэростатического зондирования

Дополнительные источники информации включают данные аэрозольного зондирования атмосферы, что особенно актуально для идентификации высотных источников выбросов.

Методы решения обратных задач и усвоения данных представляют собой эффективный инструмент для идентификации источников выбросов, позволяющий существенно повысить точность экологического мониторинга и верификации природоохранных мероприятий. Однако их применение требует тщательной верификации, включающей анализ устойчивости, сходимости и сопоставление с независимыми данными. Развитие вычислительных мощностей, совершенствование алгоритмов и интеграция методов искусственного интеллекта открывают новые перспективы для оперативной идентификации источников в реальном времени, что особенно актуально для задач предупреждения и ликвидации последствий аварийных выбросов.

Список литературы

1. Гиззатова Э.Р. Расчет функции невязки в базисном пространстве для поиска областей неопределенностей констант скоростей полимеризационного процесса / Э.Р. Гиззатова, А.Р. Шагиахметов, Г.К. Хисаметдинова, С.Л. Подвальный // Вестник ВГТУ – 2022. – №4. – С. 37-43.

2. Perry S.G. Characterization of pollutant dispersion near elongated buildings based on wind tunnel simulations / S.G. Perry, D.K. Heist, L.H. Brouwer, E.M. Monbureau, L.A. Brixey // Atmospheric Environment. – 2016. – Vol. 142. – P. 286- 295.

3. Bai S.X. High-resolution satellite estimates of coal mine methane emissions from local to regional scales in Shanxi, China / S.X. Bai, Y.G. Zhang, F. Li [et al.] // Science of the Total Environment. – 2024. – Vol. 950. – P. 175446. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.175446.

4. Aghdasi S. *Exploring uncertainty reduction in high-resolution methane emissions in Gippsland through in-situ data: A Bayesian inverse modeling and variational assimilation method* / S. Aghdasi, P.J. Rayner, N.M. Deutscher, J.D. Silver // *Atmospheric Research*. – 2025. – Vol. 315. – P. 107911. DOI: 10.1016/j.atmosres.2025.107911.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ: РАБОТА С ПОЛЯМИ КОНЦЕНТРАЦИЙ В ЗАДАЧАХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Аспирант гр. аОТиОС/2.10.2-25 Ю.Д. Исаева,
Научный руководитель А.А. Маслова
Тульский государственный университет,
г. Тула

***Аннотация.** Традиционные методы верификации, основанные на сравнении модельных и натурных данных в отдельных точках, не позволяют в полной мере оценить качество модели при построении пространственных полей концентраций. Анализируются методы сопряжения расчётных и инструментальных данных.*

Современное математическое моделирование распространения загрязняющих веществ в атмосфере позволяет строить пространственные поля концентраций, необходимые для оценки экспозиции населения, зонирования территорий и управления качеством воздуха. Однако ключевой вопрос, возникающий при использовании таких моделей – насколько полученное пространственное распределение соответствует реальной картине загрязнения.

Традиционная верификация, основанная на сравнении прогнозных концентраций с данными наблюдений в отдельных точках (постах мониторинга), имеет серьёзные ограничения. Точечные измерения не дают полной пространственной картины, особенно в условиях сложной городской застройки и переменчивых метеорологических условий. Более того, количество стационарных постов мониторинга даже в крупных городах ограничено их высокой стоимостью, что не позволяет создать густую наблюдательную сеть.

Эти ограничения обуславливают необходимость разработки методов пространственной верификации – подходов, позволяющих оценивать качество модели не только в точках наблюдений, но и на всей расчётной области. Пространственная верификация включает сравнение полей концентраций, анализ пространственных паттернов загрязнения и оценку репрезентативности наблюдательной сети.

Для построения пространственных полей концентраций используются два основных подхода: расчётное моделирование и интерполяция данных наблюдений. Каждый из подходов имеет свои преимущества и ограничения.

1. Расчётное моделирование

Модели рассеивания загрязняющих веществ (от простых Гауссовых до сложных CFD-моделей) позволяют построить полноценное пространственное

поле концентраций на основе данных об источниках выбросов и метеорологических параметрах. Преимущества расчётного подхода включают возможность определения концентрации в любой точке территории, оценки изменения концентраций в зависимости от метеоусловий и режимов работы источников, а также возможность идентификации конкретных источников загрязнения. Однако расчётные методы зависят от качества входных параметров: достоверности выбросов, выбранной математической модели и достаточности информации для её реализации.

2. Интерполяция данных наблюдений

Альтернативный подход – построение полей концентраций на основе интерполяции данных стационарных постов мониторинга. В практике Росгидромета наиболее широко используется метод обратных расстояний (IDW). Сравнительные исследования показывают, что IDW лучше всего подходит для вторичных загрязнителей. Однако интерполяционные методы плохо улавливают пространственную изменчивость концентраций, особенно при недостаточно плотной сети наблюдений.

В последние годы активно развиваются методы с использованием искусственного интеллекта для построения и верификации пространственных полей концентраций. Применение методов машинного обучения позволяет выявлять сложные нелинейные зависимости между метеорологическими параметрами и распределением загрязнений, что открывает новые возможности для пространственной верификации.

Для оценки качества моделей в пространственном контексте необходимы специальные метрики, выходящие за рамки традиционных точечных показателей.

1. Пространственный коэффициент корреляции оценивает, насколько хорошо модель воспроизводит пространственный паттерн загрязнения, даже если абсолютные значения концентраций различаются. В отличие от традиционного коэффициента корреляции, который сравнивает пары значений «модель - наблюдение» в одних и тех же точках, пространственный коэффициент корреляции учитывает взаимное расположение точек в пространстве и оценивает сходство пространственных структур, а не абсолютных величин. Это особенно важно в случаях, когда модель систематически завышает или занижает концентрации, но правильно улавливает области повышенного и пониженного загрязнения.

2. Анализ пространственных зон загрязнения

Альтернативный подход – сравнение не абсолютных значений концентраций, а интегральных характеристик зон загрязнения. В отличие от точечных метрик и даже пространственного коэффициента корреляции, этот подход ориентирован на практические задачи экологического контроля и управления качеством воздуха. Вместо того чтобы оценивать, насколько точно модель воспроизводит концентрацию в каждой точке, анализ зон загрязнения отвечает на вопрос: правильно ли модель определяет территории, где

концентрации превышают установленные нормативы (ПДК, фоновые уровни и т.д.)?

Пространственные метрики качества моделей дополняют традиционные точечные показатели, позволяя оценить не только точность модели в отдельных точках наблюдения, но и её способность правильно воспроизводить пространственную структуру загрязнения. Комплексное использование точечных и пространственных метрик даёт наиболее полное представление о пригодности модели для решения конкретных задач экологического мониторинга и управления качеством воздуха.

Пространственная верификация математических моделей рассеивания загрязняющих веществ представляет собой актуальное и активно развивающееся направление. Традиционные точечные методы сравнения прогнозных и натурных данных не позволяют в полной мере оценить качество модели при построении полей концентраций. Гибридные методы, комбинирующие расчётное моделирование с данными наблюдений, обеспечивают повышение точности прогнозирования.

Развитие вычислительных мощностей, совершенствование алгоритмов и создание высококачественных общедоступных наборов данных для валидации открывают новые перспективы для повышения достоверности пространственных прогнозов в задачах экологического мониторинга и управления качеством воздуха.

Список литературы

1. Ткачева Ю.В. Усовершенствованная технология прогноза метеорологических параметров и условий, влияющих на загрязнение воздуха / Ю.В. Ткачева, И.Н. Кузнецова, М.И. Нахаев // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. – 2022. – № 3. – С. 161–177. DOI: 10.37162/2618-9631-2022-3-161-177.
2. Май И.В. Методические подходы к повышению точности оценки экспозиции населения на основе сопряжения расчетных и натурных данных о качестве атмосферного воздуха / И.В. Май, С.В. Клейн, В.М. Чигвинцев, С.Ю. Балашов // Анализ риска здоровью. – 2013. – № 3. – С. 4-12.
3. Соляник Н.А. Математическое моделирование процесса загрязнения атмосферного воздуха в зоне влияния промышленных предприятий / Н.А. Соляник, А.А. Кушников // Вестник СГТУ. – 2009. – №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskoe-modelirovanie-protsessa-zagryazneniya-atmosfernogo-vozduha-v-zone-vliyaniya-promyshlennyh-predpriyatiy>
4. Быков Ф.Л. Статистическая коррекция прогнозов погоды по модели COSMO с помощью нейронных сетей / Ф.Л. Быков // Метеорология и гидрология. – 2020. – № 3. – С. 5-20.

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ НА ОСНОВЕ РАЗНОРОДНЫХ ДАННЫХ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПОЛИГОНАМ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Аспирант гр. аОТиОС/2.10.2-25 Ю.Д. Исаева,
Научный руководитель А.А. Маслова
Тульский государственный университет,
г. Тула

***Аннотация.** Традиционные методики, разработанные для промышленных зон или линейных объектов, редуцируют источник загрязнения до простой геометрической фигуры (точка, круг, призма). Они оперируют усредненными концентрациями, линейными зависимостями и статическими параметрами. Полигон ТКО как сложная система этим требованиям не соответствует. В статье рассмотрены ключевые противоречия и то, какие подходы нужны вместо этого.*

Полигон твердых коммунальных отходов (ТКО) представляет собой сложную геотехническую систему, динамика которой не укладывается в рамки традиционных методик оценки экологических рисков. Классические подходы, разработанные для промышленных зон или линейных объектов, редуцируют источник загрязнения до простой геометрической фигуры (точка, круг) и оперируют усредненными концентрациями, статическими параметрами и линейными зависимостями переноса вещества. Однако такой подход игнорирует ключевые особенности полигонов ТКО: пространственную гетерогенность тела свалки, долгосрочную эволюцию отходов и кинетику биохимических процессов, а также нелинейный характер взаимодействия загрязнителей.

Основной проблемой является методологический разрыв между нормативной базой (например, СанПиН 1.2.3685-21), устанавливающей предельно допустимые концентрации как средние по участку, и реальной картиной распределения загрязняющих веществ. Традиционные методы не позволяют выявить «горячие точки» – очаги метанообразования или локальные линзы высокотоксичного фильтрата, не учитывают деградацию гидроизоляционных экранов со временем и игнорируют синергетические эффекты совместного действия различных поллютантов. Кроме того, они предлагают фиксированный сценарий воздействия через единую санитарно-защитную зону, не учитывая разную уязвимость целей (рекреационная зона, сельхозугодья).

В связи с этим возникает необходимость перехода от детерминированных моделей к системному подходу, способному интегрировать разнородные данные (числовые ряды, пространственные карты, экспертные оценки) и учитывать стохастическую природу отказов. Данная статья посвящена анализу ключевых противоречий традиционного подхода и рассмотрению современных методов, таких как вероятностное моделирование, байесовский вывод, геостатистика и многокритериальный анализ, которые необходимы для адекватной оценки экологических рисков применительно к объектам захоронения ТКО [1].

1. Локализация и гомогенность vs. Пространственная гетерогенность.

Традиционный подход (US EPA – методы RSL, RBCA):

- источник загрязнения считается точечным или однородным (например, «площадь загрязнения $X \text{ м}^2$ с концентрацией Y »);
- зона влияния рассчитывается по простым моделям рассеивания (гауссов шлейф в воздухе, одномерная адвекция в воде);
- пример ограничения: СанПиН 1.2.3685-21 устанавливает ПДК для почвы как среднюю по участку, игнорируя «горячие точки» (очаги метанообразования, локальные линзы фильтрата).

Для оценки риска рекультивированных полигонов необходима проводить пространственно-распределенную оценку. В теле полигона одновременно могут быть:

- аэробные зоны (активное разложение, горение) с выбросами CO и диоксидов;
- анаэробные зоны (метаногенез) с риском взрыва;
- зоны с низкой проницаемостью (глинистые замки), где фильтрат застаивается, накапливая токсичные концентрации;

Применяемый инструмент – ГИС + геостатистика (кригинг) для построения карт распределения метана, токсичности фильтрата, плотности отходов.

2. Статичность параметров vs. Динамика системы.

Традиционный подход (СанПиН, ПДК, ОБУВ):

- нормативы основаны на концентрации в статической точке отбора проб («пробу взяли, сравнили с ПДК, риск есть/нет»);
- не учитывается скорость деградации барьеров, эволюция отходов;
- пример ограничения: Гидроизоляционный экран (глина + геомембрана) может работать 20 лет, а полигон «активен» 50-100 лет. После разрушения мембраны концентрация фильтрата в грунтовых водах может вырасти в 10 раз, но статическая проба «сегодня» этого не покажет.

Необходимо прогнозное моделирование временных рядов, с учетом кинетики биохимических реакций (скорость распада органики, поколения биогаза – модель LandGEM, IPCC); моделирования усадки грунта (консолидация отходов) и связанного с этим риска разрыва барьеров (FEM-модели). Применяемый инструмент – MODFLOW для миграции фильтрата во времени + модуль RT3D для реактивного транспорта (появление новых токсикантов в результате химреакций) [2].

3. Линейность причинно-следственных связей vs. Синергия и обратные связи.

Традиционный подход (US EPA – прямое доза-эффект):

- оценивается вклад каждого загрязнителя отдельно (Cu, Zn, диоксины);
- эффект считается аддитивным (сумма долей ПДК);
- пример ограничения: игнорируется комбинированное действие: тяжелые металлы + микропластик могут усилить токсичность для почвенной микрофауны (эффект синергии) в 2-3 раза.

Необходимо проводить анализ сценариев с перекрестными эффектами, а именно с учетом абиотических факторов (температура, влажность) на скорость разрушения барьеров; модели «полигон – экосистема» (например, корневая система растений (при озеленении) может повредить защитный слой → это увеличит миграцию фильтрата → это убьет часть растений → это ускорит эрозию почвы → это усилит выброс пыли с гумминовыми кислотами).

Применяемый инструмент – байесовские сети доверия (Bayesian Belief Networks) для оценки вероятности цепочек событий.

4. Фиксированный сценарий воздействия vs. Множественность уязвимых целей.

Традиционный подход (СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 – СЗЗ):

- устанавливается единая санитарно-защитная зона (СЗЗ) вокруг полигона;

- считается, что риски убывают равномерно от центра к периферии;

- пример ограничения: при создании парка или жилой зоны на рекультивированной территории уязвимость рекреантов (контакт с почвой, ингаляция пыли) будет принципиально иной, чем у рабочих на промплощадке. Разная сценарийная экспозиция.

Оценка риска должна привязываться к конкретному виду использования (как в матрице выше):

- для детской площадки – риск контакта кожа-почва (Pb, Cd) с частотой 100 дней в году;

- для пассивного парка – риск ингаляции метана (взрыв/удушие) при пониженных участках;

- для сельхозугодий – модель биотранслокации (почва → растение → организм).

Инструмент – технология MCDA (многокритериальный анализ) для взвешивания рисков по разным сценариям.

5. Детерминированность vs. Стохастическая природа отказов.

Традиционный подход (сумма квадратов рисков):

- риск рассчитывается как детерминированное число (например, $HQ = 1,2$ – риск неприемлем);

- не учитывается вероятность отказа элементов системы (с какой вероятностью геомембрана порвется через 15 лет?).

Необходимо:

- параметры задаются не как константы, а как распределения (логарифмически-нормальное для концентраций, бета-распределение для прочности барьеров);

- проводится симуляция Монте-Карло (10 000 – 100 000 проходов);

- результат – не «риск 0,001», а «вероятность того, что риск превысит приемлемый уровень, составляет 8 %».

- пример: для оценки надежности барьера используется метод FORM (First Order Reliability Method) – расчет вероятности того, что градиент напора в фильтрате превысит прочность глиняного замка.

Методологический разрыв отражен в таблице.

Обобщающая таблица применения традиционных методов и системного подхода

Аспект	Традиционные методики (US EPA, СанПиН)	Необходимый системный подход
Источник	Точечный, однородный	Распределенный, гетерогенный (массив отходов)
Время	Мгновенный срез	Долгосрочная динамика (до 100 лет)
Модель переноса	Линейная (адвекция-диффузия 1D)	Пространственная 3D + реактивный транспорт
Эффекты	Аддитивные	Синергия, синергетические пороги
Цель оценки	ПДК/норматив	Вероятность сценария, индекс ущерба
Неопределенность	Игнорируется (среднее значение)	Учитывается (распределения, Монте-Карло)

Основная сложность оценки риска полигона как сложной системы – это работа с данными, которые:

- имеют разную природу (числа: концентрации, метеопараметры; пространство: карты, снимки; текст: отчеты, экспертные мнения);
- разную точность (высокоточные лабораторные замеры vs. ретроспективные оценки состава отходов 20-летней давности);
- неполноту (недостаток скважин мониторинга, пропуски в рядах);
- нестационарность (параметры меняются со временем).

Ниже приведены методы, которые позволяют интегрировать такие разнородные данные в единую оценку риска.

1. Вероятностные и статистические методы (количественная оценка неопределенности). Применяются, когда есть хотя бы минимальные числовые ряды наблюдений (концентрации, расходы, осадки).

1.1. Метод Монте-Карло (MCS). Суть метода заключается в следующем: каждый входной параметр (концентрация ТМ, проницаемость грунта, коэффициент фильтрации) задается не как константа, а как распределение вероятностей (нормальное, логнормальное, бета). Затем проводится 10 000 – 1 000 000 симуляций, на выходе – распределение итогового риска.

Как работает с разнородными данными:

- точные замеры → узкое распределение (малая дисперсия);
- экспертные оценки → широкое распределение (треугольное или равномерное);
- пространственные данные → вариограмма (геостатистика) задает пространственную корреляцию.

Данный метод позволяет рассчитать не просто «риск = 2×10^{-5} », а вероятность того, что риск превысит допустимый порог (например,

$P(R > 1 \times 10^{-4}) = 15\%$). Но данный метод требует значительных вычислительных мощностей и корректного задания законов распределения.

1.2. Байесовский статистический вывод (Bayesian Inference). Позволяет комбинировать априорные знания (исторические данные, экспертные «грубые» оценки) с текущими наблюдениями (новые замеры, снимки). На выходе – уточненное апостериорное распределение риска.

Применение к полигону:

- априорная информация: старый отчет «20 лет назад 30 % отходов соответствовали III классу опасности»;
- новые данные: свежие пробы с 3 скважин показали превышение по кадмию;
- результат: апостериорная вероятность того, что тело полигона содержит кадмий выше ПДК в северной части, = 72 %.

Инструмент: PyMC, Stan (на Python).

1.3. Геоestatистика (Кригинг). Метод интерполяции, который учитывает не только расстояние между точками замеров, но и пространственную структуру данных (вариограмму). Позволяет восстановить поле концентраций по ограниченному числу скважин.

Как работает с разнородными данными:

- можно ввести *внешние переменные* (ценообразование рельефа, наличие глины) в модель (Co-Kriging);
- позволяет оценить *неопределенность оценки* в каждой точке (стандартное отклонение кригинга).

Не подходит для сильно фрагментированных данных (единичные горячие точки).

2. Методы многокритериального принятия решений (MCDA). Используются, когда данные включают не только числа, но и экспертные баллы, лингвистические переменные (опасность «высокая», приемлемость «низкая»).

2.1. Аналитическая иерархическая процедура (АИП / Метод Саати). Позволяет свести задачу к парным сравнениям критериев (например, что важнее для выбора сценария использования: риск для здоровья или экономическая выгода?). Эксперт выставляет оценки от 1 до 9.

Как работает с данными:

- числовые критерии (риск онкологических заболеваний) → нормализуются;
- качественные критерии (рекреационная привлекательность) → переводятся в шкалу Саати;
- разнородные единицы (ppm, руб/год, баллы) → приводятся к единой шкале приоритетов;

Ранжирование «парк > промышленность > сельское хозяйство» с весовыми коэффициентами.

2.2. Метод нечетких множеств (Fuzzy Sets). Вводится понятие «степени принадлежности» (от 0 до 1). Вместо жесткого ПДК используется нечеткое множество «нормальный / пограничный / опасный».

Применение:

- данные по газу: «метан в зоне А принадлежит множеству Взрывоопасная угроза со степенью 0,7»;
- экспертная оценка: «участок В вероятно загрязнен тяжелыми металлами» (степень принадлежности 0,6);
- интеграция: нечеткий логический вывод (FIS Мамдани) дает итоговую степень риска для каждого участка.

Работает с лингвистическими данными, не требует точных цифр.

2.3. Метод ELECTRE / PROMETHEE. Строится граф «превосходства» альтернатив (сценариев использования) по нескольким критериям разной природы.

Пример: промышленная застройка превосходит парк по критерию «финансовая отдача», но уступает по критерию «риск для здоровья» (из-за пыли при стройке) [3].

3. Методы пространственного анализа и гео моделирования. Необходимы для интеграции геодезических, геофизических и аэрокосмических данных.

3.1. Геоинформационные системы (ГИС) + Пространственный мультикритериальный анализ (SMCA). Наложение растров (карт) с весами в ГИС.

Входные данные (разнородные):

- карта рельефа (цифровая модель);
- карта выхода метана (съемка дроном с газоанализатором – матрица ppm);
- карта проницаемости грунтов (геофизика, литология);
- буферные зоны к жилой застройке (векторный слой).

Каждый слой нормализуется (0-1), умножается на весовой коэффициент (АНР), суммируется. Получается карта интегрального риска (от 0 до 1).

Инструмент: ArcGIS Spatial Analyst, QGIS.

3.2. Анализ данных дистанционного зондирования (ДЗЗ). Спутниковые снимки (Sentinel 2, Landsat) или тепловые (TIR) определяют зоны газовыделения, влажности, оседаний.

Методы:

- выделение горячих точек (по снимкам теплового диапазона) – зоны тления или активного метаногенеза;
- интерферометрия (*InSAR*) – мониторинг просадок с точностью до мм/год.

Проведенный анализ демонстрирует исчерпывающую ограниченность традиционных подходов к оценке экологических рисков на полигонах ТКО. Попытки применить методики, основанные на точечных моделях, мгновенных срезах данных и аддитивном суммировании эффектов отдельных загрязнителей, приводят к получению некорректных результатов и недооценке реальных угроз окружающей среде и здоровью человека. Игнорирование пространственной неоднородности тела полигона, динамики процессов деградации барьеров и

синергии факторов делает такие оценки формальными и непригодными для принятия управленческих решений.

Таким образом, переход к прогнозному моделированию временных рядов, учету нелинейных обратных связей и применению стохастических методов является единственным научно обоснованным путем для получения достоверной картины экологической опасности. Интеграция указанных инструментов позволяет трансформировать оценку из простого сравнения с ПДК в полноценный анализ вероятности реализации неблагоприятных сценариев, что служит надежной основой для проектирования систем мониторинга, планирования рекультивации и обеспечения безопасности населения на долгосрочную перспективу.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-24-20012, <https://rscf.ru/project/25-24-20012/>, а также по соглашению о предоставлении из бюджета Тульской области гранта в форме субсидий №30-2025-000524 от 03.04.2025.

Список литературы

1. Попова И.А. Обнаружение аномалий в наборе данных с помощью алгоритмов машинного обучения без учителя *Isolation forest* и *Local Outlier Factor* / И.А. Попова // *StudNet*. – 2020. – №12. – С. 1460-1470.

2. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 603 с.

3. Слюсарь Н.Н. Использование результатов оценки экологического риска для разработки программ вывода из эксплуатации старых свалок / Н.Н. Слюсарь // *Вестник МГСУ*. – 2016. – № 8. – С. 88-99.

ОБЗОР ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ВОДНЫХ СРЕДАХ

Аспирант гр. ОТиОС В.В. Еловенко,
Научный руководитель В.М. Панарин
Тульский государственный университет,
г. Тула

***Аннотация.** В статье рассматриваются основные подходы к математическому моделированию распространения загрязнений, попадающих в водные среды со стационарных источников.*

Моделирование распространения загрязняющих веществ, поступающих от стационарных источников (водозаборных сооружений, промышленных сбросов, очистных сооружений), является критически важным для прогнозирования качества воды и разработки водоохранных мероприятий. Стационарные

источники характеризуются фиксированными координатами, постоянной или периодической интенсивностью выбросов, что существенно упрощает модельную задачу в сравнении с диффузным загрязнением.

Моделирование загрязнений от стационарных источников в водной среде базируется на фундаментальном уравнении конвективно-диффузионного массопереноса. Все современные модели являются упрощениями или численными решениями на различных уровнях гидродинамики.

При моделировании распространения загрязнений в стационарных течениях чаще всего применяется фундаментальное уравнение массопереноса – базовое уравнение, описывающее перенос загрязняющего вещества в воде [1]:

$$\frac{dc}{dt} + (\vec{v} * \nabla)C = \nabla * (D\nabla C) - kC + S, \quad (1)$$

где $\frac{dc}{dt}$ – локальное изменение концентрации со временем в фиксированной точке. Если $\frac{dc}{dt} > 0$ то концентрация растет, при $\frac{dc}{dt} < 0$ концентрация снижается; $(\vec{v} * \nabla)C$ – описывает перенос вещества в процессе движения воды.

$$(\vec{v} * \nabla)C = u_x \frac{dc}{dx} + u_y \frac{dc}{dy} + u_z \frac{dc}{dz} \quad (2)$$

где $\nabla * (D\nabla C)$ – описывает смешение вещества из областей с высокой концентрацией в областях с низкой; kC – член уравнения, описывающий химические реакции, биологическое разложение и адсорбцию загрязнения. Если $k=0$ то вещество считается устойчивым.

Уравнение является точным описанием физики процесса в сплошных средах и не содержит приближений. Для одномерного случая уравнение упрощается в следующую форму:

$$\frac{dc}{dt} + v \frac{dc}{dx} = D \frac{d^2c}{dx^2} - \lambda C, \quad (3)$$

где $\frac{Q}{V}$ – привнесение загрязняющего вещества от стационарного источника.

Фиксированное местоположение источника позволяет точно определить параметры стоков и рассчитать ассимиляционную способность в зоне воздействия источника.

Также для моделирования загрязнений применяется камерная модель (Box model) – упрощенный подход к моделированию переноса и трансформации загрязняющих веществ. Система делится на несколько отсеков, внутри которых параметры (концентрация, температура и пр.) считаются однородными. Для I-го ящика уравнение примет вид:

$$V_i \frac{dC_i}{dt} = Q_{i-1} * C_{i-1} - Q_i * C_i - k_i * V_i * C_i + W_i, \quad (4)$$

где V_i – объем i-го отсека; C_i – концентрация загрязнения в отсеке; Q_{i-1} , Q_i – расход воды на входе и на выходе из отсека; k_i – коэффициент распада вещества; W_i – внешние источники загрязнения.

Данная модель обычно применяется для экспресс-оценки переноса загрязнений в водных системах, особенно когда требуется быстро получить ориентировочные результаты без сложных течений и неоднородных сред [2].

Помимо вышеперечисленных методик также применяют стационарное уравнение для рек с постоянной скоростью течения – описывается уравнением адвекции-дисперсии. Данное уравнение применяют для моделирования переноса веществ, когда производная концентрация по времени равна нулю.

Стационарное уравнение адвекции-дисперсии имеет вид:

$$\frac{dc}{dx} = D \frac{d^2c}{dx^2}.$$

Это уравнение описывает баланс между конвективным переносом вещества потоком жидкости и его дисперсионным распространением. В состоянии покоя концентрация вещества вдоль реки изменяется так, чтобы компенсировать эффект адвекции дисперсией. Если адвекция преобладает, вещество быстро уносится вниз по течению, а дисперсия «растягивает» его по пространству [3].

Список литературы

1. Гусев А.Е. Применение одномерного уравнения конвективно-диффузионного переноса примеси в моделировании стационарных течений // *Природообустройство*. 2011. Вып. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-odnomernogo-uravneniya-konvektivno-diffuzionnogo-perenosa-primesi-v-modelirovanii-statsionarnyh-techeniy> (дата обращения: 15.06.2026).

2. Гаврилова Л.В. Математическое моделирование водных экосистем: учебное пособие / Л.А. Компаниец, В.Е. Распопов // *Сибирский федеральный ун-т (Красноярск), Ин-т математики и фундаментальной информатики*. – Красноярск: СФУ. – 2016. – 201 с.;

3. Шабалин В.В. Применение математического моделирования для прогнозирования переноса загрязняющих веществ в реках / Е.А. Кукина, Т.С. Рогожина, В.М. Дронов, В.В. Шабалин, Е.А. Кукина, Т.С. Рогожина, В.М. Дронов // *Инновации и инвестиции*. – 2021. – №5. – С.176-181.

ПРОБЛЕМЫ И ОГРАНИЧЕНИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Аспирант гр. ОТиОС В.В. Еловенко,
Научный руководитель В.М. Панарин
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. В статье производится анализ существующей системы автоматического контроля состояния сточных вод, рассматриваются её недостатки.

Несмотря на внедрение передовых технологий, модернизацию экологического контроля за промышленными предприятиями, качественное

состояние водных объектов РФ характеризуется устойчивой негативной оценкой. Согласно информации [1] даже крупнейшие речные системы, в числе которых Волга и Обь, подвержены негативному воздействию. Анализ причин деградации водных систем, выявляет ряд системных проблем, связанных с методологией, техническим оснащением и нормативно-правовым регулированием процессов контроля.

Главенствующей проблемой существующей системы мониторинга является низкая частота отбора проб и нерегулярность измерений. Текущая система наблюдений на гидрохимических постах предполагает частоту пробоотбора не чаще одного раза в месяц, с возможностью корректировки в периоды половодья и паводков [2]. Подобный подход не может обеспечить получение данных в режиме реального времени и приводит к весомым погрешностям при оценке распространения загрязняющих веществ. Кратковременные залповые сбросы, которые свойственны промышленным предприятиям при аварийных или залповых режимах работы, остаются незафиксированными из-за несовпадения с временем отбора проб. Что, в свою очередь, приводит к занижению расчетных нагрузок на водный объект и формированию неточной картины экологического риска. Отсутствие постоянного контроля на большей части промышленных объектов I-II категории делает невозможным оперативное реагирование на превышение нормативов предельно допустимых сбросов.

Так же одной из проблем является недостаточность регламентируемых показателей для контроля. Установленные методики и формы отчетности ориентированы преимущественно на определение традиционных загрязнителей: взвешенные вещества, БПК₅, ХПК, основные биогенные показатели и нефтепродукты. Однако отсутствуют показатели фармацевтических субстанций, эндокринных дизрапторов и перфторалкильных веществ, токсичность которых, в свою очередь, представляет серьезную угрозу для всех живых организмов водной среды. Отсутствие утвержденных федеральных методик массового мониторинга данных загрязнений приводит к тому, что диффузное загрязнение и хроническая токсическая нагрузка на водоемы остаются недооцененными.

Проблема достоверности первичных экологических данных остается одной из наиболее острых. Статистика загрязнений, формируемая на основе формы 2-ТП, зачастую подвергается критике со стороны научного сообщества из-за высокого уровня расчетных показателей, неподтвержденных инструментальными измерениями. Многие природо-пользователи продолжают использовать устаревшие лабораторные методики, не обеспечивающие требуемую точности и воспроизводимости результатов в условиях сложных матриц промышленных стоков. Оснащенность гидрохимических постов современными автоматизированными комплексами остается низкой, значительная часть измерений проводится экспресс методами или титриметрическими анализами, чувствительными к влиянию мешающих компонентов. Кроме того, система мониторинга практически не учитывает данные о хозяйственной деятельности на водосборных территориях, что

исключает возможность применения моделей диффузного загрязнения и прогнозирования качества воды в зависимости от ландшафтно-климатических факторов. Следствием этого является неудовлетворительное состояние водоохранных зон практически во всех индустриально развитых регионах РФ, где локальные источники загрязнения не интегрированы в единую сферу наблюдений.

Список литературы

1. Государственный доклад "О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году" / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации.

2. Веницианов Е.В. Современные проблемы оценки, регулирования и мониторинга качества поверхностных вод / Г.В. Аджиенко, А.А. Возняк, М.А. Чиганова; Водное хозяйство России. – 2018. – №1. – С. 47-59.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ: ПРИНЦИПЫ УСТРОЙСТВА, КЛАССИФИКАЦИОННЫЕ ПРИЗНАКИ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТРАНСДУКЦИИ СИГНАЛА

Студент гр. 340651/02 А.А. Гусак,
Научный руководитель Е.М. Рылеева
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. В статье представлен системный анализ современных биологических сенсоров для мониторинга поверхностных водных объектов и контроля выпусков сточных вод. Рассмотрены фундаментальные принципы функционирования биосенсоров, предложена классификация по типу биорецептора и способу трансдукции. Особое внимание уделено адаптации биосенсоров к работе в сложных водных матрицах и ведущим российским научным разработкам в этой области. Проведён сравнительный анализ преимуществ и ограничений различных типов биосенсоров применительно к специфическим условиям водных экосистем.

Биосенсорные технологии представляют собой одно из наиболее динамично развивающихся направлений аналитического приборостроения. Биосенсоры – это аналитические устройства, преобразующие биологический ответ в количественный измеримый сигнал. Их развитие стало ответом на запрос практики в методах, сочетающих высокую селективность биологического распознавания с возможностью инструментального измерения. В области экологического мониторинга природных вод и контроля эффективности очистки сточных вод такие устройства заняли важное место: они позволяют не только выявлять отдельные загрязняющие вещества, но и оценивать интегральные параметры качества воды, включая биохимическое потребление кислорода (БПК), общую токсичность и биодоступность поллютантов – характеристики,

критически важные для оценки состояния водных экосистем. В системе экологического нормирования РФ ключевыми показателями качества воды являются БПК₅, химическое потребление кислорода (ХПК), а также токсикологические характеристики, регламентируемые для водных объектов и источников питьевого водоснабжения. Биосенсорные системы позволяют оперативно оценивать как интегральное загрязнение, так и отдельные приоритетные загрязнители, что делает их перспективным инструментом для экологического контроля.

Ключевым среди них остается биохимическое потребление кислорода (БПК) – показатель, который, несмотря на критику за пятисуточную длительность стандартного метода (БПК₅), сохраняет свою актуальность в нормативно-правовой базе РФ как один из ключевых интегральных показателей, отражающих содержание органических загрязнителей и моделирующих процессы естественного самоочищения водоемов. Биосенсоры трансформируют этот «медленный» показатель в инструмент оперативного контроля, позволяя измерять уровень общей токсичности и биодоступности поллютантов в режиме реального времени [1]. Это особенно важно для своевременного обнаружения залповых сбросов и оценки рисков для водных биоценозов.

В Российской Федерации активно работают несколько научных школ в области биосенсорики для водного мониторинга. В Лаборатории биосенсоров Института биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина РАН (г. Пущино) под руководством профессора А.Н. Решетилова созданы модели биосенсоров на основе ферментов и микробных клеток для детекции органических соединений, пестицидов и гормонов [2]. Значительный вклад вносит Тульский государственный университет под руководством В.А. Арляпова, где разрабатываются микробные биосенсоры для экспресс-анализа БПК и поверхностно-активных веществ в водных средах [3]. Сотрудничество Пущинского научного центра и ТулГУ подтверждается совместными публикациями, в том числе обзорами по применению целых клеток микроорганизмов для измерения интегральных параметров загрязнения.

В отличие от стандартных лабораторных методов (хроматографии, масс-спектрометрии, атомно-абсорбционной спектроскопии), требующих дорогостоящего оборудования, квалифицированного персонала и длительной пробоподготовки, биосенсоры позволяют проводить анализ на месте отбора пробы, а при соответствующей конструкции – в режиме реального времени. Это принципиально меняет логику экологического контроля: от эпизодических измерений к непрерывному мониторингу. Данная статья посвящена систематизации знаний о биологических сенсорах для водных объектов с акцентом на их классификацию по применимости к различным типам анализируемой воды – от чистых поверхностных водоёмов до высокозагрязнённых сточных вод.

Водные экосистемы подвергаются непрерывному антропогенному воздействию через поступление промышленных стоков, сельскохозяйственных стоков (содержащих пестициды и удобрения), неочищенных бытовых сточных

вод и твёрдых бытовых отходов. Традиционные подходы к мониторингу, основанные на периодическом отборе проб и последующем лабораторном анализе, демонстрируют существенные ограничения: невозможность обнаружить кратковременные залповые сбросы загрязняющих веществ из-за дискретности отбора проб, высокую стоимость и продолжительность анализа (например, стандартное определение БПК₅ занимает 5 суток), необходимость транспортировки и хранения проб, что может приводить к изменению их состава, а также невозможность оперативного регулирования технологических режимов очистных сооружений. Биологические сенсоры предлагают альтернативную парадигму: измерение непосредственно в водной среде, в реальном масштабе времени, с использованием иммобилизованных живых клеток, ферментов или аптамеров в качестве селективных рецепторов [4]. Актуальность разработки биосенсоров для водных объектов определяется несколькими группами факторов. На нормативно-правовом уровне ужесточение требований к сбросам сточных вод и качеству воды в водных объектах требует внедрения методов оперативного контроля, позволяющих фиксировать превышения предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ. Появляются новые классы загрязнителей – фармацевтические препараты, средства личной гигиены, микропластик, перфторалкильные соединения (ПФАС) – «вечные химикаты», которые не удаляются стандартными методами очистки и нуждаются в специальном мониторинге [5]. Наконец, технологический прогресс: наноматериалы, микрофлюидика и методы генной инженерии открыли возможности для создания портативных, мультиплексных и высокочувствительных биосенсоров [6]. В Российской Федерации, обладающей огромными водными ресурсами и развитой промышленной инфраструктурой, проблема эффективного мониторинга качества поверхностных и сточных вод приобретает особую актуальность, а разработка отечественных биосенсоров является важным направлением развития отечественного аналитического приборостроения.

Работа носит обзорно-аналитический характер и направлена на систематизацию современных подходов к созданию биосенсоров для мониторинга водных объектов. В классификационный анализ включены недавно разработанные типы биосенсоров – биоэлектрохимические системы на основе MFC, биолюминесцентные сенсоры и аптамерные сенсоры. Практическая значимость определяется возможностью использования предложенных классификационных схем для предварительного выбора технологии биосенсора под конкретную аналитическую задачу (например, детекция тяжёлых металлов или оценка БПК на выходе очистных сооружений), а также формированием базы требований к метрологическим характеристикам биосенсоров, необходимых для их сертификации в качестве средств измерения качества воды.

В контексте мониторинга водной среды под биологическим сенсором понимается аналитическое устройство, содержащее биорецепторный элемент (иммобилизованные ферменты, антитела, нуклеиновые кислоты, целые клетки микроорганизмов, аптамеры) в прямом контакте с водной пробой, физико-

химический преобразователь (трансдюсер) для регистрации изменений параметров среды, вызванных взаимодействием аналита с биорецептором, и электронную систему обработки сигнала и представления результатов. Ключевым отличием от медицинских биосенсоров является необходимость функционирования в нестабильной матрице: высокие концентрации взвешенных веществ, переменная ионная сила, присутствие природных ингибиторов и конкурирующих субстратов. Особый интерес среди клеточных биосенсоров представляют бактериальные lux-биосенсоры, в которых репортёрный сигнал генерируется в ответ на стрессовое воздействие. Генетически модифицированные штаммы *Escherichia coli* или *Bacillus subtilis* несут lux-гены под контролем стресс-индуцибельных промоторов; при попадании токсиканта активируется транскрипция и синтезируется люцифераза, что приводит к биоллюминесценции, пропорциональной концентрации биодоступной фракции загрязнителя [7]. Такие сенсоры позволяют оценивать интегральную токсичность водных проб, включая объекты с высокими сезонными колебаниями гидрохимических параметров, и успешно апробированы для мониторинга арктических и байкальских вод. Для каждой задачи экологического мониторинга требуется специфический подход к выбору рецептора, сравнительная характеристика которых приведена в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительная характеристика биосенсоров, применяемых в экологическом мониторинге водных объектов

Тип биосенсора	Биорецептор	Измеряемый эффект	Преимущества	Ограничения	Область применения
Ферментный	Иммобилизованные ферменты, микробные клетки	Электрохимический сигнал	Высокая чувствительность, быстрый отклик	Дегградация биокатализатора, зависимость от условий среды	Определение БПК, органические загрязнители сточных вод
Иммунный	Антитела	Оптический или электрохимический сигнал после ферментной метки	Высокая селективность	Сложность получения и стабилизации	Пестициды, гормоны, токсиканты
Клеточный (люминесцентный)	Живые бактерии	Биоллюминесценция, стресс-ответ	Интегральная оценка токсичности	Ограниченный срок жизни клеток	Общая токсичность природных и сточных вод
Аптамерный	Синтетические ДНК/РНК-аптамеры	Оптический/Электрохимический сигнал	Высокая стабильность, воспроизводимость	Ограниченная номенклатура мишеней	Биомаркеры, специфические загрязнители

Продолжение таблицы					
Биоэлектро-химический (MFC)	Электро-активные бактерии	Перенос электронов на электрод	Самогенерация сигнала, длительная работа	Низкая селективность	Органические загрязнения, БПК
Биолюминисцентный	Микро-организмы, люцифериновые системы	Регистрация светового излучения	Возможность дистанционного измерения	Требуется оптическая система регистрации	Полевой экологический мониторинг

Эффективность работы любого из вышеперечисленных типов устройств напрямую зависит от надежности закрепления биологического компонента на поверхности транзюсера. Для обеспечения длительной стабильности биосенсора в водной среде и возможности его многократного использования необходима иммобилизация биорецептора. Выбор метода определяется условиями эксплуатации и требованием к сроку службы. В таблице 2 представлена сравнительная характеристика основных методов иммобилизации.

Таблица 2

Методы иммобилизации биорецепторов в биосенсорах для водного мониторинга

Метод иммобилизации	Принцип	Стабильность системы	Диффузионные ограничения	Преимущества	Ограничения	Область применения
Физическая адсорбция	Закрепление за счёт слабых межмолекулярных взаимодействий	Низкая	Отсутствуют	Простота реализации, низкая стоимость	Возможна десорбция биоматериала	Одноразовые сенсоры, экспресс-аналитика
Ковалентное связывание	Химическое присоединение через функциональные группы	Высокая	Незначительные	Высокая устойчивость, длительный срок службы	Возможна частичная инактивация биорецептора	Длительный мониторинг водных систем
Метод иммобилизации	Принцип	Стабильность системы	Диффузионные ограничения	Преимущества	Ограничения	Область применения
Энтрапмент (включение в матрицу)	Фиксация в полимерном или золь-гель матриксе	Средняя–высокая	Умеренные	Защита биоматериала от внешних факторов	Замедление массопереноса	Микробные и ферментные биосенсоры

Продолжение таблицы						
Аффинная иммобилизация	Специфическое взаимодействие лиганд– рецептор	Очень высокая	Минимальные	Высокая ориентационная упорядоченность био- рецептора	Высокая стоимость реагентов	Высоко- чувствительные аналитические системы

Важнейшим аспектом практического применения биосенсоров являются их метрологические характеристики. Для ферментных БПК-биосенсоров на основе иммобилизованных микроорганизмов характерны сравнительно малое время отклика и возможность оперативного определения уровня органического загрязнения водных сред. Целоклеточные люминесцентные сенсоры обладают высокой чувствительностью к различным токсикантам, включая тяжёлые металлы и пестициды, однако скорость формирования аналитического сигнала ограничивается необходимостью развития клеточного стрессового ответа. Аптамерные биосенсоры отличаются высокой селективностью и чувствительностью благодаря специфическому связыванию целевых молекул аптамерами, что обеспечивает перспективность их применения для экспрессного определения широкого спектра загрязняющих веществ.

Долговременная стабильность варьируется от нескольких дней для неиммобилизованных клеток до нескольких месяцев для биосенсоров с ковалентной иммобилизацией или энтрапментом. Российскими разработчиками, в частности коллективом ТулГУ, разработаны биосенсоры на основе бактерий, выделенных из активного ила, показавшие стабильную работу в течение длительного времени [4]. Для обеспечения воспроизводимости результатов критическое значение имеет регулярная калибровка по стандартным растворам глюкозы-глутаминовой кислоты (ГГК), что позволяет сопоставлять показания биосенсорных анализаторов с классическим методом БПК₅.

Несмотря на перечисленные преимущества, широкое внедрение биосенсоров в практику экологического мониторинга сдерживается рядом факторов. К ним относятся отсутствие единых стандартов калибровки для целоклеточных сенсоров, нестабильность биоматериала при длительном хранении, а также необходимость периодической регенерации поверхности трансдюсера. В российских условиях дополнительными барьерами выступают высокая минерализация и температура воды в разных климатических зонах, что требует адаптации рецепторных элементов под конкретный регион. Решение этих проблем видится в развитии гибридных иммобилизационных матриц, использовании генетически модифицированных штаммов с усиленной стресс-устойчивостью и создании автоматизированных систем калибровки, интегрированных в станции экологического мониторинга.

Проведённый анализ показывает, что биосенсорные технологии открывают принципиально новые возможности для экологического мониторинга водных объектов. Переход от дискретных лабораторных анализов

к непрерывному наблюдению в режиме реального времени позволяет оперативно реагировать на залповые сбросы и повышает эффективность управления качеством водных ресурсов. Предложенная систематизация биосенсоров по типу биорецептора и способу трансдукции даёт возможность обоснованно выбирать архитектуру сенсора в зависимости от решаемой задачи — от высокочувствительной детекции пестицидов с помощью иммуносенсоров до интегральной оценки токсичности с использованием целоклеточных люминесцентных систем. Особого внимания заслуживают российские разработки, ведущиеся в Пущинском научном центре и Тульском государственном университете, которые уже сегодня вносят значимый вклад в развитие отечественного биоаналитического приборостроения для нужд экологического контроля. Дальнейшее развитие биосенсоров связано с миниатюризацией, созданием мультиплексных платформ для одновременного анализа нескольких загрязнителей и внедрением наноматериалов, что позволит выйти на новый уровень чувствительности и селективности контроля водной среды. Перспективным направлением является интеграция биосенсоров в системы раннего предупреждения о превышении ПДК и в автоматизированные станции мониторинга, что позволит перейти к риск-ориентированному управлению качеством воды и снизить экологические риски для водных экосистем и здоровья населения.

Список литературы

1. Arlyapov V.A., Plekhanova Y.V., Kamanina O.A., Nakamura H., Reshetilov A.N. *Microbial Biosensors for Rapid Determination of Biochemical Oxygen Demand: Approaches, Tendencies and Development Prospects // Biosensors (Basel)*. – 2022. – Vol. 12, No. 10. – P. 842. – DOI: 10.3390/bios12100842. — PMID: 36290979. — PMCID: PMC9599453.
2. Решетилов А.Н. Биосенсоры – движение от макро- к микро- и наноразмерам / А.Н. Решетилов // *Российские нанотехнологии*. – 2020. – Т. 15, № 1. – С. 17-24.
3. Арляпов В.А. Биосенсор на основе послойно иммобилизованных микроорганизмов для определения биохимического потребления кислорода / В.А. Арляпов, Н.Ю. Юдина, А.В. Мачулин, В.А. Алферов, О.Н. Понаморева, А.Н. Решетилов // *Прикладная биохимия и микробиология*. – 2021. – Т. 57, № 1. – С. 95-104. – DOI: 10.31857/S0555109921010207.
4. Юдина Н.Ю. Создание биосенсора на основе бактерий, выделенных из активного ила, для экспресс-мониторинга водных сред / Н.Ю. Юдина, Т.Н. Абрамова, В.А. Арляпов // *Известия Тульского государственного университета. Естественные науки*. – 2018. – № 1. – С. 85-94.
5. Плеханова Ю.В., Решетилов А.Н. Микробные биосенсоры для определения пестицидов / Ю.В. Плеханова, А.Н. Решетилов // *Журнал аналитической химии*. – 2019. – Т. 74, № 12. – С. 883-901.
6. Шемшединова Э.Ш. Люминесцентные цельноклеточные биосенсоры в детекции экотоксикантов (обзор) / Э.Ш. Шемшединова, Э.Р. Абдураманова,

Е.В. Морозкина, А.М. Кацев // Теоретическая и прикладная экология. – 2020. – № 2. – С. 6-13.

7.Manukhov I.V., Bazhenov S.V., Novoyatlova U.S., Shcheglova E.S., Prazdnova E.V., Mazanko M.S., Kessenikh A.G., Kononchuk O.V., Gnuchikh E.Yu., Liu Y., Al Ebrahimi R., Zavilgelsky G.B., Chistyakov V.A. Bacterial lux-biosensors: Constructing, applications, and prospects // Biosensors and Bioelectronics: X. – 2023. – Vol. 13. – P. 100323. – DOI: 10.1016/j.biosx.2023.100323.

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ ИСТОЧНИКОВ АВАРИЙНЫХ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ

Студент гр. аОТиОС/2.10.2-24 В.А. Кондрашов,
Научный руководитель А.А. Маслова
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. В условиях промышленно развитых регионов одной из наиболее актуальных задач экологической и техносферной безопасности является своевременное обнаружение аварийных и несанкционированных выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Традиционные системы контроля, ориентированные преимущественно на фиксацию среднесуточных и среднегодовых концентраций, не всегда позволяют оперативно выявлять кратковременные выбросы, определять их источник и оценивать масштаб воздействия на окружающую среду. Поэтому особую значимость приобретает разработка информационно-измерительных систем, объединяющих средства непрерывного контроля, метеорологические данные, математические модели рассеивания и алгоритмы интеллектуального анализа.

Актуальность разработки системы

Промышленные предприятия металлургического, химического, энергетического и нефтегазового профиля являются значимыми источниками выбросов оксидов азота, диоксида серы, оксида углерода, летучих органических соединений, аэрозольных частиц и других загрязняющих веществ. При штатной эксплуатации такие выбросы учитываются в проектной и разрешительной документации, однако аварийные и несанкционированные выбросы характеризуются неопределённостью времени возникновения, продолжительности, состава и интенсивности.

Введение автоматических систем контроля выбросов направлено на получение объективных данных о параметрах отходящих газов и концентрациях загрязняющих веществ. Вместе с тем для практического выявления нештатных ситуаций недостаточно только измерить концентрацию в одной точке. Необходимо установить, является ли превышение следствием фонового загрязнения, изменения метеорологических условий или фактического выброса от конкретного источника. Это требует интеграции измерительных данных с алгоритмами обработки и идентификации.

Научная новизна рассматриваемого подхода заключается в переходе от разрозненного контроля отдельных параметров к комплексной системе, в которой данные от стационарных постов, автоматических измерительных систем, мобильных лабораторий и метеостанций рассматриваются как единый поток экологической информации. Такой подход позволяет повысить достоверность обнаружения выбросов и сократить время принятия управленческих решений.

Структура информационно-измерительной системы

Предлагаемая система может быть представлена как совокупность взаимосвязанных подсистем: сбора первичных данных, передачи информации, предварительной обработки, аналитического обнаружения аномалий, идентификации источников, геоинформационной визуализации и поддержки принятия решений. На первом уровне располагаются измерительные средства: газоанализаторы, датчики пыли, метеорологические станции, датчики температуры, давления и влажности.

Второй уровень образует коммуникационная инфраструктура, обеспечивающая передачу данных в центр обработки. Для этого могут применяться проводные каналы, сотовая связь, промышленные сети и IoT-протоколы. Важным условием является синхронизация данных по времени, поскольку для определения источника выброса необходимо сопоставлять изменение концентраций с направлением и скоростью ветра в конкретный момент.

Третий уровень включает программные модули фильтрации, нормализации и верификации данных. На данном этапе устраняются пропуски, выбросы измерительной природы и шумы. После предварительной обработки данные поступают в аналитический блок, где выполняется сравнение текущих концентраций с фоновыми значениями и статистическими порогами. При превышении порога формируется событие, требующее дальнейшей проверки и локализации источника.

Алгоритмы обнаружения и идентификации выбросов

Обнаружение аварийного выброса может выполняться на основе анализа временных рядов концентраций. Наиболее простым методом является сравнение текущего значения с допустимым порогом. Более устойчивый подход основан на анализе отклонения от фоновой концентрации с учётом стандартного отклонения измерений. В общем виде условие обнаружения можно записать следующим образом:

$$C(t) > C_{\text{ф}} + k\sigma,$$

где $C(t)$ – текущая концентрация загрязняющего вещества; $C_{\text{ф}}$ – фоновая концентрация; σ – среднеквадратическое отклонение фонового ряда; k – коэффициент чувствительности алгоритма.

Такой критерий позволяет учитывать естественные колебания концентраций и снижать вероятность ложных срабатываний.

После фиксации аномалии решается задача идентификации источника. Она заключается в определении координат и мощности выброса по данным

измерений в контрольных точках. Для этого могут использоваться гауссовы модели рассеивания, геостатистические методы, инверсное моделирование и алгоритмы машинного обучения. В промышленных регионах наиболее перспективным является гибридный подход, при котором физическая модель распространения примеси используется совместно с алгоритмами интеллектуального анализа данных.

Идентификация источника может быть сформулирована как задача минимизации расхождения между измеренными и рассчитанными концентрациями. Чем меньше невязка между моделью и фактическими данными, тем выше вероятность того, что выбранный источник является причиной загрязнения. При наличии нескольких потенциальных источников система должна ранжировать их по вероятности участия в формировании аномального поля концентраций.

Учёт метеорологических и пространственных факторов

Метеорологические условия оказывают решающее влияние на перенос загрязняющих веществ в атмосфере. Скорость и направление ветра определяют траекторию распространения примеси, температурная стратификация влияет на вертикальное перемешивание, а влажность и осадки могут изменять скорость удаления загрязняющих веществ из атмосферы. Поэтому идентификация источника без учёта метеоданных может приводить к ошибочным выводам.

Для повышения точности анализа данные экологического мониторинга должны интегрироваться с цифровыми картами территории, сведениями о расположении промышленных объектов, высоте источников выбросов, рельефе и застройке. Геоинформационная подсистема позволяет визуализировать зоны загрязнения, строить карты вероятного распространения примесей и отображать предполагаемые источники выбросов.

Особенно важно учитывать пространственную структуру промышленной зоны. При высокой плотности источников загрязнения одна и та же концентрационная аномалия может быть вызвана разными объектами. В этом случае система должна анализировать не только превышение концентрации, но и направление переноса, время поступления загрязнения к постам наблюдения и характер изменения концентраций в соседних точках.

Практическое значение результатов

Практическое значение предлагаемого подхода заключается в возможности создания программно-аппаратной платформы, обеспечивающей оперативное выявление экологически опасных ситуаций. Такая система может применяться на промышленных предприятиях, в региональных центрах экологического мониторинга и в ситуационных центрах органов управления. Её использование позволит сократить время реагирования на выбросы, повысить объективность экологического контроля и обеспечить доказательную базу при расследовании фактов загрязнения атмосферного воздуха.

Внедрение информационно-измерительной системы также способствует развитию производственного экологического контроля. Предприятие получает возможность не только фиксировать превышения, но и анализировать причины

их возникновения, оценивать эффективность газоочистного оборудования, выявлять нештатные режимы технологических процессов и формировать отчётные материалы. Для органов надзора такая система представляет интерес как инструмент повышения прозрачности и сопоставимости экологических данных.

Перспективным направлением дальнейших исследований является применение методов машинного обучения для прогнозирования выбросов и автоматической классификации источников загрязнения. При накоплении достаточного массива данных система может обучаться на типовых сценариях и повышать точность распознавания аварийных ситуаций. Дополнительный эффект может быть получен за счёт интеграции с цифровыми двойниками промышленных территорий и моделями рассеивания загрязняющих веществ.

Таким образом, разработка информационно-измерительного подхода к обнаружению и идентификации источников аварийных выбросов является актуальной научно-практической задачей для промышленно развитых регионов. Основу такого подхода составляет объединение измерительных средств, метеорологической информации, геоинформационного анализа и алгоритмов обработки данных. Реализация подобных систем позволит повысить уровень экологической и техносферной безопасности современного производства, а также обеспечить более оперативное принятие природоохранных решений.

Список литературы

1. *Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».*
2. *Федеральный закон от 04.05.1999 № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха».*
3. *ГОСТ Р 70803-2023. Автоматические измерительные системы для контроля выбросов загрязняющих веществ. Общие технические требования. – М.: Российский институт стандартизации, 2023.*
4. *ГОСТ Р 70804.1-2023. Автоматические измерительные системы для контроля выбросов загрязняющих веществ. Система сбора и обработки данных. Часть 1. Требования к системам сбора и обработки данных. – М.: Российский институт стандартизации, 2023.*
5. *Методические рекомендации по приёму в эксплуатацию систем автоматического контроля выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух: утв. приказом Росприроднадзора от 20.08.2024 № 427.*
6. *Федоров В.Н. Мониторинг качества атмосферного воздуха в городах – участниках федерального проекта «Чистый воздух» / В.Н. Федоров, А.А. Ковшов, Н.А. Тихонова [и др.] // Гигиена и санитария. – 2024. – Т. 103, № 6. – С. 510-518.*
7. *Тасейко О.В. Изучение пространственной и временной динамики взвешенных частиц в атмосферном воздухе г. Красноярск / О.В. Тасейко, Е.Н. Бельская, У.С. Постников // Экология и промышленность России. – 2023. – Т. 27, № 3. – С. 60-65.*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД И ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К МОДУЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА

Студент гр. 340641/01 Е.А. Савина,
Научный руководитель Е.М. Рылеева
Тульский государственный университет,
г. Тула

***Аннотация.** По результатам экспериментальных исследований поверхностных вод Тульской области (2023–2025 гг.) выявлены кратные превышения ПДК по фосфатам, аммонии, железу, нефтепродуктам и БПК₅. С использованием индекса загрязнения воды (ИЗВ) установлены зоны критического загрязнения (ИЗВ > 6,0, VII класс качества) с концентрациями аммония до 44 ПДК и нефтепродуктов до 47 ПДК. Показана высокая пространственно-временная изменчивость и наличие залповых сбросов, не фиксируемых при дискретном отборе. На основе выявленных рисков ингаляционного отравления персонала обоснованы требования к автоматизированной системе мониторинга: непрерывный герметичный пробоотбор, адаптивная частота измерений и дистанционное управление. Сделан вывод о недопустимости ручного контроля в зонах с ИЗВ > 6,0.*

Тульская область относится к числу регионов Российской Федерации с высокой степенью промышленного освоения и плотной урбанизацией. На её территории, расположенной на водоразделе бассейнов рек Оки и Дона, функционируют крупные предприятия химической промышленности (ПАО «Щёкиноазот», АО «НАК «Азот»), объекты энергетики (Черепетская ГРЭС), машиностроения и жилищно-коммунального хозяйства. Следствием интенсивной антропогенной нагрузки является устойчивое загрязнение поверхностных вод: по данным государственного мониторинга (Тульский ЦГМС, 2020–2024 гг.) большинство рек региона классифицируются как «загрязнённые» (3 класс) и «грязные» (4 класс), а на ряде водотоков (р. Мышега, ручей – приток р. Любовка) впервые зафиксирован 5 класс качества – «экстремально грязная».

Для разработки автоматизированной системы мониторинга с повышенной эксплуатационной надёжностью и безопасностью персонала в качестве пилотных зон выбраны два характерных речных бассейна Тульской области:

1. Бассейн р. Оки (на примере рек бассейна р. Упы) – характеризуется наличием крупных промышленных центров (Тула, Щёкино, Плавск, Суворов) и очистных сооружений, сбрасывающих сточные воды в притоки Упы. Здесь доминируют химические и машиностроительные предприятия, а также объекты ЖКХ.

2. Бассейн р. Дона (на примере рек Донского промышленного узла) – включает реки, непосредственно впадающие в Дон или его притоки (Бобрик, Ольховец, Клинский ручей), испытывающие влияние городов Донской, Северо-Задонск, Кимовск, а также объектов угольной промышленности прошлых лет.

Отбор проб осуществлялся в 2023–2025 гг. ФГБОУ ВО «ТулГУ» в рамках государственных контрактов с ГУ ТО «Природа». Всего за трёхлетний период

проанализировано более 60 контрольных створов на 25 водных объектах. В таблице 1. приведены максимальные зафиксированные превышения ПДК по основным загрязняющим веществам за период 2023-2025 гг. (на основе протоколов лабораторных испытаний).

Таблица 1

Максимальные превышения ПДК по приоритетным загрязняющим веществам

Показатель	ПДК (рыб. хоз.), мг/дм ³ [2]	Макси- мальная концентра- ция, мг/дм ³	Кратность превыше- ния	Водный объект (створ)
Железо общее	0,1	15	150	р. Олень, ул. 3-я Пятилетка (район д. 1Б), г. Киреевск (октябрь 2024)
Фосфат-ион (PO ₄ ³⁻)	0,2	85,62	428	р. Упа, 500 м на СВ от д. Ямны (май 2023)
БПК ₅	2,1	73	34,76	р. Олень, ул. 3-я Пятилетка (район д. 1Б), г. Киреевск (октябрь 2024)
Нефтепродукты	0,05	2,35	47	ручей б/н (приток р. Любовка), место впадения (ноябрь 2024)
Ион аммония (NH ₄ ⁺)	0,5	22,35	44,7	р. Вьевка, р-н очистных сооружений (г. Болохово), Киреевский р-н
Нитрит-ион (NO ₂ ⁻)	0,08	1,58	19,8	р. Упа, 500 м на СВ от д. Ямны (май 2023)
Стронций (Sr)	0,4	42,13	105,3	руч. Хавка, с. Хавки (ул. Полевая)
АПАВ	0,1	2,16	21,6	ручей б/н, ул. Мичурина (сентябрь 2023)

Как видно из таблицы 1, превышения носят кратный характер, что свидетельствует о равномерном загрязнении органическими веществами, азотной группой и нефтепродуктами. Наибольшие значения зафиксированы в зонах влияния очистных сооружений населённых пунктов и промышленных площадок. С позиции безопасности персонала особую тревогу вызывают аммиак (образующийся из аммония при pH>8) и сероводород, способные переходить в воздушную среду и вызывать острое ингаляционное отравление даже при кратковременном нахождении в зоне отбора проб.

Для количественной оценки степени загрязнения использован индекс загрязнения воды (ИЗВ), рекомендованный РД 52.24.643-2002 для комплексной оценки качества поверхностных вод [3]. В таблице 2. представлены результаты расчёта ИЗВ для ключевых контрольных створов за 2023-2025 гг.

Таблица 2

Динамика индекса загрязнения воды (ИЗВ) по контрольным створам

Водный объект (характерный створ)	ИЗВ 2023	Класс 2023	ИЗВ 2024	Класс 2024	ИЗВ 2025	Класс 2025	Сред- ний ИЗВ	Тренд (с позиции опасности для персонала)
р. Тулица (ж/д мост)	2,85	IV	3,09	IV	6,52	VI	4,15	Резкое ухудшение → высокий риск
р. Рогожня (ул. Оборонная)	3,75	IV	4,62	V	6,65	VI	5,06	Резкое ухудшение → высокий риск
р. Михалковка (нижний створ)	6,89	VI	7,35	VI	5,24	V	5,05	Снижение, но остаётся высокая опасность
р. Упа (ниже ОС Одоево)	2,75	IV	2,77	IV	2,74	IV	2,75	Стабильно IV, средний риск
р. Плава (пос. Александровка)	1,27	III	6,39	VI	7,15	VI	4,94	Резкое ухудшение → высокий риск
р. Черепеть (пос. Черепеть)	1,87	III	3,63	IV	9,84	VI	5,11	Резкое ухудшение → высокий риск
р. Бобрин (Шахтёрский парк)	1,15	III	7,93	VI	4,58	V	4,55	Снижение, но остаётся высокая опасность
р. Ольховец (ул. Моисеевка)	11,52	VII	9,33	VI	9,85	V	10,23	Катастрофический риск (аммоний 44 ПДК)
р. Любовка (СНТ Отдых-1)	5,39	V	9,01	VI	13,3	VII	9,23	Очень высокий, требуется полная автоматизация
Ручей — приток р. Любовка (впадение)	3,37	IV	18,38	VII	24,4	VII	15,38	Резкое ухудшение, катастрофический риск (недопустимо)
Ручей без названия (Северо-Задонск)	13,3	VII	8,26	VI	16,04	VII	12,53	Катастрофический риск (недопустимо)
р. Вьевка (район ОС Болохово)	12,8	VII	13,02	VII	5,14	V	10,32	Катастрофический риск (недопустимо)
Пруд на р. Дубна	—	—	1,22	III	1,32	III	1,27	Безопасно для персонала

по данным лабораторных анализов 2023–2025 гг.

Анализ данных таблицы 2 позволяет выделить зоны критического риска (ИЗВ > 6,0), где обслуживание персоналом без автоматизации недопустимо: ручей – приток р. Любовка (VII класс), ручей в Северо-Задонске (VII класс), р. Вьевка (VII класс), р. Ольховец (V–VII класс), р. Любовка (V–VII класс).

Выявленные особенности загрязнения напрямую определяют требования к модульному составу АСМПЗ и диктуют необходимость максимальной автоматизации:

1. Кратные превышения ПДК токсичными летучими веществами. На ряде объектов зафиксирован аммоний (до 44 ПДК), который при $pH > 8$ переходит в газообразный аммиак. ПДК аммиака в воздухе рабочей зоны – 20 мг/м³ [1]; при ручном отборе проб персонал подвергается риску острого ингаляционного отравления. Также присутствуют высокие концентрации нефтепродуктов (47 ПДК), фенолов (8 ПДК), БПК_{О2} (95 ПДК, что косвенно указывает на

возможное образование сероводорода). Все эти вещества токсичны и легко переходят в воздух. Вывод: ручной отбор проб в таких зонах недопустим; необходим автоматический пробоотбор с герметизацией.

2. Залповые сбросы. Зафиксированы резкие скачки ИЗВ между сезонами (р. Плава: 1,27 → 7,15; ручей – приток Любовки: 3,37 → 24,4). Дискретные измерения не фиксируют такие события, и персонал может прибыть на створ уже после аварийного сброса. Вывод: необходим непрерывный автоматический контроль с частотой не менее 1 раза в час и автоматическим учащением при превышении порога.

3. Высокая пространственно-временная изменчивость. Различия ИЗВ на соседних участках достигают 2-3 раз. Вывод: система должна иметь адаптивный режим измерений и возможность дистанционной перенастройки без выезда персонала в опасную зону.

Таким образом, совокупность этих факторов делает полную автоматизацию (автоматический пробоотбор, дистанционное управление, интеграция с РАСЦО) и дистанционное управление единственным приемлемым решением для зон с ИЗВ > 6,0.

Список литературы

1. ГН 2.2.5.3532-18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. – М.: Минтруд, 2018.

2. Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения» (ред. от 13.06.2024).

3. РД 52.24.643-2002. Метод комплексной оценки степени загрязнения поверхностных вод по гидрохимическим показателям. – М.: Метеоагентство Росгидромета, 2003.

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛОВ, ОБРАЗОВАННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ПОТОКОВ СЕРЫ, ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЧЁРНЫХ МЕТАЛЛОВ

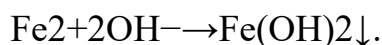
Студент гр. 340651/02 И.А. Ерёмчев,
Научный руководитель А.В. Волков
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. В результате нейтрализации геохимических аномалий на месторождениях с высоким содержанием минерала-сульфида железа – пирита, происходит образование большого количества минералов оксидов и гидрооксидов железа (гематит, гётит). В данной статье рассмотрена возможность использования этих минералов в металлургии.

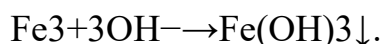
Одним из методов нейтрализации загрязняющих потоков серной кислоты, возникающих на россыпных месторождениях золота, является создание геохимических барьеров, состоящих из известняка. В процессе нейтрализации в

воде появились гидроксид-ионы (OH^-) и карбонат-ионы (CO_3^{2-}), и растворенные металлы теряют свою стабильность. Они переходят в нерастворимые формы и выпадают в осадок. Растворенные в кислой воде катионы металлов (например, двухвалентное железо) реагируют с гидроксид-ионами [1].

Для железа (II):



Для железа (III):



Данный процесс приводит к образованию минералов оксидов железа гематита и гётита. Помимо самого наличия $\text{Fe}(\text{OH})_2$ и $\text{Fe}(\text{OH})_3$, важным фактором является его количество в минералах и количество этих минералов в породе. Этот фактор можно проверить, проведя микрозондовые исследования минералов из шлиховых проб (таблица 1).

Таблица 1

Вещественный состав зёрен минералов железа

	Проба №1	Проба №2	Проба №3
Формула	Соед. %	Соед. %	Соед. %
SiO_2	4,66	4,24	17,75
TiO_2	2,12	0	0
Al_2O_3	6,01	7,44	13,75
Cr_2O_3	0	0	0
Fe_2O_3	88,61	91,1	67,72

Микрозондовые исследования вещественного состава минералов тяжёлой фракции показали среднее содержание $\text{Fe}_2\text{O}_3 \approx 82,48 \%$.

Помимо вещественного состава минералов, нам требуется узнать их количество в тяжёлой фракции пород. Данный фактор можно проверить путём оптического подсчёта минералов в шлихе под бинокулярным микроскопом (таблица 2):

Таблица 2

Минеральный состав шлиховых проб

Минералы содерж %	Проба №1	Проба №2	Проба №3	Проба №4	Проба №5
Гематит	37	52	30	65	72
Гётит	35	22	21	20	18
Ильменит	3	14	18	12	7
Пирит	7	9	4	2	1
Гроссуляр	26	1	25	-	-
Циркон	1	2	1	-	2

Отбор проб происходил вниз по течению в области геохимической аномалии. Минеральный состав тяжелой фракции отложений показывает среднее суммарное содержание минералов железа $\approx 85.2 \%$.

Согласно ГОСТ Р 52939-2008 «Руды железные товарные необогащённые. Общие технические условия», содержание гематита в товарной железной руде должно составлять 31-50 %. Полученное среднее значение (51,2 %) соответствует верхней границе данного диапазона, а с учётом дополнительного содержания гётита (в среднем 23,2 %) общая массовая доля оксидов и гидроксидов железа превышает 74 %, что делает такие отложения технологически привлекательными. [2]

С экономической точки зрения использование таких техногенных образований сулит двойную выгоду. Во-первых, предприятие избавляется от затрат на рекультивацию и длительный мониторинг зон загрязнения, поскольку сам процесс извлечения минералов одновременно выполняет функцию очистки территории. Во-вторых, логистические издержки могут быть снижены за счёт близости отложений к существующим горно-обогастительным комбинатам или транспортным магистралям, что характерно для многих россыпных месторождений, расположенных в обжитых регионах. Не исключено также использование данных минералов в качестве флюсующих добавок при производстве окатышей или в составе шихты для металлургических агрегатов малой мощности, работающих на местном сырье.

Экологический аспект данной технологии заслуживает отдельного внимания. Вместо того чтобы консервировать кислые отходы в хвостохранилищах или разбавлять их до предельно допустимых концентраций, предлагается замкнутый цикл: нейтрализация токсичного потока → осаждение ценных минералов → их извлечение и переработка в чёрный металл. Оставшийся после удаления железосодержащей фракции шликер может быть возвращён в карьерную выработку или использован для засыпки отработанных участков, что минимизирует объём вновь образуемых отходов. Таким образом, предложенное решение органично вписывается в концепцию устойчивого развития и циркулярной экономики, где отходы одного производства становятся ресурсом для другого.

В заключение следует подчеркнуть, что полученные результаты носят предварительный, но обнадеживающий характер. Отложения, сформированные на геохимических барьерах из известняка в зонах влияния пиритсодержащих руд, могут рассматриваться как перспективный источник вторичного железорудного сырья. Среднее содержание оксидов и гидроксидов железа (более 74 %), благоприятный минеральный состав и малое количество вредных примесей обеспечивают технологическую пригодность данных материалов для производства чугуна и стали. Дальнейшие исследования должны быть направлены на опытно-промышленную проверку режимов обогащения и металлургического передела, а также на геолого-экономическую оценку запасов подобных отложений в масштабах конкретных месторождений. Внедрение такой практики позволит одновременно решить экологическую проблему кислотного дренажа и получить дополнительный источник сырья для чёрной металлургии.

Список литературы

1. Харько П.А. Нуреев Р.Р. Пашикевич М.А. Возможность применения геохимических барьеров на основе известняка для очистки подотвальных вод от металлов: Вестник евразийской науки. – 2020. – Т. 12, № 6. – С. 4-8.
2. ГОСТ Р 52939-2008. Руды железные товарные необогащённые. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2009.
3. Дурдымырадов М. Классификация металлов, производство и применение чёрных металлов / М. Дурдымырадов, Т. Сердаров // Вестник науки. 2024. –Т. 4, № 4 (73). – С. 123-130.

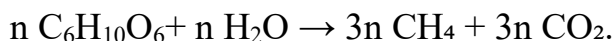
ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ СВАЛОЧНЫХ ГАЗОВ, ВОЗНИКАЮЩИХ НА ПОЛИГОНАХ ТБО, И ИХ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Студент гр. 340651/02 М.А. Кудрявцев,
Научный руководитель В.М. Панарин
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. В статье на основе анализа актуальных российских научных публикаций рассматривается проблема воздействия компонентов свалочного газа на здоровье населения. Детально анализируются химические механизмы токсического действия сероводорода, бензола и других летучих органических соединений, а также данные о рисках для проживающих вблизи полигонов. Отдельный раздел посвящен инженерно-техническим решениям для редевелопмента бывших мусорных полигонов под жилую застройку и анализу современных подходов к мониторингу и дегазации.

Свалочный газ (биогаз) образуется в результате сложных биохимических процессов анаэробного разложения органической фракции отходов, захороненных на полигонах. Хотя его основными компонентами являются метан (CH₄) и диоксид углерода (CO₂), именно микропримеси токсичных соединений представляют наибольшую угрозу для здоровья населения.

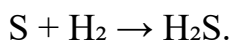
Процесс газообразования может быть описан упрощенным стехиометрическим уравнением разложения органического вещества (в частности, целлюлозы, формула которой может быть представлена как C₆H₁₀O₆):



Это уравнение показывает, как под действием микроорганизмов сложные органические полимеры превращаются в основные компоненты свалочного газа – метан и углекислый газ. Однако помимо них образуется множество токсичных микропримесей [3].

Сероводород (H₂S) является одним из наиболее распространенных и опасных компонентов свалочного газа, занимая до 3 % его объема. Он образуется преимущественно при гниении серосодержащих органических веществ, в

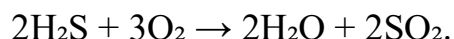
первую очередь пищевых отходов, а также может быть получен в результате прямой реакции серы с водородом в условиях разложения:



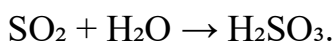
Запах «тухлых яиц», характерный для этого газа, обманчив: при высоких концентрациях сероводород парализует обонятельный нерв, и человек перестает ощущать опасность [7].

Механизм действия. Токсичность сероводорода обусловлена его способностью блокировать фермент цитохромоксидазу в митохондриях, что приводит к нарушению клеточного дыхания и развитию тканевой гипоксии. По механизму действия он напоминает цианиды [1].

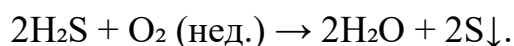
Химические превращения в атмосфере и организме. Сероводород – сильный восстановитель. При попадании в атмосферу и легкие он может окисляться. При достаточном количестве кислорода происходит полное окисление с образованием диоксида серы (сернистого газа):



Диоксид серы (SO_2) – сам по себе токсичный газ, который при контакте со слизистыми оболочками образует сернистую кислоту (H_2SO_3), вызывая сильное раздражение:



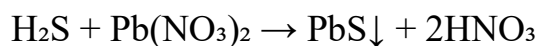
При недостатке кислорода сероводород окисляется не полностью, с выделением элементарной серы:



Клиническая картина отравления. Степень тяжести поражения напрямую зависит от концентрации и длительности воздействия:

- легкое отравление – раздражение глаз и верхних дыхательных путей;
- отравление средней тяжести – тошнота, рвота, головная боль, головокружение;
- тяжелое (острое) отравление – при вдыхании высоких концентраций сероводорода возникает резкое нарушение дыхания вплоть до его остановки, судороги, потеря сознания и кома [5].

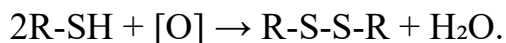
Качественная реакция. Обнаружение сероводорода даже в малых концентрациях возможно с помощью реакции с солями свинца, которая используется в лабораторном анализе воздуха:



Образование черного осадка сульфида свинца (PbS) – не только аналитический признак, но и показатель способности сероводорода реагировать с металлами, в том числе входящими в состав ферментов организма, что и лежит в основе его токсичности [2].

Меркаптаны (тиолы, R-SH) – это серосодержащие органические соединения общей формулы R-SH (где R – углеводородный радикал). Они образуются при разложении серосодержащих аминокислот (метионина,

цистеина) и обладают чрезвычайно резким запахом, ощутимым даже в ничтожных концентрациях (на уровне $1:10^{11}$). Эксперты подчеркивают: «безопасных меркаптанов не бывает» – эти вещества высокотоксичны, поражают центральную нервную систему. Процесс их окислительного детоксикации в организме или окружающей среде может протекать по реакции:



В результате образуются менее токсичные дисульфиды (R-S-S-R), однако в условиях свалочного газа этот процесс идет медленно, и основное воздействие оказывают именно исходные меркаптаны [8].

Свалочный газ содержит сложную смесь летучих органических соединений, многие из которых обладают канцерогенными, мутагенными и нейротоксическими свойствами. При исследовании полигонов идентифицировано около 140-160 различных органических соединений.

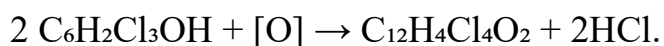
Ароматические углеводороды. Эта группа веществ представляет особую опасность из-за своей устойчивости и способности к биоаккумуляции.

Бензол (C_6H_6) – простейший ароматический углеводород, безусловный канцероген, для которого не существует безопасного порога воздействия. Метаболизм бензола в организме происходит в печени с участием ферментов цитохрома P-450. В ходе многоступенчатого окисления образуются высокореакционноспособные промежуточные продукты (эпоксиды), которые ковалентно связываются с ДНК и белками, вызывая мутации и подавляя кроветворную функцию костного мозга. Конечными продуктами метаболизма являются фенол, катехол, гидрохинон и муконовая кислота, которые выводятся с мочой.

Толуол (C_7H_8) и ксилолы (C_8H_{10}) обладают выраженным нейротоксическим действием. Их метаболизм идет по пути окисления метильной группы с образованием бензойной кислоты (из толуола), которая затем конъюгирует с глицином и выводится в виде гиппуровой кислоты.[6]

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). Эти соединения, такие как бенз(а)пирен, образуются при тлении и неполном сгорании органических отходов, особенно пластиков и синтетических материалов. Международное агентство по изучению рака (IARC) классифицирует бенз(а)пирен как канцероген для человека. Молекула бенз(а)пирена подвергается в организме ферментативному окислению с образованием диолэпоксидов, которые способны прочно встраиваться в структуру ДНК, образуя ДНК-аддукты, что инициирует процесс канцерогенеза [10].

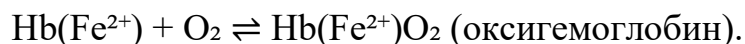
Диоксины и фураны. Наиболее токсичным представителем является 2,3,7,8-тетрахлордибензо-п-диоксин. Эти соединения образуются при сжигании хлорсодержащих материалов (ПВХ, некоторые виды упаковки) в условиях недостатка кислорода. Общая схема образования диоксинов может быть представлена как конденсация двух молекул хлорфенолов:



Диоксины относятся к классу «суперэкоотоксикантов» – кумулятивных ядов. Их молекулы способны точно встраиваться в рецепторы живых организмов (Ah-рецептор), подавляя или извращая их жизненные функции.

Угарный газ (монооксид углерода, CO) образуется при неполном сгорании органических веществ в толще свалки, особенно при тлении пластиков и синтетических материалов. Механизм его токсичности уникален и хорошо изучен на молекулярном уровне [3, 4].

Гемоглобин (Hb) – белок эритроцитов, переносящий кислород. Кислород связывается с двухвалентным железом (Fe^{2+}) гема обратимо:



Угарный газ обладает в 200-300 раз более высоким сродством к гемоглобину, чем кислород. Он также связывается с железом гема, но образует гораздо более прочное соединение – карбоксигемоглобин ($\text{Hb}(\text{Fe}^{2+})\text{CO}$):



Эта реакция практически необратима в физиологических условиях. Связывание CO с гемоглобином блокирует его транспортную функцию:

Уменьшается количество гемоглобина, доступного для переноса кислорода.

Происходит сдвиг кривой диссоциации оксигемоглобина: оставшийся связанный кислород отдается тканям хуже (эффект Холдейна).

В результате даже при нормальном парциальном давлении кислорода в воздухе ткани организма испытывают тяжелое кислородное голодание (гипоксию). При концентрациях CO в воздухе 0,1 % сатурация гемоглобина угарным газом может достигать 60-70 %, что приводит к потере сознания и смерти.

Представленные химические формулы и уравнения реакций наглядно демонстрируют, что токсическое действие свалочных газов имеет под собой строгую молекулярную основу. От образования сероводорода при гниении серосодержащих аминокислот до блокировки клеточного дыхания цианидоподобным действием H_2S и необратимого связывания CO с гемоглобином – каждое из этих воздействий может быть описано языком химических реакций. Понимание этих механизмов на молекулярном уровне подтверждает необходимость строжайшего контроля за эмиссией свалочных газов и недопустимость проживания людей в зоне их влияния.

Список литературы

1. *О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году. Проект Государственного доклада.* – М.: Минприроды России; ООО «Интеллектуальная аналитика»; ФГБУ «Дирекция НТП»; Фонд экологического мониторинга и международного технологического сотрудничества, 2024. – 707 с.

2. Локтионов О.А. Кондратьева О.Е. Юшин В.В. Оценка канцерогенных рисков от выбросов химических веществ полигона твердых коммунальных

отходов // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – Т. 27, № 5. – С. 52-58.

3. Игнатьева Л.П. Гигиеническая оценка окружающей среды в местах размещения полигонов твердых бытовых отходов / Л.П. Игнатьева, М.О. Потапова, Н.В. Корытченкова // Байкальский медицинский журнал. – 2024. – Т. 103, № 2. – С. 124-131.

4. Некрасов Б.В. Основы общей химии: в 2 т. – 3-е изд., испр. и доп. / Б.В. Некрасов. – Москва: Химия, 1973. – Т. 1. – 656 с.

5. Патрушева М.П. Оценка влияния полигонов твердых бытовых отходов на состояние водных объектов на территории московской области / М.П. Патрушева // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2022. – Т. 30, № 3. – С. 287-296.

6. Мозжегорова Ю.В. Оценка системы дегазации полигона тко "Кучино" / Ю.В. Мозжегорова, Н.Н. Слюсарь, Ю.И. Пирогова // Экология и промышленность России. – 2021. – № 7. – С. 28-33.

7. Зайцева Н.В. Методология оценки рисков здоровью населения при воздействии химических, физических и биологических факторов для определения показателей безопасности продукции (товаров) / Н.В. Зайцева, И.В. Май, П.З. Шур, Д.А. Кирьянов // Анализ риска здоровью, 2023. – 328 с.

8. Куценко С.А. Основы токсикологии: учебное пособие / С.А. Куценко. – Санкт-Петербург: Фолиант, 2020. – 416 с.

9. О.В. Долгих Иммунологические и генетические маркеры воздействия ароматических углеводородов на работающих / О.В. Долгих, А.В. Кривцов, А.М. Гугович, Р.А. Харахорина, Д.В. Ланин, Т.С. Лыхина, М.А. Сафонова // Медицина труда и промышленная экология – 2022. – № 8. – С. 32-38.

10. Учебник по токсикологии и медицинской защите в экстремальных ситуациях: Экстремальная биомедицина, 2021. – 512 с.

РАЗРАБОТКА ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕКУЛЬТИВИРУЕМОГО ПОЛИГОНА ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Студент гр.340651/02 А.А. Качалова,
Научный руководитель А.А. Маслова
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. Рекультивируемые полигоны твердых коммунальных отходов продолжают оказывать воздействие на окружающую среду в течение длительного периода после завершения эксплуатации. Существующие системы мониторинга предусматривают контроль отдельных компонентов природной среды, однако не позволяют получить комплексную оценку экологической безопасности объекта. Использование интегрального показателя позволяет повысить эффективность экологического мониторинга и обоснованность управленческих решений на поздних стадиях жизненного цикла полигона.

Полигоны твердых коммунальных отходов относятся к объектам накопленного экологического вреда, воздействие которых сохраняется даже после завершения эксплуатации и проведения рекультивационных мероприятий. Несмотря на изоляцию отходов от окружающей среды, внутри массива полигона продолжают протекать процессы биохимического разложения органических компонентов, сопровождающиеся образованием свалочного газа и фильтрата, а также миграцией загрязняющих веществ в почвы и подземные воды [1, 2].

На этапе постэксплуатационного обслуживания особое значение приобретает экологический мониторинг, позволяющий контролировать состояние компонентов окружающей среды и своевременно выявлять негативные изменения. Согласно существующим подходам, оценка состояния рекультивируемых полигонов основывается на анализе отдельных показателей качества воздуха, подземных вод, почвенного покрова и растительности [3]. Вместе с тем большое количество разрозненных параметров затрудняет получение объективной характеристики экологической безопасности объекта и усложняет процесс принятия управленческих решений.

В отечественной и зарубежной научной литературе широко представлены исследования, посвященные мониторингу отдельных компонентов окружающей среды на территориях полигонов ТКО [4, 5]. Одновременно развивается направление интегральной оценки состояния природно-технических систем, основанное на объединении нескольких критериев в единый индекс [6]. Однако единая методика комплексной оценки экологической безопасности рекультивируемых полигонов ТКО на поздних стадиях жизненного цикла в настоящее время недостаточно разработана.

Анализ результатов исследований, посвященных экологическим последствиям эксплуатации полигонов ТКО, показал, что наибольшее влияние на состояние окружающей среды оказывают пять основных факторов: эмиссия свалочного газа, образование фильтрата, загрязнение подземных вод, загрязнение почвенного покрова и состояние растительности [2, 3, 5]. Указанные показатели характеризуются различными единицами измерения, что исключает возможность их непосредственного сопоставления. Для формирования единого критерия оценки предлагается использовать процедуру нормирования, обеспечивающую перевод всех показателей в безразмерную форму.

Для параметров, увеличение которых приводит к ухудшению экологического состояния объекта, частный коэффициент экологической безопасности определяется отношением нормативного значения к фактическому:

$$K_i = \frac{C_{\text{норм}}}{C_{\text{факт}}}.$$

При значениях, не превышающих нормативные требования, коэффициент принимается равным единице. В случае превышения нормативов значение коэффициента уменьшается пропорционально степени отклонения.

Для показателей, увеличение которых свидетельствует об улучшении экологического состояния территории, применяется обратная зависимость:

$$K_i = \frac{C_{\text{факт}}}{C_{\text{эталон}}},$$

где $C_{\text{эталон}}$ представляет собой значение показателя, соответствующее устойчивому состоянию рекультивированной территории.

В качестве основных критериев экологической безопасности предлагается использовать следующие коэффициенты:

$K_{\text{г}}$ – коэффициент газовой безопасности;

$K_{\text{ф}}$ – коэффициент образования фильтрата;

$K_{\text{в}}$ – коэффициент состояния подземных вод;

$K_{\text{п}}$ – коэффициент состояния почв;

$K_{\text{р}}$ – коэффициент состояния растительности.

Предлагаемый интегральный показатель экологической безопасности основан на принципе взвешенного суммирования нормированных коэффициентов. Весовые коэффициенты определялись с учетом потенциального масштаба экологических последствий, продолжительности воздействия и сложности устранения негативных эффектов. Предлагается исходить из потенциального экологического ущерба.

Подземные воды получают наибольший вес (0,30), поскольку их загрязнение наиболее трудноустранимо и может распространяться за пределы санитарно-защитной зоны полигона. Газовая составляющая получает коэффициент 0,25 вследствие высокой климатической значимости метана и риска его миграции. Образование фильтрата оценивается коэффициентом 0,20, так как именно фильтрат является основным источником загрязнения гидросферы. Состояние почв получает вес 0,15, поскольку почва служит индикатором миграции загрязняющих веществ. Состояние растительности оценивается коэффициентом 0,10 как интегральный показатель успешности биологической рекультивации.

Наибольший вес присвоен состоянию подземных вод, поскольку загрязнение водоносных горизонтов способно распространяться за пределы полигона и сохраняться на протяжении длительного периода времени. Значительный вклад в интегральную оценку также вносит эмиссия свалочного газа, обусловленная парниковым эффектом метана и возможностью его миграции через толщу грунта.

Интегральный показатель экологической безопасности предлагается рассчитывать по формуле:

$$I_{\text{ЭБ}} = 0,30K_{\text{в}} + 0,25K_{\text{г}} + 0,20K_{\text{ф}} + 0,15K_{\text{п}} + 0,10K_{\text{р}},$$

где сумма всех весовых коэффициентов равна единице.

Коэффициент газовой безопасности определяется по результатам мониторинга содержания метана:

$$K_{\text{г}} = \frac{CH_{4\text{доп}}}{CH_{4\text{факт}}},$$

где $CH_{4\text{доп}}$ – допустимая концентрация; $CH_{4\text{факт}}$ – измеренная концентрация.

Коэффициент состояния подземных вод рассчитывается на основании отношения предельно допустимой концентрации приоритетного загрязняющего вещества к его фактическому содержанию:

$$K_v = \frac{ПДК}{C_{факт}}.$$

Аналогичный подход используется при определении коэффициента состояния почв:

$$K_p = \frac{ПДК}{C_{почва}}.$$

Коэффициент образования фильтрата рассчитывается как отношение эталонного объема фильтрата для эффективно рекультивированного полигона к фактическому значению:

$$K_{\phi} = \frac{Q_{эталон}}{Q_{факт}},$$

где $Q_{факт}$ – фактический объем фильтрата; $Q_{эталон}$ – значение для эффективно рекультивированного полигона.

Состояние растительного покрова оценивается по степени проективного покрытия территории:

$$K_p = \frac{P_{факт}}{P_{эталон}},$$

где $P_{факт}$ – проективное покрытие; $P_{эталон}$ – нормативное значение.

Расчет интегрального показателя экологической безопасности основывается на результатах производственного экологического мониторинга рекультивируемого полигона ТКО. В качестве исходных данных используются фактические значения контролируемых параметров, нормативные показатели качества окружающей среды, а также проектные характеристики объекта, предусмотренные документацией по рекультивации.

Фактические значения показателей $C_{факт}$ определяются по результатам инструментальных измерений и лабораторных исследований, выполняемых в рамках мониторинга состояния атмосферного воздуха, подземных вод, почвенного покрова и растительности. Источником данных могут служить протоколы аккредитованных лабораторий, материалы инженерно-экологических изысканий и результаты наблюдений за состоянием полигона.

Нормативные значения $C_{норм}$ принимаются в соответствии с действующими санитарно-гигиеническими и природоохранными требованиями. Для подземных вод и почв в качестве нормативной базы используются предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ, установленные действующими нормативными документами. Для атмосферного воздуха применяются гигиенические нормативы содержания загрязняющих веществ в воздухе населенных мест.

При оценке объемов фильтрата используется эталонное значение $Q_{\text{эталон}}$, соответствующее проектным показателям рекультивированного полигона либо средним значениям, характерным для объектов с исправно функционирующим рекультивационным покрытием. Фактический объем фильтрата $Q_{\text{факт}}$ определяется по данным системы сбора и отвода фильтрационных вод.

Для оценки состояния растительного покрова применяется показатель проективного покрытия территории. Фактическое значение $P_{\text{факт}}$ устанавливается в ходе геоботанических обследований, тогда как эталонное значение $P_{\text{эталон}}$ принимается на основании проекта биологической рекультивации или характеристик устойчивых растительных сообществ, сформированных на аналогичных территориях.

Коэффициент газовой безопасности рассчитывается по данным мониторинга свалочного газа. Фактические концентрации метана определяются в газоотводящих скважинах или контрольных точках наблюдения. Допустимые значения принимаются в соответствии с нормативными требованиями либо проектными параметрами системы дегазации полигона.

Таким образом, все показатели, используемые при расчете интегрального индекса, формируются на основе данных, которые в любом случае должны собираться в рамках стандартной системы экологического мониторинга полигона ТКО. Это обеспечивает практическую применимость предложенной методики без необходимости проведения дополнительных специализированных исследований.

Предлагаемая структура показателя позволяет учитывать как инженерно-технические аспекты функционирования полигона, так и состояние компонентов природной среды, формируя единую количественную характеристику экологической безопасности объекта.

Для практического применения разработана шкала интерпретации результатов, приведенная в таблице.

Шкала интерпретации результатов интегральной оценки

Значение (Iэб)	Состояние полигона
0,80-1,00	Экологически безопасное
0,60-0,79	Допустимое
0,40-0,59	Напряженное
0,20-0,39	Опасное
менее 0,20	Критическое

Предлагаемая методика отличается от традиционных подходов тем, что позволяет перейти от анализа отдельных параметров мониторинга к комплексной оценке экологической безопасности рекультивируемого полигона. Использование интегрального показателя обеспечивает сопоставимость результатов наблюдений, полученных для различных природных сред, и позволяет отслеживать динамику изменения экологического состояния объекта

на протяжении всего постэксплуатационного периода. Показатель может использоваться как инструмент принятия управленческих решений при организации мониторинга рекультивированных полигонов ТКО, выборе природоохранных мероприятий и оценке эффективности выполненной рекультивации. Кроме того, единая шкала оценки обеспечивает возможность сравнения различных объектов между собой независимо от их площади, возраста и морфологического состава отходов.

Список литературы

1. Николаева К.В. Управление отходами производства и потребления: мировой опыт и Российская практика / К.В. Николаева, А.А. Сагдеева, О.Н. Григорьева // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2013. – №20. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-othodami-proizvodstva-i-potrebleniya-mirovoy-opyt-i-rossiyskaya-praktika> (дата обращения: 16.06.2026).
2. Сорока Н.В., Синдирева А.В., Мельников Д.А. Оценка экологической безопасности использования отходов при рекультивации полигонов твердых коммунальных отходов / Н.В. Сорока, А.В. Синдирева, Д.А. Мельников // *Вестник ОмГАУ*. – 2018. – №2 (30). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-ekologicheskoy-bezopasnosti-ispolzovaniya-othodov-pri-rekultivatsii-poligonov-tverdyh-kommunalnyh-othodov> (дата обращения: 16.06.2026).
3. Красноперова С.А. Мониторинг эрозионных процессов и состояния растительного покрова рекультивированного полигона твердых коммунальных отходов / С.А. Красноперова, Е.А. Борисова // *Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. – 2020. – №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/monitoring-erozionnyh-protsessov-i-sostoyaniya-rastitelnogo-pokrova-rekultivirovannogo-poligona-tverdyh-kommunalnyh-othodov> (дата обращения: 16.06.2026).
4. Клеванова Е.С., Харламова М.Д. Полигоны ТКО в Московской области: текущая экологическая ситуация и перспективы рекультивации / Е.С. Клеванова, М.Д. Харламова // *МНИЖ*. – 2016. – №12-1 (54). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/poligony-tko-v-moskovskoy-oblasti-tekuschaya-ekologicheskaya-situatsiya-i-perspektivy-rekultivatsii> (дата обращения: 16.06.2026).
6. Заиканов В.Г. Геоэкологические процессы в городе и оценка их опасности / В.Г. Заиканов, Т.Б. Минакова, Е.В. Булдакова // *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геохронология*. – 2022. – №3. – С. 82-96. URL: https://sciencejournals.ru/view-article/?j=geoekol&y=2022&v=0&n=3&a=Geo_Ekol2203010Zaikanov&ysclid=mqgpa51wt5633315143 (дата обращения: 16.06.2026).

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ ВЫПУСКА СТОЧНЫХ ВОД: ИНТЕГРАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Студент гр. 340641/01 К.С. Соловьева,
Научный руководитель Е.М. Рылеева
Тульский государственный университет,
г. Тула

***Аннотация.** В статье рассматривается проблема противоречия между требованиями экологического законодательства к частоте контроля сбросов сточных вод и нормами охраны труда, запрещающими нахождение персонала в опасных зонах при ручном отборе проб. Предложена концепция автоматизированной системы оперативного контроля (АСОК) выпуска сточных вод как инструмента интеграции требований промышленной и экологической безопасности. На основе экспериментальных данных по предприятиям Тульской области показана высокая степень загрязнения водных объектов и неприемлемый уровень профессиональных рисков при традиционных методах контроля. Обоснована архитектура АСОК, включающая функции непрерывного мониторинга параметров стоков, газового анализа в рабочей зоне, автоматического реагирования и дистанционного управления. Практическая значимость решения заключается в снижении класса условий труда на участках контроля сточных вод с вредного (3.2) до допустимого (2), а также в минимизации риска аварийных ситуаций.*

Современные промышленные предприятия, в частности машиностроительные, сталкиваются с необходимостью одновременного соблюдения строгих экологических нормативов и требований по обеспечению безопасности персонала. С одной стороны, действующее законодательство (в частности, Федеральный закон № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», Постановление Правительства РФ № 262) предписывает непрерывный или высокочастотный контроль сбросов загрязняющих веществ [1], [2] особенно для объектов I категории негативного воздействия. С другой стороны, Трудовой кодекс РФ и Приказ Минтруда № 772н устанавливают жёсткие требования к охране труда при работах в замкнутых пространствах [3], [4] (колодцах, насосных станциях), где традиционно осуществляется отбор проб сточных вод.

Это противоречие особенно остро проявляется на предприятиях машиностроительной отрасли, где сточные воды содержат широкий спектр токсичных веществ (ионы тяжёлых металлов, нефтепродукты, кислоты и щёлочи), а условия отбора проб сопряжены с воздействием химических, физических и биологических факторов. В таких условиях ручной контроль не только создаёт угрозу здоровью и жизни работников, но и не обеспечивает необходимой оперативности выявления залповых сбросов.

Целью данной статьи является обоснование необходимости и описание принципов построения автоматизированной системы оперативного контроля (АСОК) выпуска сточных вод, интегрирующей функции экологического мониторинга и защиты персонала. В работе использованы результаты

экспериментальных исследований качества поверхностных вод в зоне влияния трёх промышленных предприятий Тульской области, а также количественная оценка профессиональных рисков персонала при традиционных методах контроля.

Анализ проблемы: конфликт требований и риски персонала

Нормативно-правовая база и её противоречия

Требования к контролю сточных вод закреплены в нескольких ключевых документах:

- Федеральный закон № 7-ФЗ (ст. 67) обязывает объекты I категории оснащать стационарные источники сбросов автоматическими средствами измерения и учёта показателей сбросов.

- Постановление Правительства РФ № 262 регламентирует создание и эксплуатацию систем автоматического контроля, определяя перечень контролируемых параметров и порядок передачи данных.

- Трудовой кодекс РФ (ст. 214) возлагает на работодателя обязанность по обеспечению безопасных условий труда [3], включая минимизацию воздействия вредных и опасных факторов.

- Приказ Минтруда № 772н относит работы в колодцах и замкнутых пространствах к работам повышенной опасности [4], требующим оформления наряда-допуска, применения газоанализаторов и средств индивидуальной защиты.

На практике эти требования вступают в противоречие: экологическое законодательство требует высокой частоты контроля (вплоть до непрерывного), тогда как нормы охраны труда предписывают минимизировать присутствие персонала в опасных зонах. Это создаёт ситуацию, когда либо нарушается экологическое законодательство (из-за недостаточной частоты контроля), либо ставится под угрозу безопасность работников (при частых спусках в колодцы для отбора проб).

Состав сточных вод и опасности для персонала

Сточные воды машиностроительных предприятий характеризуются сложным и нестабильным составом. Согласно справочнику НДТ ИТС 8-2015, они могут содержать:

- ионы тяжёлых металлов (хром, никель, медь, цинк) – до 500 мг/л;
- нефтепродукты и эмульгированные масла – до 1000 мг/л [5];
- взвешенные вещества – до 2000 мг/л;
- кислоты и щёлочи (рН от 2 до 12);
- органические растворители – до 200 мг/л.

При ручном отборе проб персонал подвергается воздействию этих веществ через органы дыхания (аэрозоли, пары), кожные покровы и слизистые оболочки. Кроме того, присутствуют физические опасности: электрический ток, работа на высоте, шум, повышенная влажность, а также биологические риски (патогенные микроорганизмы).

Количественная оценка профессиональных рисков, проведённая на примере МУП «Водоканал» г. Новомосковска за 2020-2024 гг., показала, что

операция ручного отбора проб из колодца имеет неприемлемо высокий уровень риска ($R=0,24$), что в 24 раза превышает приемлемый уровень ($R_{пр}=0,01$). Основными причинами являются загазованность (сероводород, метан), риск падения с высоты и ограниченное пространство.

Экспериментальные данные: загрязнение водных объектов и риски контроля

Для обоснования необходимости внедрения АСОК были проведены экспериментальные исследования на трёх предприятиях Тульской области: Черепетской ГРЭС, ООО «Сток-Транзит» и АО «Плава». Отбор проб осуществлялся в контрольных створах выше и ниже мест сброса сточных вод согласно ГОСТ Р 70282-2022 и ГОСТ Р 59024-2020 [6], [7].

Результаты анализа показали систематическое превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) для водных объектов рыбохозяйственного значения по ряду показателей:

- фосфат-ионы – до 78,2 ПДК;
- аммоний-ион – до 10,74 ПДК;
- нитрит-ионы – до 9,5 ПДК;
- нефтепродукты – до 21,34 ПДК.

Особенно тревожной является динамика загрязнения: в фоновых точках (выше по течению от сброса) также наблюдается рост концентраций, что может свидетельствовать о наличии неучтённых источников загрязнения или о накоплении загрязняющих веществ в донных отложениях.

С точки зрения охраны труда, наиболее опасной является зона смешения (0,5 км ниже выпуска), где персонал чаще всего отбирает пробы. Даже после разбавления стоков вода в этой зоне содержит опасные концентрации загрязнителей, создавая угрозу для здоровья работников при регулярном контакте.

Автоматизированная система оперативного контроля (АСОК): архитектура и функции

Для разрешения выявленного противоречия предлагается внедрение АСОК, которая объединяет функции экологического мониторинга и обеспечения безопасности персонала. Основные компоненты системы:

1. Датчики контроля параметров сточных вод: pH, ХПК, содержание тяжёлых металлов, нефтепродуктов, взвешенных веществ и др.

2. Газоанализаторы для непрерывного контроля концентрации опасных газов (H_2S , CH_4) в воздухе рабочей зоны.

3. Система видеонаблюдения для визуального контроля состояния оборудования и предотвращения несанкционированного доступа.

4. Контроллеры и программное обеспечение для обработки данных, формирования аварийных сигналов и автоматического реагирования.

5. Средства связи для передачи данных в централизованные системы управления и государственные реестры.

6. Механизмы автоматического реагирования: отключение сбросных устройств, включение вентиляции, оповещение персонала.

Архитектура АСОК предусматривает интеграцию с существующими системами управления предприятием (АСУ ТП) и возможность дистанционного обслуживания, что минимизирует необходимость присутствия персонала в опасных зонах.

Ключевыми преимуществами АСОК являются:

- непрерывный контроль параметров без ручного отбора проб;
- своевременное выявление залповых сбросов и автоматическое реагирование;
- снижение профессиональных рисков за счёт минимизации контакта персонала с опасными веществами;
- соответствие требованиям экологического и трудового законодательства.

Оценка эффективности АСОК

Внедрение АСОК позволяет достичь следующих результатов:

- Снижение профессиональных рисков: уровень риска при дистанционной калибровке датчиков оценивается как $R=0,0009$, что соответствует приемлемому уровню. Это означает снижение риска в 267 раз по сравнению с ручным отбором проб из колодца.
- Улучшение качества экологического контроля: непрерывный мониторинг обеспечивает оперативное выявление отклонений и минимизацию экологических ущербов.
- Оптимизация производственных процессов: автоматизация контроля снижает нагрузку на персонал и позволяет перераспределить ресурсы на другие задачи.
- Соответствие нормативным требованиям: система обеспечивает выполнение требований ФЗ № 7, Постановления № 262 и норм охраны труда [1], [2], [3].

Расчёт ожидаемого снижения риска проводится по методике, основанной на формуле $R=P \times C$, где P – вероятность неблагоприятного события, C – тяжесть последствий. При внедрении АСОК вероятность инцидентов снижается за счёт исключения опасных операций, а тяжесть последствий – за счёт автоматического реагирования на аварийные ситуации.

Таким образом, проблема интеграции требований промышленной и экологической безопасности на машиностроительных предприятиях остаётся крайне актуальной. Существующие методы контроля сточных вод не обеспечивают необходимого уровня защиты персонала и не соответствуют современным экологическим стандартам. Внедрение автоматизированной системы оперативного контроля (АСОК) позволяет разрешить это противоречие, обеспечив непрерывный мониторинг параметров стоков и минимизировав риски для работников.

Экспериментальные данные подтверждают высокую степень загрязнения поверхностных вод и неприемлемый уровень профессиональных рисков при традиционных методах контроля. Предложенная архитектура АСОК включает все необходимые компоненты для комплексного решения задачи: от датчиков и

газоанализаторов до механизмов автоматического реагирования и средств связи.

Практическая значимость работы заключается в разработке рекомендаций по проектированию и внедрению АСОК на машиностроительных предприятиях, что позволит снизить класс условий труда на участках контроля сточных вод и обеспечить соответствие требованиям действующего законодательства. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию алгоритмов автоматического реагирования и интеграцию АСОК с системами предиктивной аналитики для прогнозирования аварийных ситуаций.

Список литературы

1. *Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».*
2. *Постановление Правительства РФ № 262.*
3. *Трудовой кодекс Российской Федерации.*
4. *Приказ Минтруда России № 772н.*
5. *ИТС 8-2015 «Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях».*
6. *ГОСТ Р 70282-2022 «Охрана природы. Гидросфера. Качество воды. Общие требования к отбору проб».*
7. *ГОСТ Р 59024-2020 «Вода. Общие требования к отбору проб».*

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРРИТОРИЙ РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫХ ПОЛИГОНОВ ТКО КАК СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ

Студент гр. 340651/02 И.А. Ерёмчев,
Научный руководитель В.М. Панарин
Тульский государственный университет,
г. Тула

***Аннотация.** Рекультивация полигонов твердых коммунальных отходов – это лишь первый этап возвращения нарушенных земель в хозяйственный оборот. Однако даже после формального завершения работ территория бывшего полигона остается сложной техно-природной системой. Она характеризуется неоднородностью, многофакторностью воздействия, длительными латентными процессами и неопределенностью. Оценка экологических рисков на таких объектах требует отказа от линейных моделей и перехода к системному анализу, учитывающему взаимодействие биохимических, геологических и антропогенных факторов.*

Необходимо рассматривать полигон ТКО как сложную систему, так как территория рекультивированного полигона обладает признаками сложной системы:

- многокомпонентность – включает техногенное тело (свалочный грунт), рекультивационные слои (почва, глина, геомембраны), грунтовые воды, атмосферный воздух и биоту;

- неоднородность (гетерогенность) – внутри массива отходов одновременно протекают аэробные и анаэробные процессы, существуют зоны с разной проницаемостью и концентрацией загрязнителей;
- нестационарность – свойства системы меняются во времени (усадка грунта, деградация барьеров, эволюция биогаза) в течение 30-50 лет;
- эмерджентность – риски для здоровья или экосистемы не сводятся к сумме рисков по отдельным загрязнителям (например, синергетический эффект тяжелых металлов и микропластика).

Источников опасности на рекультивированных полигонах имеют свою специфику. Главная особенность заключается в том, что тело полигона продолжает быть источником эмиссии даже после рекультивации:

- биогаз (метан, CO_2) образуется десятилетиями, создавая риск взрывов, парникового эффекта и угнетения корневых систем растений;
- фильтрат (стоки) может активизироваться после нарушений гидроизоляции или при изменении гидрологического режима;
- неравномерная осадка тела полигона ведет к образованию провалов, разрыву защитных экранов и выносу загрязнителей на поверхность;
- трансформация отходов – со временем в теле полигона могут образовываться новые токсичные соединения (например, диоксины при тлении).

Таким образом, в отличие от промышленной площадки, здесь нет «статичного» источника – система эволюционирует.

Традиционные методики (например, US EPA или отечественные СанПиН) ориентированы на точечные источники. Для полигона как системы необходимо применять интегральные и динамические модели (см.п.3.3).

К этапам оценки риска относят:

- идентификация опасностей (переход от простого перечня к построению графа причинно-следственных связей: «просадка → разрыв мембраны → миграция фильтрата → загрязнение водоносного горизонта»);
- оценка доза-эффект (учет кумулятивного и комбинированного действия поллютантов);
- оценка экспозиции (учет путей миграции: не только прямой контакт, но и биотранслокация через растения и почвенную фауну);
- характеристика риска (ранжирование сценариев: рекреационное использование, строительство, сельское хозяйство).

Ключевыми инструментами оценки рисков являются:

- геоинформационные системы (ГИС) – для пространственного анализа зон риска (горячие точки выбросов метана);
- моделирование фильтрации (HELP, MODFLOW) – для прогноза поведения фильтрата;
- анализ дерева отказов (FTA) – для оценки вероятности отказов барьеров.

Для разных видов использования существуют особенности оценки риска. Каждый целевой сценарий накладывает свои требования к системе «полигон-среда» (таблица).

Сложность системы порождает высокую степень неопределенности:

- первичная неопределенность – неполнота данных о составе отходов (захоронения прошлых лет);
- временная неопределенность – трудно предсказать, когда разрушится защитный слой;
- поведенческая неопределенность – риск связан не только с «железом», но и с действиями людей (например, несанкционированное бурение скважин) [1].

Особенности оценки риска для разных видов использования

Вид использования	Основные опасности	Особенности оценки риска
Зеленая зона / парк	Накопление метана в корнеобитаемом слое, контакт с почвой	Акцент на газовой опасности (пожар/взрыв) и миграции загрязнителей в растения
Промышленное строительство	Неравномерная осадка, агрессивная среда	Риск техногенной аварии (обрушение, коррозия)
Сельское хозяйство	Тяжелые металлы, органические ксенобиотики, патогены	Модели «почва-растение-животное-человек»; долгосрочный мониторинг

Для учета этого применяют вероятностные методы (Монте-Карло) и байесовские сети, что нетипично для стандартной экологической экспертизы.

Оценка экологического риска для рекультивированного полигона как сложной системы требует:

- постоянного мониторинга (датчики газа, пьезометры, дистанционное зондирование), а не разовых измерений;
- адаптивного управления – в зависимости от того, как система «ведет себя» спустя 5, 10, 20 лет;
- отказа от жесткого нормирования (ПДК) в пользу вероятностных показателей (индекс опасности, уровень приемлемого риска) [2].

Рекультивированный полигон ТКО нельзя рассматривать как пассивный объект. Это динамичная, саморазвивающаяся система, где техногенные и природные факторы взаимосвязаны. Оценка риска для последующего использования должна быть системной, многосценарной и учитывать стохастичность процессов. Только такой подход позволяет минимизировать угрозу здоровью людей и экологии при повторном вовлечении этих земель в хозяйственный оборот.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-24-20012, <https://rscf.ru/project/25-24-20012/>, а также по соглашению о предоставлении из бюджета Тульской области гранта в форме субсидий №30-2025-000524 от 03.04.2025.

Список литературы

1. Кравцова М.В. Оценка техногенного риска технически сложных производственных объектов машиностроения / М.В. Кравцова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14, № 1-3. – С. 877-884.

2. Кравцова М.В. Повышение эксплуатационной устойчивости сложных технических систем / М.В. Кравцова, А.И. Евсеев // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2011. – № 4. – С. 67-70.

МЕТОДЫ ПРЕДИКТИВНОЙ ОЦЕНКИ ТИПА ЗАГРЯЗНИТЕЛЯ В ВОДОЕМЕ НА ОСНОВЕ КОРРЕЛЯЦИИ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Аспирант гр. аОТиОС/2.8.6-24 А.О. Савин,
Научный руководитель В.М. Панарин
Тульский государственный университет,
г. Тула

***Аннотация.** В статье представлены методы предиктивной оценки типа загрязнителя в водных объектах, основанный на анализе корреляционных паттернов гидрохимических параметров (температура, рН, окислительно-восстановительный потенциал, электропроводность, растворённый кислород). Проведён обзор современных мировых исследований в области идентификации источников загрязнения водных объектов с применением методов машинного обучения.*

Проблема идентификации источников и типов загрязнения водных объектов является одной из наиболее актуальных задач современной экологии и природопользования. Согласно данным Организации Объединённых Наций, более половины стран мира столкнулись с деградацией пресноводных экосистем, включая реки и озёра. Традиционные подходы к оценке качества воды, основанные на сравнении измеренных значений с предельно допустимыми концентрациями (ПДК), обладают существенными ограничениями: они не позволяют идентифицировать тип загрязнителя, не учитывают сложные взаимосвязи между гидрохимическими параметрами и не обеспечивают возможности раннего предупреждения.

В последние годы наблюдается активное развитие методов, основанных на анализе корреляционных структур многомерных гидрохимических данных. Как показано в работе Wang et al. (2024), анализ межкорреляционных карт качества воды позволяет выявить закономерности и аномальные флуктуации сбросов загрязняющих веществ [1]. Исследования в бассейне реки Ханьцзян продемонстрировали, что комбинирование алгоритма ассоциативных правил Apriori и нейросетей долгой краткосрочной памяти (LSTM) позволяет идентифицировать основные источники загрязнения и прогнозировать динамику изменения качества воды с высокой точностью ($R^2 > 0,9$) [2].

Особый интерес представляет концепция «химического профилирования» (chemical forensics), направленная на идентификацию источников загрязнения без априорного задания целевых показателей. В рамках этого подхода разрабатываются многомерные ряды идентификации точечных источников загрязнения на основе матриц корреляции качества воды (WQ-CCM).

Обзор современных исследований в области идентификации типов загрязнения водных объектов направлен на выбор подходящей модели, в разрабатываемой многопараметрической информационно-измерительной системе, способной при наличии пяти гидрохимических параметрах сохранять высокую точность прогнозирования, не менее 85-90 %.

Традиционные методы идентификации источников загрязнения водных объектов включают инвентаризацию источников, транспортно-диффузионные модели, рецепторные модели и изотопное трассирование. Однако, как отмечается в обзоре, применение – методов в сложных средах, характеризующихся пространственно-временной неоднородностью качества воды, аддитивными эффектами загрязнителей и нелинейной динамикой переноса, сталкивается с существенными ограничениями. В связи с этим предлагаются «кастомизированные» технические решения, основанные на композитных рамках: рецепторно-модельных и ML-ориентированных.

Методы машинного обучения для классификации качества воды описаны в работе Mallick et al. (2024) разработаны оптимизированные модели машинного обучения для комплексной оценки качества воды, включая деревья решений, случайный лес (Random Forest) и корреляционный анализ для отбора признаков, критически важных для идентификации параметров качества воды [3]. Наиболее эффективными оказались модели случайного леса и глубоких нейронных сетей, показавшие $R^2 = 0,96$ и $0,97$ соответственно на тестовых данных. Интерпретация моделей с помощью объяснимого искусственного интеллекта (XAI) позволила выявить ключевые параметры, влияющие на прогнозы индекса качества воды (WQI): нитраты, общая жёсткость и pH. Исследования в бассейне реки Сунгари (Китай) продемонстрировали эффективность ансамблевых методов: предложенная модель ElasticForest, объединяющая нелинейную обучающую способность Random Forest с регуляризационной силой ElasticNet, достигла высокой точности прогнозирования WQI ($R^2 = 0,978$ для ледового периода и $R^2 = 0,989$ для влажного периода) [4]. Кластерный анализ позволил выделить два репрезентативных гидрологических периода с различными паттернами загрязнения.

В критическом обзоре применения машинного обучения в управлении качеством воды, опубликованном в Journal of Cleaner Production (2024), систематизированы применения машинного обучения в управлении качеством питьевой воды, включая прогнозирование качества воды, обнаружение аномалий и идентификацию источников загрязнения [5]. Отмечается, что изменения одного или нескольких суррогатных параметров качества воды, измеряемых недорогими датчиками, могут эффективно указывать на аномальные события. Для идентификации источников загрязнения ML демонстрирует превосходство

в быстром и точном определении местоположения источников. В качестве ключевых проблем внедрения ML выделены доступность наборов данных, интерпретируемость, способность к обобщению, интегрированные модели, реагирование в реальном времени и проактивное принятие решений.

Сравнительный анализ современных подходов на основе проведённого обзора для наглядности составлен в сводную таблицу, отражающую современное состояние исследований в области идентификации типов загрязнения водных объектов (таблица).

Сравнительный анализ современных методов идентификации загрязнения водных объектов

Метод / Подход	Область применения	Ключевые параметры	Точность
Apriori + LSTM	Бассейн р. Дахэй (Китай)	БПК, ХПК, Но _{бц} , Ро _{бц} , NH ₄ ⁺	85,9-89,1%
ElasticForest	Бассейн р. Сунгари (Китай)	WQI, T, осадки	R ² = 0,978-0,989
RF, GBM, DNN	Саудовская Аравия	WQI, NO ₃ ⁻ , pH, жесткость	R ² = 0,96-0,97
PCA-APCS-MLR	г.Санья (Китай)	DOM, EEM-PARAFAC, FT-ICR MS	R ² > 0,82

Анализ таблицы показывает, что увеличенное количество измеряемых параметров приводит к снижению эффективной точности метода, но напротив, снижение количества параметров сужает вариативность предсказываемых событий или загрязнителей. Таким образом, разрабатываемая мной информационно-измерительная система при использовании метода на основе ансамбля SOM + LDA имеющего набор из 5 гидрохимических показателей (температура, pH, окислительно-восстановительный потенциал, электропроводность, растворённый кислород), может иметь достаточную вариативность определяемых загрязнителей, не имея большой просадки в эффективности, что обеспечивает его практическую применимость в полевых условиях с использованием автономных датчиков и может быть рекомендована для внедрения в системы экологического контроля промышленных предприятий и природоохранных организаций.

Список литературы

1. Wang J. Identification of pollution source and prediction of water quality based on deep learning techniques / J. Wang [et al.] // *Journal of Contaminant Hydrology*. – 2024. DOI: 10.1016/j.jconhyd.2023.104283
2. Han X. Data-driven identification of pollution sources and water quality prediction using Apriori and LSTM models: A case study in the Hanjiang River basin / X. Han [et al.] // *Journal of Hydrology*. – 2025. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2025.130075

3. Mallick J. Interpreting optimised data-driven solution with explainable artificial intelligence (XAI) for water quality assessment for better decision-making in pollution management / J. Mallick [et al.] // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2024. DOI: 10.1007/s11356-024-33921-7

4. Dan Zhong Climate-responsive assessment of surface water quality in Songhua River using ensemble learning and multivariate analysis / Dan Zhong [et al.] // *Journal of Water Process Engineering*. – 2025. – Vol. 77. DOI: 10.1016/j.jwpe.2025.108342

5. Zhaopeng Li Applications of machine learning in drinking water quality management: A critical review on water distribution system / Li Zhaopeng [et al.] // *Journal of Cleaner Production*. – 2024. – Vol. 481. DOI: 10.1016/j.jclepro.2024.144171

ЭНЕРГИЯ И ЧИСТЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ОБЗОР ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ СПЛАВОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Студентка гр. ЭЖД.1-24-1 А.Е. Гурулева,
Научный руководитель к.б.н., доцент Е.А. Корякина
Забайкальского института железнодорожного транспорта – филиала
ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения»,
г. Чита

Аннотация. Сплавы нового поколения представляют собой материалы, обладающие улучшенными физическими и механическими свойствами, которые обеспечивают их применение в различных отраслях, включая авиацию, автомобилестроение и медицинскую технику. Исследования в этой области направлены на создание экологически чистых и экономически выгодных материалов, способствующих высокой производительности и снижению затрат на эксплуатацию.

Ключевые слова: металлы, сплавы, экологически чистые технологии.

В настоящее время известно более 5 тысяч различных сплавов. Практически во всех сферах человеческой деятельности используют не чистые металлы, а их сплавы, так как свойства чистых металлов, как правило, не соответствуют необходимым требованиям. Самые разнообразные свойства материалов можно получить, если добавлять в определённом количестве примеси других металлов и неметаллов. По сравнению с исходным металлом сплав может быть механически прочнее и твёрже, устойчивее к коррозии, со значительно более высокой или низкой температурой плавления, практически не менять своих размеров при нагревании или охлаждении, устойчивее к высоким температурам.

Рассмотрим современные исследования новых сплавов. Исследователи из Национального института материаловедения в Японии разработали полимероподобный сверхвысокопрочный металлический сплав из титана и никеля. Ранее проведённые эксперименты показали, что этот сплав обладает уникальными свойствами, такими как сильное растяжение при сохранении своей новой формы. При нагреве сплав также способен возвращаться в исходное состояние, однако данная особенность проявлялась только в узком температурном диапазоне.

Японские ученые разработали метод, позволяющий получать сплав, который демонстрирует растяжимость и прочность в широком диапазоне температур. На первом этапе сплав был растянут на 50 %, затем нагрет до 300 °С, после чего его еще раз растянули на 12 %. В результате материал стал устойчив к давлению, приблизительно в 18 000 раз превышающему нормальное атмосферное давление. Прочность сплава сопоставима со сталью, а его гибкость увеличилась в 20 раз после обработки. [2]

Исследование японских ученых открывает значительные перспективы для использования этого сплава, который может стать ключевым материалом для самолетов, меняющие свои формы.

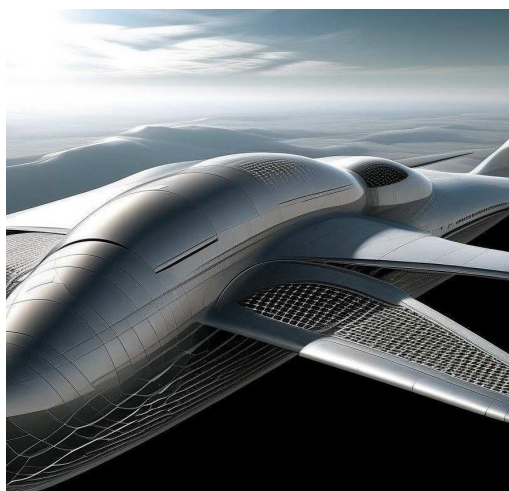


Рис. 1. Пример сконструированного самолета, меняющего свою форму

Пока не удалось создать такие самолеты, так как существующие сплавы не обеспечивают нужный баланс прочности и гибкости для высокой энергоэффективности и скорости без риска для пассажиров. Таким образом может расширяться применение титана в авиации, включая диски и лопатки компрессоров газотурбинных двигателей, элементы крепления и шасси. Кроме того, инновационный сплав может найти применение в медицине, например, для изготовления искусственных мышц и протезов. [1,2]

Другой новый стальной сплав разработан командой специалистов из Южной Кореи под руководством Хансу Кима (Hansoo Kim) из Университета науки и технологии Пхохана. Этот сплав состоит из смеси амальгамы стали, алюминия, углерода, марганца и никеля. Помимо того, что новый материал прочный и лёгкий, он ещё и обещает быть недорогим и легко доступным,

поскольку для его изготовления применяются распространённые полезные ископаемые.

Сплав обладает таким же коэффициентом удельной прочности, что и титан. Для того чтобы сделать сплав легче, учёные добавили в него алюминий, а никель был включён для уменьшения хрупкости сплава. Никель взаимодействует с алюминием, образуя двумерные кристаллы размером всего несколько нанометров.

Эти кристаллы устойчивы к сдвигу и предотвращают ломкость материала под серьёзными нагрузками, что также снижает риск образования и роста микротрещин, обеспечивая невероятную прочность. Формирование этих кристаллов было подтверждено с помощью электронного микроскопа. [3]

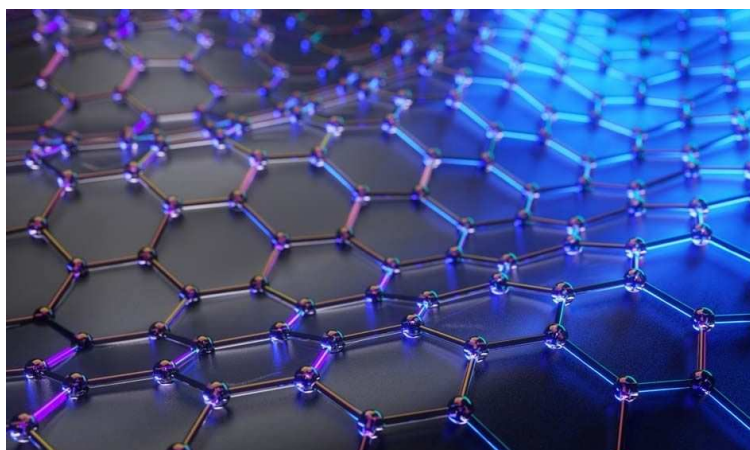


Рис. 2. Двумерные кристаллы

Исследователи рассчитывают на то, что новая технология быстро займёт своё место в массовом производстве и пригодится для промышленности, строительства и машиностроения.

В нашей стране так же ведутся научные разработки новых сплавов. Группа ученых из НИТУ МИСИС создала материал, который сочетает в себе высокую прочность, термостойкость и экономическую эффективность. Новый сплав основывается на комбинации алюминия, меди, кальция и кремния, и представляет собой альтернативу существующим промышленным сплавам. Процесс его создания включает в себя тщательно разработанную методику плавления и обработку компонентов. Материал проходит высокотемпературную обработку в течение нескольких часов, что приводит к образованию уникальной структуры с нерастворимыми кристаллами, содержащими кальций и кремний. Эти кристаллические включения улучшают механические свойства сплава, создавая оптимальное сочетание прочности и пластичности. Основное преимущество разработки заключается в отказе от дорогостоящих добавок, редкоземельных металлов и никеля, что значительно снижает производственные затраты. [1,5]

Исследования показали, что после отжига при 400°C сплав с 1 % кальция оказывается прочнее на 50 % традиционного сплава 2219. В новом материале специальная термическая обработка упрощена за счёт образования наночастиц

непосредственно из литой структуры, что устраняет необходимость в дополнительной обработке. [5]

Ожидается, что этот инновационный сплав поможет продлить срок службы поршневых и авиационных двигателей, топливных баков, структурных компонентов аэрокосмических аппаратов.

Коллектив ученых Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ) смоделировал и доказал высокую износоустойчивость нового сплава из пяти металлов. Совместно с коллегами из Ирана, Великобритании, Китая, Объединенных Арабских Эмиратов результаты исследования были опубликованы в международном журнале *Colloids and Surfaces A*. Сплав с таким составом предлагается впервые и, по мнению учёных, может стать оптимальным по соотношению цены, твердости и износостойкости. [1,6]

Создание нового сплава оказалось сложной задачей, так как требовалось успешно объединить компоненты при сохранении их характеристик. Моделирование различных вариантов показало, что лучший состав включает, где на железо и никель приходится 65 %, 15 % приходится на хром, обеспечивающий антикоррозийные свойства, еще 10 % на марганец, и также 10 % на ниобий.

Этот инновационный материал позволит создавать технику, более устойчивую к внешним воздействиям, чем изделия из существующих сплавов, без увеличения их себестоимости. Изделия из этого сплава могут использоваться в авиации и машиностроении, так как они демонстрируют стойкость к агрессивным средам и экстремальным температурам. [6]

И все-таки, интересный вопрос: каким должен быть сплав будущего – лёгкий или прочный, твёрдый или пластичный. Однозначно ответить на этот вопрос невозможно, ведь, в первую очередь, материал должен быть востребован, а какими будут его качества – отдельная тема. В перспективе появятся инновационные сплавы, обладающие уникальными свойствами и характеристиками. Хотя на сегодня известен целый список востребованных сплавов и соединений, который состоит из металлов прошлого, настоящего, и, вероятнее всего, будет пользоваться спросом и в будущем.

Список литературы

1. *Сплавы нового поколения от российских и японских ученых* [Электронный ресурс] URL: <https://profholod.ru/press/news/publikatsii/splavy-novogo-pokoleniya-ot-rossiyskih-i-yaponskih-uchenyh/>

2. *Создан сверхпрочный и гибкий сплав для самолетов, которые смогут менять форму* [Электронный ресурс] URL: <https://hightech.fm/2024/09/06/flexible-alloy>

3. *Новый стальной сплав оказался прочнее титана* [Электронный ресурс] URL: <https://smotrim.ru/article/1323772>

4. *Современные металлы и сплавы* [Электронный ресурс] URL: https://megavtogal.com/metall/sovremennye-metally-i-splavy.html?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F

5. Российские металлурги создали кальций-алюминиевый сплав для авиадвигателей [Электронный ресурс] URL: <https://planet-today.ru/novosti/tekhnologii/item/170790-rossijskie-metallurgi-sozdali-kaltsij-alyuminievyj-splav-dlya-aviadvigatelej>

6. Разработан сплав из пяти металлов для авиации и машиностроения [Электронный ресурс] URL: https://nauka.tass.ru/nauka/21643613?utm_source=profholod.ru&utm_medium=referral&utm_campaign=profholod.ru&utm_referrer=profholod.ru

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА В СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА (СУОТ) В СТРОИТЕЛЬНОЙ КОМПАНИИ ООО «ВЕЛЕССТРОЙ-СМУ»

Студент гр. ЗМ 5104 М.А. Жарникова,
Научный руководитель Б.С. Шапхаев

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,
г. Улан-Удэ

***Аннотация.** В статье рассматриваются ключевые проблемы внедрения риск-ориентированного подхода в систему управления охраной труда строительной компании ООО «Велесстрой-СМУ», включая организационные, кадровые и нормативные барьеры. На основе анализа динамики показателей за 2023-2025 гг. обоснована необходимость комплексного подхода, сочетающего цифровизацию процессов СУОТ, обучение персонала и формирование проактивной культуры безопасности.*

***Ключевые слова:** риск-ориентированный подход, система управления охраной труда, строительная компания, оценка профессиональных рисков, безопасность труда, цифровизация СУОТ.*

Внедрение риск-ориентированной модели в систему управления охраной труда на строительных предприятиях сопряжено с комплексом трудностей, обусловленных отраслевой спецификой, регуляторными ограничениями, а также организационно-кадровыми аспектами.

Одной из ключевых особенностей строительного производства выступает высокая изменчивость технологических процессов. Условия на площадке трансформируются практически ежедневно: переход от земляных работ к монтажу перекрытий, от отделочных операций к пусконаладочным мероприятиям требует постоянного пересмотра профиля опасностей. Подобная динамика предполагает необходимость регулярного обновления реестров рисков и оперативной корректировки оценочных карт. Однако на практике обеспечить такую гибкость и скорость реагирования удается далеко не всем организациям.

Методика оценки, способная адаптироваться к меняющимся условиям, остается скорее нормативным требованием, чем реально работающим инструментом [1].

Длительное время процедура оценки профессиональных рисков в строительной сфере воспринималась многими участниками как формальная административная обязанность. Специалисты нередко ограничивались использованием типовых карт, заимствованных из открытых источников, без привязки к фактической ситуации на конкретном объекте. Такой подход приводил к расхождению между документально зафиксированными рисками и реальными угрозами на производственной площадке. Современные проверочные мероприятия смещают акцент с наличия пакета документов на адекватность применяемых мер контроля. Инспекторы теперь оценивают, насколько выявленные в ходе оценки риски коррелируют с фактическими профилактическими мероприятиями [3].

Дефицит компетентных кадров представляет собой еще один существенный барьер на пути реализации риск-ориентированного подхода. Для качественной идентификации, анализа и минимизации рисков требуются сотрудники, владеющие современными методами оценки, включая цифровые платформы и аналитические инструменты. Однако в строительной отрасли сохраняется устойчивая нехватка специалистов соответствующего профиля. Это затрудняет внедрение передовых практик управления безопасностью и снижает эффективность превентивных мер [6].

Интеграция риск-ориентированных принципов в действующие управленческие процессы также вызывает определенные сложности. Данный подход должен стать системообразующим элементом СУОТ, определяющим содержание программ обучения, порядок оформления нарядов-допусков, критерии выбора средств индивидуальной защиты. На практике же меры по управлению рисками зачастую внедряются фрагментарно. Они не всегда находят отражение в локальных нормативных актах, должностных инструкциях и других регламентирующих документах организации. Подобная разрозненность снижает целостность системы и ограничивает потенциал профилактического воздействия [7].

Еще одним существенным аспектом, осложняющим внедрение риск-ориентированных практик, выступает недостаточная проработанность вопросов документационного обеспечения. Любое мероприятие, направленное на минимизацию выявленных рисков, предполагает обязательную фиксацию в соответствующих регистрах и последующий контроль исполнения. Однако во многих строительных организациях отсутствует отлаженная система систематизированного ведения подобной документации, что создает препятствия для проведения внутреннего аудита и оценки эффективности принятых мер. Переход на электронные форматы документооборота, способный частично решить данную проблему, требует дополнительных финансовых вложений, а также времени на обучение персонала. В условиях ограниченных ресурсов такие инвестиции нередко откладываются, что консервирует существующие пробелы в прослеживаемости управленческих решений [5].

Для применения количественных методов оценки рисков необходима надежная эмпирическая база: статистика производственных инцидентов, данные о параметрах рабочей среды, информация о частоте и тяжести травматизма. В строительной отрасли сбор и систематизация таких сведений часто осуществляются фрагментарно, что ограничивает возможности аналитической работы. Отсутствие репрезентативных данных вынуждает специалистов опираться на экспертные оценки и качественные методы, которые, при всей их ценности, не всегда обеспечивают достаточную точность для принятия обоснованных управленческих решений. Подобная ситуация снижает предиктивный потенциал системы управления охраной труда и затрудняет прогнозирование потенциальных угроз [2].

Организационные барьеры дополняются факторами человеческого сопротивления. Значительная часть руководителей и линейных сотрудников воспринимает риск-ориентированный подход как формальное усложнение рабочих процедур, а не как действенный инструмент профилактики. Интуитивные модели управления, основанные на личном опыте и реактивном реагировании на инциденты, продолжают доминировать в практике многих строительных компаний. Недостаточное понимание преимуществ системного риск-менеджмента, а также опасения, связанные с увеличением административной нагрузки, формируют устойчивое неприятие инноваций. Преодоление такого рода установок требует целенаправленной разъяснительной работы, демонстрации практической ценности новых подходов и постепенного вовлечения персонала в процессы идентификации и контроля рисков [6].

Нормативно-правовое регулирование, несмотря на наличие базовых документов (Приказ Минтруда № 776н, Правила по охране труда при строительстве № 883н), также создает определенные сложности. Динамика изменений в законодательстве предполагает необходимость постоянного мониторинга и оперативной адаптации локальных актов организации. Кроме того, отраслевые стандарты, такие как СТО НОСТРОЙ 8.1.2-2023, требуют творческого применения с учетом специфики конкретного предприятия, его масштабов и технологических особенностей. Механическое заимствование типовых решений без адаптации к реальным условиям нередко приводит к формальному соответствию при фактической неэффективности внедряемых механизмов [3].

Внедрение риск-ориентированных принципов в систему управления охраной труда в ООО «Велесстрой-СМУ» (г. Новороссийск) происходит в условиях, характерных для крупных строительных холдингов, работающих с объектами повышенной опасности. Компания, являющаяся частью ГК «Велесстрой», реализует проекты в нефтегазовом и промышленном секторах, где производственные процессы сопряжены с многофакторными угрозами для персонала. Подобная отраслевая специфика предопределяет необходимость применения более строгих и детализированных подходов к идентификации и контролю рисков. Однако практическая реализация данных требований

сталкивается с рядом организационных и ресурсных ограничений, типичных для строительной отрасли в целом [1].

Одним из наиболее острых вопросов выступает нехватка компетентных специалистов в области охраны труда, способных работать с современными методиками риск-анализа. Существующий кадровый состав не всегда обладает достаточной квалификацией для проведения качественной оценки профессиональных рисков, особенно с использованием цифровых инструментов и аналитических платформ. Это приводит к тому, что процедуры идентификации опасностей нередко выполняются формально, без глубокой проработки производственных сценариев. В условиях многопрофильной деятельности компании, охватывающей как общестроительные, так и специализированные монтажные работы, подобный дефицит кадрового потенциала существенно снижает эффективность профилактических мер [6].

Интеграция риск-менеджмента в текущие операционные процессы также представляет собой методическую и организационную сложность. Риск-ориентированный подход должен пронизывать все этапы производственного цикла: от планирования работ и выдачи нарядов-допусков до контроля за применением средств индивидуальной защиты. На практике же элементы управления рисками часто внедряются точечно, без системной увязки с действующими регламентами и технологическими картами. Подобная фрагментарность ограничивает возможности превентивного воздействия и снижает уровень прогнозируемости производственных ситуаций [3].

Ограниченность финансовых ресурсов, направляемых на модернизацию средств индивидуальной защиты, создает дополнительные барьеры. Даже при корректной идентификации рисков и разработке адекватных мер контроля их реализация может быть затруднена из-за бюджетных ограничений. В результате персонал продолжает использовать СИЗ, не в полной мере соответствующие актуальным профилям опасностей, что нивелирует эффект от проведенной оценочной работы. Особенно актуально это для объектов нефтегазовой инфраструктуры, где требования к экипировке работников существенно выше средних отраслевых стандартов [7].

Наконец, значимым фактором, тормозящим трансформацию СУОТ, остается сопротивление персонала организационным изменениям. Многие сотрудники, включая линейных руководителей, воспринимают новые процедуры как бюрократическую нагрузку, не приносящую практической пользы. Интуитивные модели принятия решений, основанные на личном опыте, продолжают доминировать над системными подходами к управлению безопасностью. Формирование культуры риск-ориентированного мышления требует времени, последовательной разъяснительной работы и демонстрации реальных преимуществ нового подхода, что в условиях сжатых производственных графиков реализуется с определенными трудностями [4].

Динамика показателей СУОТ в ООО «Велесстрой-СМУ»

Год	Выявленные риски	Внедренные меры	Инциденты
2023	47	12	8
2024	52	28	5
2025	39	35	3

Несмотря на наблюдаемую положительную динамику, выражающуюся в сокращении числа производственных инцидентов на 62 % за отчетный период, процесс внедрения риск-ориентированного подхода в ООО «Велесстрой-СМУ» продолжает сталкиваться с рядом системных барьеров. К их числу относятся необходимость организации непрерывного обучения персонала, адаптация унифицированных методик оценки рисков к специфике строительно-монтажных операций, а также интеграция разрозненных массивов данных в единую цифровую экосистему предприятия. Для обеспечения устойчивости внедряемых практик требуется не только административная поддержка со стороны высшего руководства, но и целевые инвестиции в цифровую трансформацию СУОТ – внедрение мобильных чек-листов, автоматизированных реестров рисков и аналитических панелей мониторинга [6].

Формирование проактивной культуры безопасности на всех управленческих уровнях представляет собой не менее значимую задачу. Только при условии, что управление рисками станет неотъемлемой частью повседневной профессиональной деятельности, а не формальным требованием, возможно достижение долгосрочных результатов в области профилактики травматизма. Комплексный подход, объединяющий организационные, кадровые и технологические компоненты, позволяет не только минимизировать производственные угрозы, но и гарантировать соответствие деятельности предприятия актуальным нормативным требованиям Российской Федерации в сфере охраны труда [3].

Отдельного внимания заслуживает проблема учета новых категорий рисков, возникающих под влиянием внешних и внутренних факторов. Цифровизация строительной отрасли, императивы устойчивого развития (ESG), санкционные ограничения и ужесточение экологических стандартов формируют новый профиль угроз, который не всегда находит отражение в традиционных системах управления. Существующие методики оценки, ориентированные преимущественно на технические и организационные риски, требуют расширения и адаптации к меняющемуся контексту [1].

Для преодоления обозначенных трудностей целесообразно реализовать комплекс взаимосвязанных мер. Прежде всего, рекомендуется создать междисциплинарную рабочую группу с участием специалистов по охране труда, производителей работ, механиков и представителей трудовых коллективов – такой формат обеспечивает более полную и точную идентификацию опасностей с учетом практического опыта. Регулярный пересмотр реестров рисков, привязанный к изменениям в технологиях, оборудовании и производственных условиях, позволяет поддерживать актуальность оценочных данных и своевременно корректировать профилактические мероприятия [7].

Важным направлением выступает развитие компетенций персонала в области риск-ориентированного управления. Обучение должно охватывать не только теоретические основы, но и практические навыки работы с цифровыми инструментами: информационным моделированием (BIM), системами поддержки принятия решений, элементами машинного анализа данных. Параллельно необходимо обеспечить интеграцию риск-менеджмента во все контуры СУОТ – от планирования производственных задач и организации обучения до закупок средств индивидуальной защиты и проведения внутренних аудитов [2].

Совершенствование методического аппарата оценки рисков предполагает переход к гибридным моделям, сочетающим экспертные суждения, количественные расчеты и алгоритмы интеллектуального анализа. Такой подход повышает точность прогнозирования и позволяет учитывать как измеряемые параметры, так и трудноформализуемые факторы производственной среды. Внедрение системы электронного документооборота с использованием квалифицированной электронной подписи, в свою очередь, упрощает процедуры контроля, обеспечивает прослеживаемость управленческих решений и снижает административную нагрузку на персонал [5].

Наконец, ключевым условием успешной трансформации остается целенаправленное формирование культуры безопасности, в которой управление рисками воспринимается как естественная часть профессиональной ответственности. Это требует последовательной коммуникации, вовлечения сотрудников в процессы улучшения и демонстрации практической ценности превентивных мер. Только при сочетании организационных изменений, инвестиций в человеческий капитал, адаптации нормативной базы и внедрения современных технологий риск-ориентированный подход может стать действенным инструментом обеспечения производственной безопасности в строительной отрасли [4].

Список литературы

1. Аль-Згуль И.Х. Проблемы и перспективы риск-ориентированного управления объектом строительства: обзор современных исследований / И.Х. Аль-Згуль, С.Г. Шеина, Н.Е. Морозова // *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. – 2025. – № 3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-i-perspektivy-risk-orientirovannogo-upravleniya-obektom-stroitelstva-obzor-sovremennyh-issledovaniy> (дата обращения: 26.05.2026). – Текст: электронный.

2. Бязров С.Б. Риск-ориентированный подход к обеспечению строительного контроля / С.Б. Бязров, З.П. Чочиев, Х.А. Тобоев // *Инициативы молодых – науке и производству: сборник статей VIII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и студентов (Пенза, 25-26 ноября 2024 г.)*. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2024. – С. 169-173.

3. Лapidус А.А. Формирование контрольных требований на основе риск-ориентированного подхода при государственном строительном надзоре за

объектами гражданского строительства / А.А. Ланидус, А.А. Еремина // *Строительное производство*. – 2025. – № 4. – URL: <https://naukaru.ru/ru/nauka/article/106281/view> (дата обращения: 26.05.2026). – Текст: электронный.

4. Проблемы и перспективы риск-ориентированного управления объектом строительства: обзор современных исследований [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.stsg-donstu.ru/jour/article/view/218> (дата обращения: 26.05.2026). – Текст: электронный.

5. Развитие методики внутреннего контроля в строительных организациях на основе риск-ориентированного подхода [Электронный ресурс]. – Режим доступа: по материалам научной публикации.

6. Романенко А.И. Совершенствование системы управления охраной труда с целью повышения безопасности в строительной отрасли / А.И. Романенко, В.В. Тараканова // *Дельта науки*. – 2025. – № 1. – С. 23-27.

7. Управление профессиональными рисками в строительстве [Электронный ресурс] // *Professional Olymp*. – 2026. – URL: <https://professional-olimp.ru/publications/?publicationID=308> (дата обращения: 26.05.2026). – Текст: электронный.

ИНТЕГРАЦИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ РЕСУРСОВ В СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА НА ПРИМЕРЕ ПРОГРАММЫ «КОТ»

Студент группы МБЖ-251 К.В. Круглова,

Научный руководитель А.С. Едаменко

Белгородский государственный технологический университет им В.Г. Шухова,
г. Белгород

Аннотация. В статье рассматривается интеграция электронных ресурсов в систему управления охраной труда на примере программы «КОТ». Анализируются возможности автоматизации процессов охраны труда, включая учёт документации, контроль мероприятий и управление профессиональными рисками. Показано, что использование программы способствует повышению эффективности управления, сокращению временных затрат и обеспечению соблюдения требований законодательства. Сделан вывод о значимости цифровых технологий для совершенствования системы управления охраной труда.

Ключевые слова: охрана труда, цифровизация, электронные ресурсы, программа «КОТ», автоматизация, управление профессиональными рисками.

В настоящее время промышленное производство функционирует в условиях усиления федерального нормативно-правового регулирования в области охраны труда, что находит отражение в последних законодательных инициативах. В связи с этим ключевым трендом становится цифровая трансформация охраны труда, основанная на внедрении платформ для автоматизированного контроля и мониторинга.

Целью данной работы является формирование и внедрение оптимизированной модели интеграции электронных ресурсов в систему

управления охраной труда, сформированной на основе комплексного анализа возможностей программы «КОТ».

Рассматриваемая платформа является специализированным инструментом, объединяющим базы локальных нормативных актов, данные по инцидентам и методики оценки рисков. Программа «КОТ» ориентирована на минимизацию профессиональных рисков посредством формирования согласованного взаимодействия цифровых компонентов системы, что обеспечивает устранение фрагментарности данных и способствует повышению качества управленческих решений [1].

Программа «КОТ» реализует комплексную автоматизацию процессов управления охраной труда за счёт специализированных инструментов. Ключевой функционал включает автоматизированное планирование инструктажей с возможностью формирования графиков и уведомлений участников. Система также обеспечивает контроль сроков обучения и медицинских осмотров персонала посредством интеграции календарного планирования с базами данных сотрудников. Важным компонентом является ведение электронных журналов учёта, заменяющее традиционные бумажные носители и повышающее точность фиксации данных [2].

Архитектурное решение программы «КОТ» основано на трёх взаимосвязанных компонентах электронных ресурсов, обеспечивающих реализацию её функциональных задач. Центральное место в системе занимают базы данных нормативно-правовой информации, аккумулирующие актуальные требования трудового законодательства и отраслевые регламенты в области охраны труда [3]. Использование электронных форм и шаблонов документов способствует автоматизации подготовки обязательной документации, включая инструкции, приказы и журналы учёта. Интеграционные модули, взаимодействующие с кадровыми учетными системами, обеспечивают актуализацию и согласованность данных о работниках, в том числе сведений о прохождении медицинских осмотров и обучения.

Для внедрения оптимизированной модели интеграции электронных ресурсов необходимы конкретные технические требования, включающие интеграционные шлюзы, защищенные каналы передачи данных и резервирование систем. Интеграционные шлюзы должны поддерживать стандарты обмена данными и обеспечивать преобразование форматов для совместимости между модулями и внешними ресурсами. Защищенные каналы передачи данных должны реализовывать современные методы шифрования и аутентификации для защиты персональной и производственной информации при передаче. Резервирование систем и процедуры восстановления обеспечат высокий уровень доступности сервисов и непрерывность функционирования системы управления охраной труда [4].

Организационные меры по внедрению модели включают адаптацию регламентов, обучение персонала и четкое распределение зон ответственности. Программы обучения должны охватывать эксплуатацию системы, требования к обработке электронных ресурсов и действия при инцидентах информационной

безопасности. Ясное распределение ролей и регулярные проверки соответствия обеспечат согласованность технических средств и управленческих процедур при эксплуатации программы «КОТ».

Формирование критериев оценки эффективности интеграции начинается с выделения количественных показателей оперативности обработки данных о производственных рисках в системе «КОТ». Ключевые показатели включают время обнаружения и регистрации инцидента, время обработки и анализа данных, а также время генерации предупреждений и рекомендаций для оперативного реагирования [5]. Практическая реализация этих критериев требует определения контрольных порогов по задержке передачи данных, частоте обновления мониторинговых показателей и уровню полноты зарегистрированных событий. В критериях также учитываются показатели качества данных, такие как доля корректно классифицированных рисков и уровень пропущенных инцидентов, что позволяет оценить надежность алгоритмов обработки. Оценка должна включать сопоставление фактических временных показателей с установленными стандартами и оценку влияния улучшений оперативности на снижение социальных и экономических последствий.

Структура критериев включает параметры, оценивающие степень автоматизации документооборота, такие как доля электронных актов, скорость согласования и доступность актуальных нормативных документов в системе «КОТ». Важным компонентом является измерение снижения временных затрат на контроль соблюдения нормативов: среднее время подготовки инспекционного отчета, время реакции на несоответствия и частота повторных проверок [6]. Комбинация этих параметров позволяет количественно оценить эффект от внедрения цифровых инструментов на административную нагрузку и на оперативность контроля, а также установить взаимосвязь с показателями оперативной обработки данных.

Выполненный анализ программы «КОТ» показал её существенные возможности в области автоматизации базовых процессов управления охраной труда.

Предлагаемая модель интеграции электронных ресурсов ориентирована на формирование единого информационного пространства, обеспечивающего согласование баз данных об инструкциях, профессиональных рисков и производственных инцидентах. Реализация централизованной платформы позволяет автоматизировать процессы мониторинга и повысить оперативность реагирования на потенциально опасные ситуации. Тем самым устраняются ключевые ограничения традиционных систем управления охраной труда.

Список литературы

1. Едаменко А.С. Анализ причин травматизма в строительном комплексе / А.С. Едаменко // *Технические науки - от теории к практике*. – 2013. – № 26. – С. 177-181. – EDN RCWSPZ.
2. Гаврилов Д.В. Совершенствование и развитие системы обучения охране

труда / Д.В. Гаврилов, Н.Н. Чарышева, А.Ф. Павлов // Вестник НЦ ВостНИИ. – 2020. – №4. – С. 41-45.

3. Гаранин Н.А. Охрана труда при проведении электрических измерений на предприятиях тепло- и электроснабжения / Н.А. Гаранин, М.О. Лабастов, М.С. Жиликов // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. – 2024. – №9. – С. 18-21.

4. Рябов С.В. Цифровые решения для управления безопасностью и охраной труда: трансформация ERG в Казахстане / С.В. Рябов // Научно-практический журнал. – 2024. – №1. – С. 37-39.

5. Федосов А.В. Возможность применения результатов неразрушающего контроля для оценки профессиональных рисков в системе управления охраной труда / А.В. Федосов, Н.Х. Абдрахманов, А.С. Гусева и др. // Безопасность техногенных и природных систем. – 2022. – №1. – С. 4-8.

6. Ширко О.А. Разработка программных средств для автоматизации процесса мониторинга и анализа данных, поступающих в мониторинговый центр оператора системы безопасности / О.А. Ширко, И.С. Османов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2024. – №4. – С. 62-70.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБСТАНОВКИ НА ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОМ ОБЪЕКТЕ ПРИ АТАКЕ БПЛА

Студент направления подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность

М.А. Легкая,

Научный руководитель к.х.н, доцент М.А. Бровкина
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет»,
г. Краснодар

Аннотация. В работе проведен анализ современных угроз, связанных с применением беспилотных летательных аппаратов против объектов топливно-энергетического комплекса. На основе статистических данных смоделированы сценарии развития аварийных ситуаций при разрушении резервуара с легковоспламеняющейся жидкостью. Представлены результаты расчета поражающих факторов, таких как тепловое излучение от пожара пролива, и количественной оценки индивидуального, потенциального и коллективного рисков. Предложен комплекс организационных и инженерно-технических мероприятий для минимизации рисков, а также выполнен прогноз пожарной обстановки и расчет необходимых сил и средств для ликвидации возможных последствий.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, пожаро-взрывоопасный объект, резервуарный парк, пожар пролива, анализ рисков, дерево событий.

Существенное расширение функционального предназначения беспилотных авиационных систем, обусловленное изменением геополитической обстановки, вызывает потребность в изучении данных высокотехнологичных изделий в качестве орудий совершения преступлений. Доступность, относительная дешевизна и простота управления делают беспилотные

летательные аппараты (далее – БПЛА) привлекательным оружием для террористических групп. Особую опасность они представляют для объектов критической инфраструктуры, в первую очередь для пожаро-взрывоопасных объектов (далее – ПВОО), таких как нефтебазы, нефтеперерабатывающие заводы (далее – НПЗ) и склады горюче-смазочных материалов [1]. Анализ 44 аварий на НПЗ за последние 3 года демонстрирует системный кризис в защите инфраструктуры.

В качестве объекта исследования был выбран резервуарный парк с резервуарами вертикальными стальными (далее – РВС) объемом 1000 м^3 , предназначенными для хранения бензина. Иницилирующим событием является разрушение резервуара вследствие атаки БПЛА. С использованием логико-графического метода «Дерево событий» были разработаны сценарии развития чрезвычайной ситуации (далее – ЧС) и рассчитаны частоты реализации этих событий [2]. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1
Частота реализации опасного события

Событие	Взрыв газовой воздушной облака	Мгновенное воспламенение пролива ЛВЖ с последующим термическим поражением	Взрыв ЛВЖ с последующим поражением ударной волной	Проникновение в грунт и воду с последующим химическим поражением
Разрушение технического устройства	$0,33 \cdot 10^{-2}$	$4,85 \cdot 10^{-2}$	$0,97 \cdot 10^{-2}$	$0,65 \cdot 10^{-2}$

Для наиболее вероятного сценария – пожар пролива – был произведен расчет интенсивности теплового излучения в соответствии с ГОСТ Р 12.3.047-2012 [3]. В ходе расчета были определены радиусы поражения человека. Безопасное расстояние для человека в спецодежде составит 106 м, зона поражения – 89 м.

На основании полученных значений с учетом вероятности нахождения людей в зоне поражения были рассчитаны количественные показатели риска [4]. Результаты показали, что зона поражения попадает в зону повышенного риска, результаты представлены в таблице 2.

Это подтверждает необходимость принятия дополнительных мер по минимизации рисков. Предлагается провести комплекс мер как организационных (разработка планов и регламентов безопасности, проведение тренировок, анализ уязвимости) так и инженерно-технических (установка систем контроля, средств активной и пассивной защиты от БПЛА).

Также был выполнен прогноз пожарной обстановки [5]. При беспрепятственном развитии пожара за 27 минут площадь пожара может составить 722 м^2 [6]. Для его тушения требуемый расход огнетушащего вещества составит 65,1 л/с, для чего потребуется 54 лафетных ствола. Обеспечить

требуемый объем подачи огнетушащего вещества на один РВС-1000 может 3 пожарные машины.

Таблица 2

Оценка риска аварии на ПВОО при пожаре пролива

Расстояние, м	Потенциальный риск, 1/год	Индивидуальный риск, 1/год	Число человек в зоне N, шт	Ср. инд. риск, 1/год	Коллективный риск, чел/год	Зона риска
65	$3,4 \cdot 10^{-3}$	$4,2 \cdot 10^{-5}$	2	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$9,9 \cdot 10^{-2}$	Повышенного риска
60	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	1			
55	$3,2 \cdot 10^{-2}$	$4,1 \cdot 10^{-4}$	1			
50	$4,5 \cdot 10^{-2}$	$5,6 \cdot 10^{-4}$	1			

Для ликвидации ЧС при разливе 1000 м³ бензина количество спасателей не должно быть менее 12, из них аттестованных на ликвидацию разливов нефти и нефтепродуктов – 9 человек [7].

Проведенное исследование показывает, что угроза со стороны БПЛА требует фундаментального пересмотра подходов к защите критической инфраструктуры. Применение логико-графических методов и современных методик оценки рисков позволяет своевременно идентифицировать наиболее опасные сценарии и количественно оценить их последствия. Реализация предложенных мероприятий позволит повысить устойчивость ПВОО и минимизировать ущерб для жизни и здоровья людей, а также окружающей среды.

Список литературы

1. ФЗ №256 «О безопасности объектов топливно-энергетического комплекса».
2. ГОСТ Р 54142-2010 «Менеджмент рисков. Руководство по применению организационных мер безопасности и оценки рисков. Методология построения универсального дерева событий».
3. ГОСТ Р 12.3.047-2012 «Пожарная безопасность технических процессов».
4. Приказ МЧС России от 26.06.2024 № 533 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах».
5. Парфененко А.П. Пожарная тактика / Парфененко А.П. – Москва, 2020. – 41 с.

6. ФЗ №123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

7. Постановление Правительства РФ от 16.12.2020 № 2124 «Об утверждении требований к составу и оснащению аварийно-спасательных служб и (или) аварийно-спасательных формирований, участвующих в осуществлении мероприятий по ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов».

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММЫ 1С В ОБЛАСТИ ОХРАНЫ ТРУДА

Студент группы МБЖ-251 К.В. Круглова,
Научный руководитель А.С. Едаменко

Белгородский государственный технологический университет им В.Г. Шухова,
г. Белгород

Аннотация. В статье рассматриваются особенности внедрения и использования программного обеспечения 1С в сфере охраны труда как инструмента цифровизации управленческих процессов на предприятии. Исследуются возможности системы по автоматизации учета мероприятий по охране труда, планированию обучения и инструктажей персонала, контролю сроков проведения медицинских осмотров и обеспечению своевременного формирования необходимой отчетности. Отмечается, что применение программных решений 1С способствует повышению эффективности работы специалистов по охране труда, снижению вероятности ошибок при ведении документации и усилению контроля за соблюдением требований законодательства. На основании проведенного анализа сделан вывод о том, что использование платформы 1С позволяет оптимизировать процессы управления охраной труда и повысить уровень безопасности трудовой деятельности на предприятии.

Ключевые слова: охрана труда, программное обеспечение 1С, автоматизация, цифровизация, управление персоналом, производственная безопасность, учет мероприятий, контроль соблюдения требований.

В настоящее время цифровизация является одним из ключевых направлений развития предприятий, оказывая значительное влияние на организацию рабочих процессов. В связи с этим традиционный бумажный документооборот постепенно заменяется электронными системами, которые обеспечивают более эффективное хранение, обработку и передачу информации. Данные преобразования затрагивают и сферу охраны труда, где ведение документации играет важную роль в обеспечении безопасных условий трудовой деятельности.

Одним из наиболее востребованных инструментов для ведения электронного документооборота в сфере охраны труда является программа 1С [1]. Её использование позволяет отказаться от значительной части бумажной документации и перевести основные процессы в электронный формат.

С помощью программы можно вести учёт инструктажей, обучения и проверки знаний работников, контролировать сроки проведения медицинских осмотров, выдачи средств индивидуальной защиты и других обязательных

мероприятий [2]. Кроме того, система обеспечивает удобное хранение информации, быстрый поиск необходимых документов и автоматическое формирование отчетности. Применение 1С не только упрощает работу специалистов по охране труда, но и повышает эффективность контроля за соблюдением требований законодательства и внутреннего порядка на предприятии.

Более подробно в данной статье рассмотрим, как вести учёт инструктажей по охране труда, отслеживать прохождение медицинских осмотров и обучения по охране труда и выдача средств индивидуальной защиты. Также оценим плюсы и минусы использования программы 1С в области охраны труда

Учёт инструктажей по охране труда в программе 1С осуществляется путём формирования единой электронной базы данных работников и регистрации всех видов инструктажей, предусмотренных законодательством [3]. Перед началом работы в систему вносятся сведения о сотрудниках организации: фамилия, имя, отчество, должность, структурное подразделение, дата приема на работу и другие необходимые данные. Это позволяет закрепить за каждым работником информацию о проведенных мероприятиях по охране труда.

В программе можно вести учёт вводного, первичного на рабочем месте, повторного, внепланового и целевого инструктажей. При проведении инструктажа специалист по охране труда создает соответствующую запись, в которой указывается дата проведения, вид инструктажа, основание его проведения, данные работника и лица, проводившего инструктаж. Вся информация сохраняется в электронной базе и при необходимости может быть быстро найдена и использована.

Программа 1С позволяет контролировать периодичность проведения инструктажей. На установленных сроках программа может автоматически формировать список работников, которым необходимо пройти очередной повторный инструктаж, что помогает избежать нарушение требований законодательства по охране труда [4]. При приеме нового сотрудника 1С также позволяет отследить необходимость проведения вводного и первичного инструктажей до начала самостоятельной работы.

Дополнительным преимуществом программы является возможность формирования различных отчетов и журналов учета инструктажей [4]. На основании внесенных данных автоматически создаются документы, содержащие сведения о проведенных мероприятиях, количестве проинструктированных работников и сроках проведения последующих инструктажей. Это существенно сокращает время на подготовку отчетности и упрощает проведение внутренних проверок и внешнего контроля.

Также немаловажной функцией программы 1С является учёт и контроль обучения работников по охране труда. В системе можно хранить сведения о пройденном обучении, проверки знаний и сроках их повторного проведения. Для каждого сотрудника создается электронная карточка, в которой фиксируются даты обучения, вид программы и данные подтверждающих документов [4].

После внесения информации о пройденном обучении и установленной

периодичности его проведения система автоматически рассчитывает дату следующего обучения. При приближении установленного срока специалист по охране труда или ответственное лицо может получить информацию о сотрудниках, которым необходимо пройти очередное обучение или проверку знаний. Для этого в программе формируются соответствующие списки и отчеты, позволяющие своевременно организовать необходимые мероприятия.

Помимо обучения работников, программа 1С аналогичным способом обеспечивает учет и контроль прохождения обязательных медицинских осмотров.

Что касается средств индивидуальной защиты, то процесс выдачи и учета ведется практически аналогично. В программе 1С для каждого сотрудника можно определить перечень положенных средств индивидуальной защиты с учётом занимаемой должности, профессии и условий труда [4]. После выдачи СИЗ в систему вносятся сведения о наименовании выданных средств, их количестве, дате выдачи и сроке эксплуатации.

На основании внесенных данных специалист по охране труда может контролировать обеспеченность работников средствами индивидуальной защиты и отслеживать сроки их замены. При необходимости программа позволяет сформировать списки сотрудников, которым требуется повторная выдача СИЗ, а также подготовить необходимую документацию и отчётность. Кроме того, в системе сохраняется история выдачи средств индивидуальной защиты каждому работнику, что упрощает контроль и поиск необходимой информации.

Использование программы 1С в области охраны труда имеет ряд преимуществ и недостатков, которые следует учитывать при внедрении данной системы на предприятии.

К основным преимуществам можно отнести автоматизацию процессов учета и хранения информации, а также систематизация данных о работниках и мероприятиях по охране труда.

Несмотря на имеющиеся преимущества, использование программы 1С имеет некоторые недостатки. Для эффективной работы с системой требуется первоначальная настройка и внесение большого объема информации о работниках и мероприятиях по охране труда. В отдельных случаях возникает необходимость доработки системы под особенности конкретного предприятия, что связано с дополнительными затратами времени и финансовых ресурсов [5].

Однако существующие недостатки в основном связаны с процессом внедрения и адаптации системы и компенсируются преимуществами, которые организация получает в ходе ее дальнейшей эксплуатации.

Использование программы 1С в области охраны труда является одним из эффективных направлений цифровизации деятельности современных предприятий. Применение данной системы позволяет автоматизировать ведение документации.

Внедрение программы 1С способствует сокращению бумажного документооборота, упорядочению информации и повышению эффективности

работы специалистов по охране труда. Благодаря централизованному хранению данных и возможности формирования отчетности снижается вероятность ошибок и упрощается контроль за соблюдением требований законодательства по охране труда.

Несмотря на необходимость первоначальной настройки системы и обучения персонала работе с программой, преимущества ее использования значительно превышают существующие недостатки. В связи с этим применение программных продуктов 1С можно рассматривать, как перспективный инструмент совершенствования СУОТ на предприятии.

Список литературы

1. Грянина Е.А., Змиевская С.Г. *Секреты профессиональной работы с «1С:Зарплата и управление персоналом 8», редакция 3.* – М.: 1С-Публишинг, 2021. – 1001 с.
2. 1С:Предприятие 8. Конфигурация «Производственная безопасность. Охрана труда». *Руководство пользователя [Электронный ресурс]* URL: <https://its.1c.ru/db/prombezoht2/>
3. 1С:Производственная безопасность. Охрана труда [Электронный ресурс] URL: https://1sab.ru/product/ehs_ocsaf
4. Методические материалы по охране труда с использованием решений 1С [Электронный ресурс] URL: <https://v8.1c.ru/metod/tag-okhrana-truda/>
5. Раздорожный А.А. *Охрана труда и производственная безопасность: учебно-методическое пособие / А.А. Раздорожный.* – М.: Экзамен, 2005. – 512 с.

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ТРУДА РАБОТНИКОВ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ В БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Студент гр. МБЖ-251 С.А. Фаустова,
Студент гр. МБЖ-251 К.В. Круглова,
Студент гр. МБЖ-251 Е.А. Калинина,
Научный руководитель А.Ю. Семейкин

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород

Аннотация. В статье проанализированы условия труда работников дорожно-строительной отрасли в Белгородской области. Выявлены основные вредные и опасные факторы (шум, вибрация, запылённость, температурные воздействия, риски из-за близости транспорта и др.), оценён уровень травматизма и его причины.

Развитие транспортной инфраструктуры является одним из ключевых направлений социально-экономического развития регионов Российской Федерации. Значительную роль в этом процессе играет дорожное строительство, обеспечивающее транспортную доступность территорий и безопасность

дорожного движения. Вместе с тем деятельность дорожно-строительных организаций сопровождается значительным количеством производственных рисков, поскольку выполнение работ осуществляется в условиях воздействия комплекса вредных и опасных факторов производственной среды.

Строительная отрасль относится к числу наиболее травмоопасных сфер деятельности, что обусловлено использованием тяжелой техники, выполнением работ вблизи транспортных потоков, высокой интенсивностью труда и влиянием неблагоприятных климатических условий. Поэтому обеспечение безопасных условий труда работников дорожного строительства является одной из важнейших задач охраны труда [1].

Требования к обеспечению безопасных условий труда при выполнении дорожных строительных и ремонтных работ установлены Приказом Минтруда России от 11.12.2020 № 882н. Документ устанавливает обязательные требования охраны труда при эксплуатации дорожной техники, применении технологического оборудования и организации производственных процессов [2].

В процессе выполнения дорожно-строительных работ на работников могут воздействовать разные вредные и опасные производственные факторы. Наиболее распространенными из них являются движущиеся транспортные средства и строительная техника, грузоподъемные механизмы, перемещаемые материалы, подвижные элементы оборудования и инструмента. Значительную опасность также представляют падающие предметы, повышенный уровень шума и вибрации, запыленность воздуха рабочей зоны, воздействие высоких и низких температур, недостаточная освещенность рабочих мест и вероятность поражения электрическим током. Кроме того, труд работников сопровождается значительными физическими нагрузками и нервно-эмоциональным напряжением.

Работодатель обязан обеспечивать безопасные условия труда путем снижения или устранения воздействия вредных и опасных производственных факторов. Для этого применяются организационные, технические и санитарно-гигиенические мероприятия, направленные на уменьшение профессиональных рисков. Несмотря на совершенствование нормативно-правовой базы и системы управления охраной труда, уровень производственного травматизма в строительной отрасли остается достаточно высоким.

Анализ статистических данных по Белгородской области показывает, что количество несчастных случаев в строительной сфере остается на достаточно высоком уровне. На рисунке 1 представлена статистика производственного травматизма в Белгородской области за последние 5 лет, включая показатели по отрасли «Строительство» [3,4].

Наиболее распространенными причинами тяжелых несчастных случаев в 2024-2025 гг. являлись транспортные происшествия, падения работников с высоты, обрушения материалов и грунта, воздействие движущихся механизмов и машин, а также чрезвычайные ситуации различного характера. Существенное влияние на уровень травматизма оказывает человеческий фактор, включающий нарушение требований охраны труда, недостаточный контроль за выполнением работ и несоблюдение производственной дисциплины [5].



Рис. 1. Статистика несчастных случаев на производстве

Условия труда работников дорожно-строительных организаций отличаются высокой тяжестью и напряженностью труда. Большая часть работ выполняется на открытом воздухе, поэтому работники подвергаются воздействию неблагоприятных погодных условий. В зимний период негативное влияние оказывают низкие температуры и повышенная влажность воздуха, а в летний период – высокая температура окружающей среды и интенсивное тепловое излучение от нагретого дорожного покрытия

Одним из наиболее распространенных вредных факторов является производственный шум. Основными его источниками выступают асфальтоукладчики, дорожные катки, компрессорные установки, фрезерные машины и автомобильный транспорт. Длительное воздействие повышенного уровня шума приводит к ухудшению слуха, развитию хронической усталости, снижению внимания и работоспособности работников.

Эксплуатация дорожно-строительных машин и механизированного ручного оборудования сопровождается воздействием не только повышенного уровня шума, но и вибрационных нагрузок, оказывающих влияние на организм человека. Продолжительное воздействие вибрации способно вызывать расстройство нервной и сердечно-сосудистой систем, а также негативно отражаться на состоянии опорно-двигательного аппарата.

Дополнительным вредным фактором на объекте дорожного строительства становится ухудшение качества воздуха в рабочей зоне из-за скопления пыли, продуктов сгорания топлива и испарений горюче-смазочных материалов. Во время устройства асфальтобетонного покрытия в окружающую среду поступают химические соединения, способные оказывать отрицательное воздействие на дыхательную систему и самочувствие персонала. Наиболее неблагоприятная производственная обстановка наблюдается при снятии изношенного дорожного

сложившимся методом фрезерования, поскольку этот процесс сопровождается значительным выделением мелкодисперсной пыли.

Серьёзную угрозу представляет выполнение работ на участках с высокой плотностью транспортного потока. Нахождение работников рядом с движущимися автомобилями увеличивает риск возникновения аварийных ситуаций и получения производственных травм. Поэтому при проведении таких работ необходимо уделять повышенное внимание обеспечению безопасности: организовывать схему движения транспорта, оборудовать рабочую зону предупреждающими ограждениями и обеспечивать персонал средствами индивидуальной защиты со светоотражающими элементами.

Минимизация производственных рисков требует систематического развития механизмов обеспечения безопасности труда на предприятиях дорожного строительства. Существенное значение имеет проведение оценки рабочих условий, благодаря которой можно определить степень влияния неблагоприятных факторов на персонал и подобрать эффективные способы их устранения или уменьшения [6].

Одним из ключевых факторов сохранения безопасных условий на рабочем месте является своевременное предоставление персоналу надежных средств индивидуальной защиты. В их число входят каски, светоотражающие жилеты, защитные наушники, респираторы, очки, специализированная обувь, а также перчатки и другие средства для защиты рук. Не менее значимым аспектом выступает систематическая подготовка сотрудников по вопросам безопасного выполнения работ, организация инструктажей и постоянный надзор за соблюдением установленных норм охраны труда.

Повышению безопасности на производстве способствует применение системы управления, основанной на анализе профессиональных рисков. Такой подход дает возможность своевременно обнаруживать потенциально опасные факторы, прогнозировать вероятность возникновения аварийных ситуаций и заблаговременно разрабатывать меры, направленные на предотвращение травм и снижение числа несчастных случаев на предприятии.

Следовательно, трудовая деятельность сотрудников дорожно-строительных предприятий Белгородской области осуществляется в условиях воздействия множества неблагоприятных производственных факторов, отрицательно сказывающихся на состоянии здоровья работников и их способности эффективно выполнять профессиональные обязанности. Наиболее существенными факторами являются повышенный уровень шума, вибрационные воздействия, запыленность и загазованность рабочей среды, неблагоприятные температурные условия, а также высокая физическая нагрузка.

Минимизировать уровень профессиональной опасности возможно лишь при реализации комплексной системы мероприятий в сфере охраны труда. Она должна предусматривать модернизацию технологических процессов, укрепление трудовой дисциплины и использование современных решений, направленных на повышение безопасности производственной деятельности.

Список литературы

1. Семейкин А.Ю. Анализ структуры микротравмирования работников при выполнении строительных работ / А.Ю. Семейкин, О.Н. Томаровищенко, В.А. Петрова, В.И. Сарычев // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2023. – № 3. – С. 112-124. – EDN TXPMON.
2. Приказ Минтруда РФ от 11.12.2020 № 882н «Об утверждении правил по охране труда при производстве дорожных строительных и ремонтно-строительных работ»
3. Государственная инспекция труда Белгородской области. [Электронный ресурс] URL: <https://git31.rostrud.gov.ru/> (дата обращения: 12.05.2026)
4. Условия труда // Федеральная служба государственной статистики URL: https://rosstat.gov.ru/working_conditions (дата обращения: 12.05.2026).
5. Томаровищенко О.Н. Анализ производственного травматизма в Белгородской области / О.Н. Томаровищенко, А.Ю. Семейкин, В.А. Петрова // Образование. Наука. Производство: Материалы XVI Международного молодежного форума, Белгород, 30-31 октября 2024 года. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2024. – С. 207-212.
6. Коробков П.С. Сравнительный анализ удельного веса численности работников, подвергающихся воздействию производственных факторов в строительстве в российской федерации / П.С. Коробков, И.В. Канивец, В.А. Петрова // Образование. Наука. Производство: Материалы XIV Международного молодежного форума, Белгород, 13-14 октября 2022 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2022. – С. 133-136.

АНАЛИЗ ТРАДИЦИОННЫХ И ИННОВАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА ПЕРСОНАЛА ПРЕДПРИЯТИЙ

Студент гр. ХЗ-20030103-1о Л.М. Сафиянова,
Научный руководитель В.В. Воронова
Кубанский государственный университет,
г. Краснодар

Аннотация. В работе представлен анализ традиционных и инновационных методов обучения по охране труда. Предложены варианты по интересному и эффективному обучению рабочих.

В наше время компании уделяют значительное внимание производственной безопасности. Это связано с тем, что многие отрасли относятся к видам деятельности с повышенной опасностью. Часто работа персонала связана со сложным технологическим оборудованием, процессами. Предприятия развиваются, появляются новые технологии, а вместе с этим совершенствуется система защиты трудовой деятельности.

Актуальность совершенствования обучения подтверждается и демографической статистикой. Как отмечают исследователи [4], в стране сохраняется тенденция к сокращению численности работающего населения, а одной из причин остается недостаточная осведомленность работников о профессиональных рисках и требованиях охраны труда. Поэтому поиск новых форматов подготовки становится необходимым.

Обучение проводится в соответствии с требованиями Трудового кодекса РФ, Постановлением Правительства РФ от 24.12.2021 г. №2464 «О порядке обучения по охране труда и проверки знания требований охраны труда». [3]

Подготовка в области охраны труда представляет собой специализированный процесс получения знаний, умений и навыков, который относится к профилактическим мероприятиям в сфере безопасности на производстве. Задачами обучения является предотвращение случаев производственного травматизма и профессиональных заболеваний, снижение их последствий и являются специализированным процессом получения знаний, умений и навыков.

Однако, как подчёркивают специалисты, главная задача обучения по охране труда заключается не только в передаче знаний. Ключевым является выявление и преодоление психологических состояний, затрудняющих адекватное реагирование на аварийные ситуации, а также формирование устойчивой мотивации и навыков безопасного поведения на рабочем месте. Именно эту задачу призваны решать инновационные методы обучения, делая процесс более личностно-ориентированным.[4]

Обучение в области охраны труда в соответствии с [3] осуществляется в процессе проведения инструктажей по охране труда, стажировки на рабочем месте, обучения по оказанию первой помощи пострадавшим, по использованию средств индивидуальной защиты, безопасным методам и приёмам выполнения работ.

Проведённый анализ традиционных и инновационных методов позволяет сделать выводы:

Во-первых, традиционные методы (лекции, практические занятия, собеседование, тестирование, тренажеры) остаются базовой основой системы подготовки по охране труда. Их главное преимущество – доступность, простота организации, многолетняя апробация и массовость. Однако они имеют ограничения: отрыв от производства, высокая зависимость от качества преподавателя. Особенно остро чувствуются недостатки при необходимости применять навыки в нештатных и аварийных ситуациях.

Во-вторых, инновационные методы (симуляторы и технологии VR/AR, геймификация) предлагают иные возможности. Они позволяют моделировать любые сценарии, обеспечивают высокую вовлеченность, а также дают возможность обучаться без остановки производства. Их эффективность признается исследователями, и практиками: по данным опросов, именно интерактивные и симуляционные форматы признаются наиболее удобными и способствующими усвоению материала. Но несмотря на это на пути их

внедрения стоит ряд серьезных барьеров: высокая стоимость, дефицит квалифицированных преподавателей, владеющих инновационными методиками, недостаток качественного методического инструментария.[4]

В-третьих, наиболее перспективным представляется разумное сочетание традиционных и инновационных методов.

Таким образом, выбор конкретных подходов обучения должны определяться не только имеющимися ресурсами, но и спецификой предприятия, категориями обучающихся и конкретными задачами, стоящими перед службой охраны труда.

Отдельное внимание заслуживают новые технологии. Все чаще искусственный интеллект внедряется в сферу безопасности труда. Так одним из способов применения является создание ИИ-чатов, они способны для решения многих задач. Примером будет являться KioutCHAT – это инновационный ИИ-чатбот, разработанный Клинским институтом охраны и условий труда. Экономит время, дает конкретные рекомендации по улучшению безопасности на основе прямых запросов. Проводит мозговые штурмы, предлагая идеи по оптимизации процессов и предотвращению рисков. Автоматизирует процесс написания нормативных актов, инструкций, приказов и других рабочих документов. Расширяет возможности поиска решений за рамки традиционных методов, предлагает креативные и современные методы решения нестандартных задач.[1]

Также интересным направлением в наше время является приложения-игры по охране труда. Основная цель сделать обучение безопасному труду не скучной формальностью, а интересным и полезным процессом. Пример приложения: «Три смены» – это онлайн-платформа, где участники управляют командой через «бригадира», влияя на исход событий. Игрок проходит через череду производственных смен, решая задачи по безопасности труда в различных сценариях. Каждое решение имеет последствия: оно может привести к предотвращению инцидента или потере важного члена команды.[2]

Также в целях улучшения освоения и запоминания материала предлагаем:

1. Создание игры-приложения, которое могло бы объединить в себе сразу несколько аспектов:

- тестирование для подготовки и проверки знаний. Чат будет показывать, где человек ошибся, предлагать советы как запомнить правильный вариант в виде интересных фактов или историй;

- отработку практических навыков в формате решения различных аварийных или нестандартных ситуаций на рабочих местах, интерактивных квестов;

- чат или форум для общения, обмена информацией и советами.

2. Разработка комикс-книг, направленных на изучение правил безопасной работы. Это были бы не скучные пособия, а целая история, где главные персонажи – работники предприятия. Каждый день они сталкиваются с трудностями, а помогают решить их правила по охране труда.

3. Проведение разборов классической и художественной литературы,

сюжетов фильмов и сериалов, где герои действовали, не соблюдая правил и к каким последствиям это привело.

Процесс освоения может быть не только скучным, но интересным и запоминающимся, все эти методы помогут не просто зазубрить, но и понимать и уметь использовать на практике. Важно помнить, необходима не только разработка технологий, но и создание системы мотивации преподавателей, совершенствование материально-технической базы и нормативно-правового регулирования. Только в этом случае обучение по охране труда сможет стать не просто формальной процедурой, а действительным инструментом снижения травматизма и формировании культуры безопасности на производстве. [4]

Список литературы

1. <https://chat.kiout.ru/?ysclid=mqs1si3tvv297766350>
2. <https://mpis.meny.pf/>
3. Постановлением Правительства РФ от 24.12.2021 г. №2464 «О порядке обучения по охране труда и проверки знания требований охраны труда» -URL.:<https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=442665&ysclid=mqs20095bf880405715>
4. Секачева Л.М. Инновации в обучении охране труда: проблемы внедрения / Л.М. Секачева, А.И. Овчаров, Т.И. Касьянова // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – №2. – URL.: <https://science-education.ru/article/view?id=5853&ysclid=mqs9opxgh386813314>

ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ РИСКИ РАБОТНИКОВ ЦЕХА ГАЛЬВАНОПОКРЫТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОЕЧНОГО КОМПЛЕКСА И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИХ МИНИМИЗАЦИИ

Т.А. Левина, Е.В. Калугина

Филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» в г. Губкине Белгородской области

Аннотация. По данным специальной оценки условий труда (СОУТ) рассчитаны профессиональные риски для двух профессий работников цеха гальванопокрытия с различными процедурами обслуживания моечной установки при подготовке металлических поверхностей перед нанесением защитно-декоративных слоев. Для снижения негативного влияния на здоровье рабочих цеха предложена трехконтурная автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУТП) моечной машины, с учетом которой рассчитана эффективность по снижению класса (подкласса) условий труда. Показано, что при применении АСУТП обобщенный уровень безопасности для работников увеличивается на 3-8%, а итоговый класс (подкласс) условий труда снижается на единицу.

Ключевые слова: гальваническое покрытие; работники гальванического цеха, условия труда, профессиональные риски.

Процесс гальванизации – это покрытие металлической поверхности слоем другого металла, при этом важно соблюдать определенную технологию, чтобы

не только добиться требуемого результата, но, чтобы уберечь работников от возможных рисков для жизни и здоровья [1]. Гальванизация часто применяется в области машиностроения, при этом процессе происходит покрытие детали пленкой для получения иных химико-физических свойств тела, в том числе эта операция проводится для повышения износостойкости, коррозионной стойкости, повышения твердости. Чаще всего в качестве металла покрытия используется никель, цинк, хром, медь.

Многие производства, включая гальваническое, связаны с высокими рисками для здоровья и безопасности работников. Наиболее частые опасности, связанные с гальваническим производством, включают в себя недостаточную вентиляцию, образование газов, дымов и взрывов, а также риски, связанные с поражением электрическим током. По статистике, многие травмы на рабочем месте связаны с неправильным обращением с опасными веществами и несоблюдением правил безопасности. Поэтому охрана труда на гальваническом производстве играет важную роль в предотвращении травм и несчастных случаев. Проблемой производственной безопасности на таких предприятиях промышленности является большое количество рабочих мест с вредными и опасными условиями труда. Данная проблема, с одной стороны, решается принятием новых нормативно-технических документов по охране труда. С другой стороны, систематически проводятся исследования санитарно-гигиенических условий работников гальванического производства и установлены основные профессиональные заболевания – это химические отравления (32 %), кожные болезни (25 %), заболевания органов дыхания (18 %), тугоухость (13 %), электротравмы (12 %) и прочие диагнозы (5 %) [2].

Целью исследования является сравнительное оценивание условий труда и профессиональных рисков персонала при работе на моечной машине металлических изделий в цехе гальванопокрытия Старооскольского завода автотракторного электрооборудования с различными технологиями и разработка рекомендаций по минимизации вредных условий труда.

Объекты и методы исследования

«Старооскольский завод автотракторного электрооборудования им. А.М. Мамонова» (СОАТЭ) выпускает свыше 500 наименований автокомпонентов практически для всех автомобильных и тракторных компаний России и стран СНГ, располагает литейным производством и вспомогательными цехами, в том числе декоративной и защитной гальванической обработкой и сборочным производством. На предприятии работает более 1600 человек.

Одним из главных заготовительных цехов основного производства является отделение автоматной обработки и цеха гальванопокрытия, на котором имеются следующие участки: обезжиривания в органических растворителях; ультразвуковой очистки; отделение кислотного травления; неавтоматизированные участки гальванопокрытий; пескоструйное оборудование; гальванические линии.

Ключевым этапом подготовки компонентов для сборочного процесса является их очистка и промывка. Для этого применяются различные

промывочные жидкости – керосин, газойль, бензин или щелочные водные растворы. Процесс мойки деталей отличается высокой трудоемкостью, поэтому во всех типах производств он подвергается механизации.

Для выполнения этой операции используют специальные механизированные баки, ванны и моечные установки. Особое значение имеет применение ультразвуковых методов очистки деталей: помимо повышения эффективности и качества промывки эта технология позволяет обрабатывать изделия сложной геометрии.

Межоперационная промывка деталей является важной операцией, так как некачественная промывка не только загрязнит растворы гальванопокрытия, что послужит причиной некачественного покрытия деталей, но может привести к поломке оборудования цеха гальванопокрытия и увеличить риски для здоровья и безопасности работников.

Для выполнения указанной процедуры в АО «СОАТЭ» инженерами создана моечная установка АМ482.000. СБ. Комплекс предназначен для очистки деталей в специальном растворе с последующим высушиванием до нормативного уровня поверхностной чистоты.

Недостатками существующей системы управления является: ручное управление; отсутствие контроля уровня моечного раствора в баке, над массой загружаемых и выгружаемых деталей перед мойкой; отсутствуют системы блокировок и защит, контроль и возможность дистанционного управления; существует риск необеспечения безопасности персонала на рабочем месте в цехе.

Нами разработана трехконтурная автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУТП) моечной машины, которая включает в себя: контур управления уровня моечного раствора в накопительном баке; контур управления температуры моеющего раствора в накопительном баке; контур управления температуры воздуха в сушильной машине. И установлены технические и программные средства автоматизации: датчики уровня в накопительном баке и расхода моечного раствора; веса загружаемых и выгружаемых деталей; датчики температуры: моечного раствора в баке и в камере сушильной машины. Посредством контроллера осуществляется контроль за работой моечной машины и регистрация показаний датчиков. Таким образом, полностью автоматизированный режим работы моечного комплекса обеспечивает возможность дистанционного управления, снижает техногенную нагрузку на персонал и уменьшает число ошибок при обслуживании оборудования.

Исследование проведено для двух основных профессий работников цеха гальванопокрытия, обслуживающих моечный комплекс. Это – гальваник 3 разряда и оператор-гальваник автоматизированного процесса мойки металлических изделий.

Профессиональные риски рассчитаны по методике прогнозной оценки профессиональных [3].

Результаты и их обсуждение

Условия труда в гальванических цехах и профессиональные риски их работников.

Прогнозная оценка профессиональных рисков проведена по результатам специальной оценки условий труда (СОУТ), которую выполнили в 2025 году на СОАТЭ для работников гальванического и литейного производства. Для работников цеха гальванопокрытия обнаружены вредные условия труда, среди которых имеют место превышения ПДУ физических факторов: превышения значений шума на 1-5 дБА, локальной вибрации на 1-3 дБ. Среднесменные энергозатраты составляют 170-280 Вт при тяжести трудового процесса, соответствующему классам вредности 3.1-3.2. Микроклимат гальванических цехов характеризуется перепадами температур в рабочих зонах на 3-5°C, превышение влажности воздуха на 10-17 %. Рабочее место исследуемых профессий оценивается комплексом производственных факторов, определяющих условия труда на участке, в который, кроме физических факторов, входят запыленность воздуха (превышает ПДК в 1,1-1,3 раза) и содержание в воздухе рабочей зоны вредных веществ (выше ПДК в 1,3-1,7 раза).

С учетом комбинированного и сочетанного действия вредных и опасных факторов производственной среды и трудового процесса условия труда гальваников соответствовали классам вредности 3.1-3.2.

В таблице 1 приведены оценки вредных и опасных факторов рабочей среды гальваника и оператора, а также указан класс условий труда по каждому фактору и итоговый класс условий труда для исследуемых профессий.

Таблица 1

Вредные и опасные факторы, классы условий труда, итоговый класс условий труда для работников гальванических цехов

Профессия работающего	Класс условий труда на рабочих местах							
	производственные факторы					тяжесть трудового процесса	напряженность трудового процесса	общая оценка
	шум	вибрация	пыль	вредные вещества	микроклимат			
Гальваник 3 разряда	3.1	-	2	2 (3.1)	3.1	3.1	2	3.2
Оператор-гальваник	3.1	2	2	2 (3.1)	3.1	3.1	2	3.2

Результаты расчета профессионального риска для рабочих мест гальваника и оператора приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результат расчета профессионального риска для рабочих мест

Наименование рабочего места	Обобщенный уровень безопасности $S_{nc} = \prod_{i=1}^n S_{nci}$	Обобщенный уровень риска $R_{nc} = 1 - \prod_{i=1}^n S_{nci}$	Максимально допустимый уровень обобщенного риска	Отклонение фактического уровня профессионального риска от максимально допустимого, %
Гальваник 3 разряда	0,013	0,98	0,86	11 %
Оператор-гальваник	0,084	0,89	0,71	20 %

Обобщенный уровень безопасности, а также обобщенный уровень риска выше у гальваника, однако отклонение фактического уровня профессионального риска от максимально допустимого выше у оператора, это объясняется тем, что у оператора на 3 воздействующих фактора меньше, чем у гальваника.

Расчет прогнозной оценки профессиональных рисков по результатам специальной оценки условий труда с учетом новых классов (подклассов) приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результат расчета профессионального риска для рабочих мест с учетом АСУТП управления моечной машины

Наименование рабочего места	Обобщенный уровень безопасности $S_{nc} = \prod_{i=1}^n S_{nci}$	Обобщенный уровень риска $R_{nc} = 1 - \prod_{i=1}^n S_{nci}$	Максимально допустимый уровень обобщенного риска	Отклонение фактического уровня профессионального риска от максимально допустимого, %
Гальваник 3 разряда	0,027	0,94	0,95	9 %
Оператор-гальваник	0,141	0,85	0,85	14 %

Результат, полученный методом прогнозной оценки по СУОТ, показал высокий риск у работников обеих специальностей. Однако, при внедрении АСУТП моечной машины итоговый класс условий труда у оператора снижается с 3.2 до 3.1. Обобщенный уровень безопасности оператора увеличивается с 0,084 до 0,141, снижается уровень риска с 0,89 до 0,85. Отклонение от максимально допустимого уровня риска улучшилось на 6 % (с 20 % до 14 %).

У гальваника итоговый класс условий труда остается прежним, так как сохраняется класс 3.2. Это обусловлено технологическим процессом – в современных условиях невозможно убрать данный фактор. Обобщенный уровень безопасности гальваника увеличивается с 0,013 до 0,027, снижается уровень риска с 0,98 до 0,94. Отклонение от максимально допустимого уровня риска снизилось на 3 % (с 11 % до 9 %).

Заключение

По данным СОУТ рассчитаны профессиональные риски для двух профессий работников гальванического цеха с различными системами управления моечной машины. Для работников предложен полностью автоматизированный режим работы моечного комплекса, с учетом которого рассчитана их эффективность по снижению класса (подкласса) условий труда. Показано, что при полной АСУТП моечной машины обобщенный уровень безопасности для работников увеличивается на 2-6 %, а итоговый класс (подкласс) условий труда снижается на единицу.

Список литературы

1. *Останина Т.Н. Проектирование технологии и оборудования электрохимических производств: учебно-методическое пособие / Т.Н. Останина, Н.И. Останин, А.Е. Новиков, А.Б. Даринцева, В.М. Рудой, В.С. Никитин; под общ. ред. Ю.П. Зайкова; Министерство науки и высшего образования*

Российской Федерации, Уральский федеральный университет. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2022. – 160 с.

2. Нажмутдинова В.Р. Статистика профессиональных заболеваний и травматизма в гальванических цехах / В.Р. Нажмутдинова, А.Я. Митриковский // Научный Лидер. – 2025. – №20 (221). Режим доступа: <https://scilead.ru/article/8786-statistika-professionalnikh-zabolevanij-i-tra> (дата обращения: 25.06.2026).

3. ГОСТ Р 12.0.010–2009 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Системы управления охраной труда. Определение опасностей и оценка рисков». Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200080860> (дата обращения: 22.06.2026).

УГЛЕКИСЛОТНОЕ ПОЖАРОТУШЕНИЕ РВС-20 000 ПРИ РАЗМЕЩЕНИИ СУХОТРУБОВ НА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЯХ ДЛЯ УСТАНОВКИ ЗОК

Д.В. Лещенко¹, Е.А. Головачева¹, А.А. Федоров¹,
Е.А. Мешалкин², И.В. Макунин³

¹ Самарский государственный технический университет,
г. Самара

² «Федеральная палата пожарно-спасательной отрасли»,
г. Москва

³ ООО «ТЕХНОС-М+»,
г. Нижний Новгород

Аннотация. В работе обоснована необходимость дополнительного оснащения эксплуатируемых РВС объемом 20 000 м³ и более системами подачи СО₂ в условиях участившихся атак БПЛА. Показано, что существующий СП 155.13130.2014 не регламентирует применение стационарного газового тушения для резервуаров свыше 10 000 м³ и с плавающими крышами, а получение СТУ требует длительных согласований. Предложено размещать сухотрубы и насадки углекислотного пожаротушения на опорных элементах защитных ограждающих конструкций (ЗОК), что снимает нагрузку с корпуса резервуара и ускоряет внедрение. Сделан вывод, что предлагаемая схема совмещения ЗОК и углекислотного пожаротушения дает синергетический эффект и может рассматриваться как дополнительный рубеж защиты при террористических угрозах.

Ключевые слова: углекислотное пожаротушение, резервуары хранения нефти, защитные ограждающие конструкции ЗОК.

В последнее время количество пожаров в вертикальных стальных резервуарах (РВС) для хранения нефтепродуктов значительно увеличилось из-за террористических атак с применением БПЛА. Основным методом тушения РВС, это подача в резервуар на поверхность горящей жидкости воздушно-механической пены для изоляции очага горения от кислорода воздуха. В качестве одного из дополнительных способов тушения общими правилами проектирования систем пожаротушения резервуарных парков СП 155.13130.2014 «Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности» предусмотрено газовое

пожаротушение с применением изотермических модулей с двуокисью углерода (CO_2). Проведенные ранее испытания по применению установок газового пожаротушения на основе CO_2 [1-4] показали, что подача CO_2 внутрь резервуара и на наружную поверхность высокоэффективно предотвращает возгорание в начальной стадии его возникновения за счет изоляции горящей жидкости от кислорода воздуха и резкого охлаждения зоны горения, предотвращающего повторное воспламенение

Действующий в настоящее время СП 155.13130.2014 согласно п.Б.1. разрешает применять для тушения РВС с нефтью и нефтепродуктами мобильные установки газового пожаротушения с использованием модулей изотермических для жидкой двуокиси углерода для резервуаров объемом до 5 000 м³, и стационарные для резервуаров объемом до 10 000 м³, и не охватывает резервуары объемом более 10 000 м³, а также резервуары, оснащенные плавающими крышами. В таких случаях для применения установки необходимо пройти сложную, длительную процедуру получения Специальных технических условий (СТУ) для проектирования, что в настоящих условиях, требующих быстрого реагирования на возникающие угрозы неприемлемо.

На основании вышеизложенного и в связи с высокой доказанной эффективностью системы тушения на основе CO_2 имеет смысл для уже находящихся в эксплуатации резервуаров объемом 20 000 м³ и более (с плавающими крышами) рассмотреть возможность дополнительно к существующим системам пенного тушения, выполнить дооснащение системами подачи CO_2 . При этом необходимо, чтобы подача CO_2 производилась первоочередно, сразу после возгорания до подачи раствора пенообразователя на генераторы пены.

Для исключения огневых работ и недопущения передачи дополнительной нагрузки на конструкцию резервуара целесообразно разместить систему углекислотного пожаротушения (сухотрубы, насадки) непосредственно на защитные ограждающие конструкции (ЗОК) по СП 542.1325800.2024 возводимые как последний рубеж защиты от БПЛА. Перенос нагрузки с резервуаров на опорные элементы ЗОК, позволит упростить получение вышеупомянутых СТУ.

Сухотрубы подачи углекислоты для уменьшения веса и для компенсации температурных расширений могут быть выполнены из композитных материалов [5]. Также на несущие элементы ЗОК устанавливаются извещатели пламени, обнаруживающие его электромагнитное излучение в ИК+УФ спектрах и соответствующие огнестойкие кабельные проводки.

Согласно СП 155.13130.2014 для защиты зеркала резервуаров с нефтью и нефтепродуктами, исходя из расхода подачи CO_2 не менее 13 кг на 1 м², для тушения РВС-20 000 с диаметром внутренней стенки 39,9 м требуемая масса CO_2 составляет 16 247 кг и она может быть доставлена передвижным огнетушителем ОКА-М от компании ТЕХНОС-М +, представленным на Рисунке 1.



Рис. 1. Передвижной модуль огнетушителя ОКА-М от компании ТЕХНОС-М +

Исходя из объема передвижных огнетушителей ОКА-М в 18 м^3 , для обеспечения пожаротушения на РВС-20 000 с учетом 100 % запаса CO_2 потребуется два передвижных огнетушителя ОКА-М. На Рисунке 2 представлен пример совмещения ЗОК и сухотрубов подачи CO_2 от передвижного огнетушителя ОКА-М.

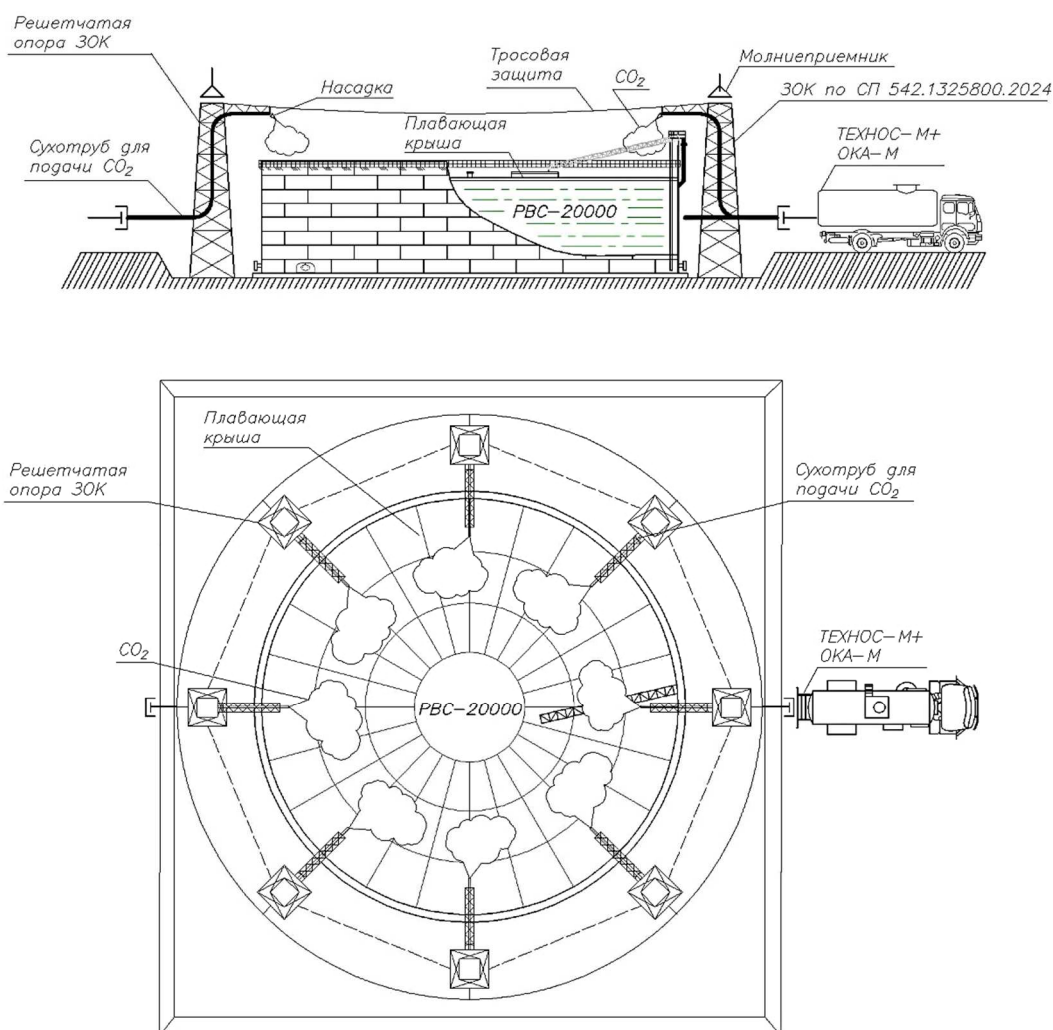


Рис. 2. Пример совмещения ЗОК и сухотрубов с доставкой CO_2 в передвижном огнетушителе ОКА-М

Выводы

В текущих реалиях повышенной террористической опасности на объектах нефтепродуктообеспечения необходимо оперативно принимать все доступные средства для обеспечения локализации и ликвидации возгораний на резервуарах, в т.ч. за счет дополнения существующих систем пенного пожаротушения передвижными модульными установками подачи CO₂. Ожидается, что данная схема совмещения ЗОК и углекислотного пожаротушения обеспечит синергетический эффект при тушении возгораний и станет еще одним рубежом отражения террористических атак.

Список литературы

1. Макунин И.В. Аспекты тушения топливных резервуаров сжиженной двуокисью углерода / И.В. Макунин, А.М. Шаравин // *Пожарная безопасность* – 2016. – № 1. – С. 222-225.
2. Шарапов С.В. Экспериментальные исследования по применению жидкой двуокиси углерода для тушения пожаров в резервуарных парках хранения нефти и нефтепродуктов / С.В. Шарапов, В.А. Боблак // *Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России»*. – 2012. – № 2. – С. 52-57.
3. Грошев А.Д. Преимущества установок пожаротушения диоксидом углерода при ликвидации горения в резервуарах с нефтепродуктами / А.Д. Грошев, И.И. Переславцева // *Пожаровзрывобезопасность*. – 2016. – №12. – С. 69-75.
4. Меркулов В.А. Тушение диоксидом углерода пожаров в вертикальных стальных резервуарах с нефтью и нефтепродуктами / В.А. Меркулов, К.П. Кузьменко, А.И. Кирсанов // *Пожаровзрывобезопасность*. – 2013. – №3. – С. 58-61.
5. Леценко Д.В. Перспективная технология изготовления и одновременной подземной укладки целиковой фотополимерной трубы для систем сбора нефти / Д.В. Леценко, Е.В. Мельников, Е.А. Головачева [и др.] // *Приоритетные направления развития науки и технологий: сборник докладов по материалам XXXVII Международной научно-практической конференции, Тула, 26 декабря 2025 года*. – Тула, 2025. – С. 244-249.

СПЕЦИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ТРУДА: ПРОБЛЕМЫ И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ РЕШЕНИЯ

Д.И. Тихонов,
Научный руководитель А.А. Маслова
ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»,
г. Тула

Аннотация. В статье приводятся основы проведения специальной оценки условий труда (СОУТ), которая является важнейшим инструментом обеспечения охраны труда на предприятиях России.

СОУТ проводится в рамках Федерального закона № 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда» [1], предусматривающего идентификацию вредных и опасных факторов на рабочем месте, оценку их воздействия на организм работников и выработку мер по защите здоровья трудящихся.

Процедура СОУТ необходима для защиты здоровья работников, предупреждения профессиональных заболеваний и минимизации числа несчастных случаев [1]. Её важность связана с соблюдением законодательных норм, поддержанием положительной репутации организации и общим ростом продуктивности. Грамотно проведенная оценка даёт работодателю рекомендации по усовершенствованию технологического процесса, оптимизации оснащённости рабочих мест и введению новых защитных механизмов.

Тем не менее, практика показывает, что действующая система СОУТ сталкивается с рядом проблем. К ним относятся недостаточная квалификация экспертов, низкий уровень подготовки специалистов, приводящие к ошибкам в диагностике и классификации условий труда, заниженным оценкам рисков и недостаточному уровню разработанности рекомендаций. Отсутствие единого подхода к мониторингу изменений условий труда вызывает трудности, поскольку современные технологии и изменения условий производства требуют постоянной адаптации критериев оценки, тогда как действующие методологии оказываются недостаточно гибкими [2]. Формальное восприятие процедуры работодателями зачастую ведет к недооценке реальных потребностей охраны труда. Проблемы возникают и с обеспечением необходимой материально-технической базы: недостаток финансирования мешает приобретению современного оборудования и организации надлежащих лабораторных условий.

Возможные направления улучшения системы СОУТ включают применение инновационного технического оснащения, позволяющего точно замерять параметры рабочей среды и оперативно анализировать полученные данные [3]. Важно информатизировать процесс сбора и хранения данных, интегрируя информацию с другими внутрикорпоративными системами. Необходимо активно привлекать службу профилактической медицины, способствующую раннему выявлению признаков профессиональных болезней и предотвращению осложнений. Неотъемлемым условием эффективного проведения СОУТ должно стать постоянное повышение квалификации экспертов путём курсов переподготовки и стажировок.

Одним из перспективных направлений развития СОУТ является использование цифровых технологий. Внедрение систем мониторинга условий труда в режиме реального времени, автоматизированный анализ данных и прогнозирование рисков позволяют более оперативно реагировать на изменения производственной среды и предотвращать возникновение опасных ситуаций. Интеграция результатов СОУТ с системами управления охраной труда на предприятии позволит более эффективно планировать и реализовывать мероприятия по улучшению условий труда [4].

Таким образом, комплексный подход к совершенствованию системы СОУТ, включающий внедрение инновационных технологий, совершенство-

вание нормативно-правовой базы, повышение квалификации экспертов и активное вовлечение работников, позволит создать более эффективную систему охраны труда, способствующую сохранению здоровья работников и повышению конкурентоспособности отечественного бизнеса.

Список литературы

1. Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. № 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда».

2. Фомин А.И. Государственное регулирование экономического стимулирования работодателей по улучшению условий и охраны труда / А.И. Фомин, А.Н. Поздняков, С.А. Лежава, И.С. Семина // «Вестник Сибирского государственного индустриального университета». – 2016. – 3(17) – С. 56-64.

3. Мубинова Э.Р. Проблема обеспечения безопасных условий труда и оценки показателей безопасности трудовой деятельности в РФ в 2017-2018 гг // Форум молодых ученых. 2019. №5 (33). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problema-obespecheniya-bezopasnyh-usloviy-truda-i-otsenki-pokazateley-bezopasnosti-trudovoy-deyatelnosti-v-rf-v-2017-2018gg> (дата обращения: 08.06.2026).

4. Анохин А.В. Социально-экономические критерии, обеспечивающие безопасные условия труда 2015 / А.В. Анохин // «Интернет журнал «Наукоедение»». – 2015. – Т.7, №4 (29). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sotsialno-ekonomicheskie-kriterii-obespechivayushie-bezopasnye-usloviya-truda> (дата обращения: 08.06.2026).

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Студент гр.6.404М А.Д. Винтер,
Научный руководитель Л.В. Щербакова
Алтайский государственный университет,
г. Барнаул

Аннотация. В статье рассматривается проблема повышения эффективности системы управления охраной труда (СУОТ) на металлургическом предприятии через внедрение организационно-мотивационных механизмов. На основе анализа действующей практики выявлено существенное противоречие: при трехкратном увеличении числа микротравм в системе управления безопасностью преобладающей остается карательная мотивация. Предложен комплекс мероприятий, включающий гибридную модель мотивации, механизмы вовлечения персонала и систему 6S. Экономическая эффективность подтверждена расчетами.

Ключевые слова: техносферная безопасность, система управления охраной труда, мотивация персонала, поведенческий аудит, микротравмы, риск-ориентированный подход.

Современное производство характеризуется высокой степенью автоматизации и цифровизации, однако вопросы техносферной безопасности

остаются критически значимыми, особенно на предприятиях с высоким уровнем производственных рисков. Формальное соответствие нормативным требованиям создает лишь базовый каркас безопасности, тогда как фактическая результативность системы определяется ее способностью влиять на повседневные модели поведения персонала [1; 2].

Целью настоящего исследования является разработка и обоснование организационно-мотивационных механизмов повышения эффективности СУОТ на примере металлургического предприятия.

Объектом исследования выступил свинцовый завод, функционирующий в условиях высокого уровня производственных рисков: более 70 % рабочих мест отнесены к вредным условиям труда (классы 3.1-3.3) согласно результатам специальной оценки условий труда (СОУТ). За анализируемый период (2023-2025 гг.) тяжелых несчастных случаев на предприятии не зафиксировано, однако наблюдался тревожный рост микротравматизма: с 9 до 29 случаев, что увеличило коэффициент микротравматизма с 22,2 до 67,8 на 1000 работников.

Анкетирование 82 работников выявило, что 48 % респондентов связывают ухудшение показателей безопасности с периодами пиковой производственной нагрузки, а 46 % характеризуют действующую систему мотивации как исключительно карательную. Анализ существующей системы управления профессиональными рисками показал ряд системных ограничений, существующих на предприятии. Во-первых, карты профессиональных рисков носят формальный характер и не используются линейным персоналом как рабочий инструмент. Во-вторых, мотивационные механизмы, основанные на санкциях, не формируют внутренней заинтересованности в безопасности сотрудников. В-третьих, каналы вовлечения работников в процессы обеспечения безопасности развиты неравномерно и неэффективно.

Для решения данных проблем разработан комплекс взаимосвязанных организационно-мотивационных мероприятий, состоящих из трех блоков.

Первый блок направлен на формирование проактивной мотивации. Вместо ориентации только на отсутствие травм, внедрена гибридная модель, моделирующая превентивные показатели безопасности. Установлены значения для доли своевременно устраненных замечаний ($\geq 90\%$), активности сообщений об опасностях (≥ 8 на 100 работников в месяц) и охвата предсменными обсуждениями рисков ($\geq 85\%$). Система включает нематериальное признание безопасного поведения и материальное стимулирование за качественные сообщения об опасностях и предложения по улучшению безопасных условий (1000-1500 руб. за реализованное предложение). Поведенческие критерии включены в оценку деятельности линейных руководителей, что стимулирует их активное участие в управлении рисками.

Второй блок затрагивает механизмы вовлечения персонала. Внедрены предсменные обсуждения рисков (продолжительностью 5-7 минут), многоканальная система регистрации опасностей, поведенческий аудит безопасности (ПАБ) с акцентом на конструктивный диалог, формирование микрокоманд по улучшению условий труда и систематический разбор

микротравм. Важным условием эффективности данного блока является трехуровневый алгоритм обработки обращений, который гарантирует обратную связь в течение 48 часов, что способствует повышению доверия и вовлеченности.

Третий блок представляет собой систему 6S – методологию стандартизации рабочих мест, охватывающую сортировку, соблюдение порядка, содержание в чистоте, стандартизацию, совершенствование и самодисциплину. Внедрение стандартов 6S обеспечивает формирование устойчивых безопасных поведенческих привычек у сотрудников, снижение вероятность ошибок, создает упорядоченную и безопасную рабочую экипировку, что в целом минимизирует риск возникновения происшествий.

Экономическая эффективность предложенных мероприятий оценена методом сценарного анализа (таблица).

Кроме того, количественная оценка экономической эффективности предложенных мероприятий проводилась посредством расчета рентабельности мотивационных инвестиций (ROMI) по формуле:

$$ROMI = \frac{D - I}{I} \cdot 100\%$$

где D – совокупный экономический эффект, I – объем инвестиций в мероприятия, включая единовременные затраты на запуск [3,4,5]. При минимальном ожидаемом эффекте (D = 328 тыс. руб.) и затратах I = 240 тыс. руб., рассчитанный показатель ROMI составляет 36,7 %. В случае реализации оптимистичного сценария (D = 386 тыс. руб.) ROMI составляет 60,8 %.

Сценарный анализ экономической эффективности

Показатель	Консервативный сценарий	Базовый сценарий	Оптимистичный сценарий
Снижение микротравм, случаев	4	4,5	5
Экономия от снижения микротравм, тыс. руб.	64	72	80
Экономия от снижения замечаний, тыс. руб.	150	170	190
Совокупный эффект (D), тыс. руб.	214	242	270
Затраты на внедрение (I), тыс. руб.	150	150	150
ROMI, %	42,7	61,3	80,0

Для минимизации рисков, связанных с тиражированием разработанной модели, необходим поэтапный подход. На первом этапе планируется проведение

трехмесячного пилотного проекта на участках с наиболее выраженными профессиональными рисками – плавильном и участке разливки. По завершении пилотного этапа будет осуществлена промежуточная диагностика эффективности по пяти индикаторам. И только при условии достижения позитивной динамики как минимум по трем из пяти диагностируемых параметров, возможно масштабирование модели на другие участки. Такая стратегия позволит усовершенствовать и адаптировать предлагаемую модель перед ее полномасштабным внедрением.

Помимо экономической эффективности, внедрение программы повысит социальный эффект, который выразится в трансформации климата в коллективе. Прогнозируется рост доли сотрудников, воспринимающих систему управления охраной труда (СУОТ) как инструмент поддержки (с 31 % до 55-60 %). Одновременно ожидается значительный рост доли сотрудников, получающих структурированную обратную связь, с 29 % до уровня 70 % и выше. Указанные изменения свидетельствуют о формировании более конструктивной и поддерживающей среды.

Таким образом, предложенный комплекс организационно-мотивационных мероприятий обеспечивает переход от реактивного контроля к превентивному управлению рисками на основе мотивации и вовлеченности персонала. Экономическая целесообразность подтверждена расчетами: при минимальных инвестициях (150 тыс. руб./год) достигается значительный эффект (214-270 тыс. руб./год), что подтверждает возможность повышения техносферной безопасности без масштабных капитальных вложений.

Список литературы

1. Бухтияров И.В. Профессиональный риск для здоровья работников: современное состояние проблемы / И.В. Бухтияров, Н.Ф. Измеров, Г.И. Тихонова // *Медицина труда и промышленная экология*. – 2019. – Т. 59, № 9. – С. 537-544.
2. Кузьмина И.И. Вовлеченность персонала как фактор формирования культуры безопасности на предприятии / И.И. Кузьмина, Е.В. Лушникова // *Безопасность в техносфере*. – 2021. – Т. 10, № 4. – С. 25-32.
3. Бухтияров И.В. Экономическая эффективность мероприятий по улучшению условий труда: методология оценки / И.В. Бухтияров, Н.Ф. Измеров // *Медицина труда и промышленная экология*. – 2020. – Т. 60, № 5. – С. 298-304.
4. Сергеев П.В. Экономическая оценка эффективности мероприятий по улучшению условий и охраны труда: методические рекомендации / П.В. Сергеев // *Справочник специалиста по охране труда*. – 2021. – № 8. – С. 45–58.
5. Hinze J.W. Cost-Benefit Analysis of Safety and Health Programs / J.W. Hinze // *Journal of Construction Engineering and Management*. – 2002. – Vol. 128, № 4. – P. 287-293.

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА УСЛОВИЙ ТРУДА РАБОТНИКОВ ПРЕДПРИЯТИЯ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Студент гр. 340641/01 А.С. Степанчикова,
Научный руководитель А.А. Маслова
Тульский государственный университет,
г. Тула

***Аннотация.** В статье рассматривается актуальность применения автоматизированных систем мониторинга условий труда работников предприятий химической промышленности. Обоснована необходимость непрерывного контроля вредных и опасных производственных факторов, обусловленная нестационарным характером воздействия химических, физических и психофизиологических факторов на работников данной отрасли. Проведён сравнительный анализ периодической специальной оценки условий труда и непрерывного автоматизированного мониторинга. Показано, что традиционные методы оценки не позволяют выявлять кратковременные пиковые превышения нормативов, что повышает риск развития профессиональных заболеваний и аварийных ситуаций. Сделан вывод о целесообразности внедрения комплексных автоматизированных систем мониторинга для повышения уровня промышленной безопасности и охраны труда на химических предприятиях.*

Химическая промышленность относится к числу отраслей с наиболее высоким уровнем профессионального риска. Технологические процессы синтеза, ректификации, нейтрализации, полимеризации сопровождаются постоянным присутствием в производственной среде токсичных веществ, повышенных температур, шума и вибрации [1]. По данным Росстата, доля работников химической отрасли, занятых во вредных и опасных условиях труда, устойчиво превышает 35-40 % от общей численности персонала, что значительно выше среднего показателя по промышленности в целом.

Действующая система обеспечения безопасности труда на химических предприятиях базируется преимущественно на специальной оценке условий труда (СОУТ), проводимой не реже одного раза в пять лет в соответствии с Федеральным законом № 426-ФЗ. Принципиальным ограничением данного подхода является его периодический характер: измерения проводятся в определённый момент времени и фиксируют состояние производственной среды только на момент замера [2].

Вместе с тем производственные факторы химических предприятий обладают выраженной нестационарностью. Концентрации токсичных веществ в воздухе рабочей зоны существенно варьируются в зависимости от технологической фазы процесса, интенсивности загрузки оборудования, сезонных условий и возникновения нештатных ситуаций. Кратковременные пиковые превышения предельно допустимых концентраций, возникающие, например, при пусковых и остановочных режимах работы реакторов или в случае разгерметизации оборудования, как правило, остаются незафиксированными при проведении периодических измерений в рамках СОУТ [3].

Указанное обстоятельство обуславливает актуальность перехода от периодической оценки к непрерывному автоматизированному мониторингу условий труда. Применение носимых и стационарных датчиков, обеспечивающих регистрацию параметров производственной среды с высокой временной разрешающей способностью (интервалы измерений порядка нескольких минут), позволяет получать объективную динамическую картину воздействия вредных факторов на протяжении всей рабочей смены.

Особую значимость автоматизированный мониторинг приобретает для таких профессий, как аппаратчик химического производства и инженер-технолог химического предприятия. Аппаратчик непосредственно контактирует с технологическим оборудованием и подвергается комбинированному воздействию химического фактора, повышенных температур, шума и вибрации. Инженер-технолог, в свою очередь, испытывает высокую напряжённость трудового процесса, обусловленную необходимостью постоянного анализа технологических параметров и принятия ответственных решений в условиях ограниченного времени [4].

Зарубежный опыт показывает устойчивую тенденцию к внедрению комплексных автоматизированных систем мониторинга на химических и нефтехимических предприятиях. Платформы Honeywell Connected Worker и MSA Safety Connected обеспечивают непрерывный контроль концентраций газов, параметров микроклимата и физиологического состояния работников с передачей данных в режиме реального времени [5]. Отечественные разработки (системы «КРОС», Pilot Safety) развиваются преимущественно в направлении контроля газоопасных факторов, однако не обеспечивают комплексной оценки всего спектра нормируемых показателей, включая факторы тяжести и напряжённости трудового процесса.

Внедрение автоматизированной системы мониторинга, объединяющей контроль химических, физических и психофизиологических факторов с автоматической классификацией результатов в соответствии с методикой СОУТ, позволяет решить ряд задач, недостижимых при использовании только периодической оценки:

- во-первых, обеспечить своевременное выявление превышений нормативов и оперативное информирование работника и службы охраны труда;
- во-вторых, сформировать объективную базу данных для расчёта индивидуальной дозы экспозиции каждого работника;
- в-третьих, повысить достоверность установления компенсаций и льгот за работу во вредных условиях труда; в-четвёртых, создать основу для разработки персонализированных рекомендаций по режиму труда и отдыха [6].

Таким образом, актуальность применения автоматизированной системы мониторинга условий труда работников предприятий химической промышленности обусловлена нестационарным характером воздействия вредных и опасных производственных факторов, ограниченной информативностью периодической специальной оценки условий труда, а также необходимостью повышения уровня промышленной безопасности и снижения

профессиональных рисков для работников отрасли. Дальнейшие исследования в данной области целесообразно направить на разработку и апробацию комплексных автоматизированных систем, объединяющих многофакторный контроль производственной среды с персонализированной оценкой состояния работника.

Список литературы

1. Измеров Н.Ф. Медицина труда. Введение в специальность / Н.Ф. Измеров. – М.: Медицина, 2002. – 392 с.
2. О специальной оценке условий труда: Федеральный закон от 28.12.2013 № 426-ФЗ (ред. от 27.12.2018): [Электронный ресурс] URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_156555/
3. Потапов А.И. Методологические основы мониторинга производственной среды / А.И. Потапов. – М.: НИИ медицины труда, 2010. – 214 с.
4. Пузин Н.И. Профессиональные риски аппаратчиков и технологов химической промышленности / Н.И. Пузин, А.В. Седов // Медицина труда и промышленная экология. – 2020. – № 4. – С. 211-218.
5. Honeywell Connected Worker Platform. Technical Overview: [Электронный ресурс] URL: <https://www.honeywell.com/us/en/brands/connected-worker>
6. Логинова О.В. Комплексная оценка условий труда методами непрерывного мониторинга / О.В. Логинова, С.А. Иванов // Гигиена и санитария. – 2022. – № 2. – С. 154-160.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АНАЛИЗА ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ

Студент гр. 340641/01 П.А. Гречишкина,
Научный руководитель Л.В. Кашинцева
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. В статье рассматриваются теоретические основы анализа профессиональных рисков как одного из ключевых направлений современной системы охраны труда. Раскрываются понятие профессионального риска, основные этапы его анализа, методы оценки и принципы управления рисками. Особое внимание уделяется значению риск-ориентированного подхода для предупреждения производственного травматизма и профессиональных заболеваний. Сделан вывод о необходимости системного применения методов анализа рисков в деятельности современных организаций.

В современных условиях развития промышленности, внедрения новых технологий и усложнения производственных процессов особое значение приобретает обеспечение безопасности труда работников. Несмотря на совершенствование технических средств защиты и нормативно-правового регулирования, уровень производственного травматизма и профессиональной

заболеваемости продолжает оставаться актуальной проблемой для многих отраслей экономики.

Одним из наиболее эффективных инструментов предупреждения негативных последствий производственной деятельности является анализ профессиональных рисков. Его применение позволяет своевременно выявлять опасности, оценивать вероятность возникновения неблагоприятных событий и разрабатывать меры по снижению уровня риска.

Профессиональный риск представляет собой вероятность причинения вреда жизни и здоровью работника в результате воздействия вредных и опасных производственных факторов в процессе трудовой деятельности.

Формирование профессиональных рисков связано с воздействием различных факторов: физических, химических, биологических, психофизиологических, организационных.

К физическим факторам относятся шум, вибрация, повышенная температура, ионизирующее излучение и недостаточная освещенность. Химические факторы включают воздействие токсичных веществ, газов и промышленной пыли. Биологические факторы обусловлены влиянием микроорганизмов и вирусов. Психофизиологические риски связаны с эмоциональным напряжением, стрессом и переутомлением. Организационные факторы возникают вследствие нарушений требований охраны труда, недостаточной квалификации работников или неудовлетворительной организации производственного процесса.

Теоретическая база анализа профессиональных рисков формировалась на основе системного подхода, теории вероятности и концепции управления безопасностью.

Системный подход рассматривает производственную среду как совокупность взаимосвязанных элементов: человека, оборудования, технологий и окружающих условий. Нарушение взаимодействия между элементами системы способно привести к возникновению опасной ситуации.

Вероятностный подход основывается на оценке вероятности возникновения опасного события и тяжести его последствий. В рамках данного подхода уровень риска определяется как сочетание вероятности происшествия и масштаба возможного ущерба.

В современной практике широко используется концепция приемлемого риска, согласно которой абсолютная безопасность является недостижимой. Основная задача управления охраной труда заключается в снижении уровня риска до допустимых значений.

Анализ профессиональных рисков представляет собой последовательный процесс, включающий несколько этапов.

1 этап: идентификация опасностей

На данном этапе выявляются потенциальные источники опасности на рабочих местах. Для этого используются:

- анализ технологических процессов;
- изучение производственной документации;

- результаты специальной оценки условий труда;
- статистические данные о несчастных случаях;
- наблюдение за деятельностью работников.

2. этап: оценка профессиональных рисков

После выявления опасностей осуществляется определение уровня риска путем анализа вероятности возникновения опасной ситуации и тяжести возможных последствий.

Оценка может проводиться с использованием:

- качественных методов;
- количественных методов;
- комбинированных подходов.

Наиболее распространенным инструментом является матричный метод оценки риска, позволяющий классифицировать риски по степени опасности.

3 этап: разработка мероприятий по снижению рисков

На основании результатов оценки разрабатываются меры по минимизации риска:

- устранение опасного фактора;
- модернизация оборудования;
- внедрение безопасных технологий;
- применение средств индивидуальной и коллективной защиты;
- обучение работников требованиям охраны труда.

4 этап: контроль эффективности мероприятий

Завершающим этапом является мониторинг состояния условий труда и оценка эффективности реализованных мер. Управление профессиональными рисками должно носить непрерывный характер.

В практике охраны труда применяются различные методы анализа рисков.

Качественные методы основаны на экспертной оценке и позволяют выявлять потенциальные опасности без использования сложных математических расчетов. К ним относятся: метод экспертных оценок, контрольные листы, метод «Что будет, если?», анализ видов и последствий отказов.

Количественные методы предполагают использование статистических данных и математических моделей для расчета вероятности происшествий и уровня риска. Их преимуществом является высокая точность результатов, однако применение требует значительного объема информации.

Наиболее эффективными считаются комбинированные методы, сочетающие качественный и количественный анализ.

Применение системы анализа профессиональных рисков способствует:

- снижению производственного травматизма;
- предупреждению профессиональных заболеваний;
- повышению уровня безопасности труда;
- сокращению экономических потерь предприятия;
- повышению эффективности производственной деятельности.

Кроме того, риск-ориентированный подход способствует формированию

культуры безопасности и повышению ответственности работников и работодателей за соблюдение требований охраны труда.

Таким образом, анализ профессиональных рисков является важнейшим элементом современной системы охраны труда. Теоретические основы анализа базируются на системном и вероятностном подходах, а также на концепции управления безопасностью.

Применение методов анализа профессиональных рисков позволяет своевременно выявлять опасности, оценивать уровень угрозы и разрабатывать эффективные меры по защите работников. В условиях развития современных технологий и усложнения производственных процессов значение риск-ориентированного подхода продолжает возрастать, что определяет необходимость его дальнейшего совершенствования и внедрения в деятельность организаций.

Список литературы

1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (с изм. и доп.). Конституция Российской Федерации.
2. Козлов, В. И. Вероятностная оценка уровня опасности технологических процессов и производства / В.И. Козлов, Р.М. Лусис // Проблемы охраны труда: тез. докл. III Всесоюз. межвуз. конф. – Кишинев: Штиинца, 1978. – С. 66-67.
3. Глушков В.А. Проблемы создания и функционирования системы управления производственными рисками / В.А. Глушков, Р.А. Сайфутдинов, С.Н. Варюхин // Актуальные вопросы современной науки. – 2015. – № 44-1. – С. 46-55.
4. Гавриченко А.И. Профессиональные опасности, риски и охрана труда (статья) Человек и труд. – 2012. – №5. – С.18-20.

МЕРОПРИЯТИЯ ПО УЛУЧШЕНИЮ УСЛОВИЙ ТРУДА МОНТАЖНИКА РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ И ПРИБОРОВ

Студент гр. 340641/01 А.Г. Кандрашкин,
Научный руководитель Л.Э. Шейнкман
Тульский Государственный университет,
г. Тула

Аннотация. Научно-промышленный комплекс микроэлектроники осуществляет весь цикл производства микроэлектронных плат и интегральных схем – от фотолитографии до финальной сборки и испытания. Анализ условий труда в НПК МЭ показывает, что для профессий присвоен класс 3.2 по совокупности факторов напряжённости и тяжести трудового процесса, однако при этом не проводилась оценка ряда специфических факторов: воздействия ультрафиолетового излучения при фотолитографии, лазерного излучения при операциях лазерной микросварки, а также комплексного воздействия органических растворителей, применяемых в чистых помещениях.

Результаты анализа условий труда на ПАО «НПО «Стрела» выявили следующие пробелы в действующей процедуре СОУТ на предприятии, которые могут быть обусловлены как ограничениями самой Методики, так и практикой её применения: недостаточная детализация оценки воздействия химических веществ при монтажных операциях (в части номенклатуры и уровней компонентов флюсов и припоев); отсутствие оценки воздействия лазерного излучения на рабочих местах в НПК МЭ, несмотря на применение лазерного оборудования; неполная оценка воздействия ЭМП СВЧ при испытании аппаратуры в условиях, приближенных к натурным [1].

Биологическое действие СВЧ-излучения на организм человека носит тепловой и нетепловой характер. Тепловой эффект обусловлен поглощением электромагнитной энергии тканями тела и повышением их температуры [4]. Нетепловое (специфическое) воздействие выражается в изменении электрохимических процессов в клеточных мембранах, нарушении функций нервной, иммунной и эндокринной систем без значительного повышения температуры тканей. Органами-мишенями для СВЧ-излучения являются: хрусталик глаза (риск развития катаракты при хроническом облучении), гонады (нарушение сперматогенеза), центральная нервная система (нейровегетативные нарушения).

Электростатическое поле. Защита электронных компонентов от воздействия электростатических разрядов (ЭСР) является стандартной проблемой радиоэлектронного производства. С одной стороны, воздействие электростатического поля на работника нормируется ПДУ напряжённости электростатического поля 60 кВ/м (экспозиция до 1 часа) / 20 кВ/м (весь рабочий день) [1]. С другой стороны, применяемые антистатические средства (заземляющие браслеты, антистатические полы, ионизаторы воздуха) сами по себе могут создавать дополнительные источники ЭМП, требующие измерения. Данный аспект нередко упускается при проведении СОУТ.

На основе проведённого анализа методик СОУТ и специфики условий труда при производстве радиоэлектронных средств и техники разработан комплекс предложений по совершенствованию процедуры СОУТ, направленных на обеспечение её полноты, достоверности и практической эффективности применительно к данной отрасли.

Первое предложение состоит в необходимости разработки отраслевого дополнения к Классификатору вредных и опасных производственных факторов для предприятий радиоэлектронной промышленности. Действующий Классификатор имеет универсальный характер и не учитывает специфические сочетания факторов, характерные для отдельных видов производств.

Предлагается разработать отраслевое методическое пособие, конкретизирующее: перечень производственных операций, при которых подлежат обязательной идентификации ЭМП СВЧ, лазерное излучение и контактный ультразвук; минимальные требования к обследованию рабочих мест при наличии оборудования соответствующих классов; форму технического задания для организации, проводящей СОУТ, содержащую сведения о составе и

мощности источников ЭМП, применяемых химических веществах и режимах работы оборудования.

Полнота охвата вредных факторов. Внедрение отраслевого дополнения к Классификатору позволит устранить систематические пробелы в идентификации факторов, специфичных для радиолокационного производства. По экспертным оценкам, доля рабочих мест, на которых при применении предлагаемых усовершенствований будут дополнительно идентифицированы ранее неучтённые факторы, может составить 15-20 % от общего числа рабочих мест на предприятиях отрасли [5].

Второе предложение: введение специализированных требований к квалификации экспертов, проводящих СОУТ на предприятиях радиоэлектронной промышленности. Действующие требования к экспертам организаций, проводящих СОУТ (наличие высшего образования по специальности «Общая гигиена» или «Гигиена труда»), не предполагают наличия специальных знаний в области СВЧ-техники, лазерной безопасности или химии электронных материалов. Предлагается ввести дополнительное требование об обязательном прохождении экспертами специализированного повышения квалификации по оценке условий труда в радиоэлектронной промышленности при проведении СОУТ на соответствующих предприятиях.

Третье предложение: введение процедуры контрольных измерений уровней вредных факторов (особенно ЭМП и химических веществ) в периоды максимальной производственной нагрузки, а не только в штатных условиях. На предприятиях, производящих радиолокационную технику, испытания нередко проводятся в особых режимах (испытания на максимальной мощности, приёмосдаточные испытания партии изделий), в ходе которых уровни ЭМП и химических выбросов могут существенно превышать значения, измеренные в обычных производственных условиях [2]. Предлагается дополнить процедуру СОУТ обязательным хронометражем с выявлением «пиковых» технологических периодов и проведением целевых измерений в эти периоды.

Достоверность классификации условий труда. Введение специализированной методики оценки воздействия импульсного СВЧ-излучения позволит корректно отразить реальную опасность данного фактора для соответствующих профессий. В настоящее время применение стандартной методики измерения, ориентированной на непрерывный режим излучения, может как завышать (при высокой скважности), так и занижать (при низкой скважности и высокой пиковой мощности) реальный биологический риск. Корректная оценка данного фактора может привести к изменению класса условий труда на рабочих местах испытателей и регулировщиков аппаратуры.

Снижение профессиональных рисков. Комплексное внедрение предложенных мер обеспечивает «превентивный» эффект: дополнительно идентифицированные вредные факторы влекут обязанность работодателя принять меры по их снижению или устранению. Для радиолокационного производства это означает прежде всего: установку дополнительных экранирующих устройств на испытательных стендах СВЧ, введение

регламентированных перерывов при работе с лазерным оборудованием, организацию эффективной местной вытяжной вентиляции на монтажных рабочих местах [1].

Реализация предложенных мер потребует взаимодействия на нескольких уровнях: на уровне предприятия (формирование полного пакета документации для СОУТ, организация изменённого хронометража, оснащение рабочих мест дополнительными средствами измерений); на уровне отрасли (формирование рабочей группы по разработке отраслевых методических документов, обобщение опыта проведения СОУТ на предприятиях радиоэлектронной промышленности); на уровне регулятора (нормативное закрепление отраслевых требований в форме методических рекомендаций Минтруда России).

Для демонстрации практического применения разработанных предложений рассмотрим пример их реализации применительно к рабочим местам оператора микросварки и монтажника радиоэлектронной аппаратуры и приборов в НПК микроэлектроники ПАО «НПО «Стрела».

Рабочее место монтажника РЭА и приборов. Действующий класс условий труда – 3.2 (напряжённость и тяжесть трудового процесса). При применении предложенного подхода к идентификации факторов дополнительно должны быть оценены: аэрозоли и пары канифольного флюса (при ручной пайке); аэрозоли оловянно-свинцовых или бессвинцовых припоев; параметры световой среды, параметры микроклимата в зоне рабочего места (чистые помещения нередко имеют пониженную температуру относительно нормативных значений). Выявление превышений ПДК для аэрозолей флюса или паров растворителей может повлечь присвоение химического фактора к классу 3.1-3.2, что суммарно с уже имеющимися факторами напряжённости и тяжести приведёт к сохранению или повышению итогового класса условий труда.

Изложенный пример убедительно демонстрирует, что применение предложенных усовершенствований процедуры СОУТ позволяет обеспечить более полную и достоверную оценку условий труда на рабочих местах, характерных для радиолокационного производства. Ключевым условием практической реализации предложений является системная работа по трём направлениям: нормативному (закрепление требований в методических документах), организационному (обеспечение соответствующей квалификации экспертов и полноты документационного обеспечения СОУТ) и техническому (оснащение специализированными средствами измерений).

Список литературы

1. *Электромагнитные излучения и здоровье: биологические эффекты, нормирование, защита / под ред. Ю.Г. Григорьева. – М.: РЦЭМП, 2019. – 288 с.*
2. *СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания / утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 2. – М.: Роспотребнадзор, 2021.*
3. *Профессиональные болезни при воздействии физических факторов / под ред. Н.Ф. Измерова. – М.: Медицина, 2017. – 480 с.*

4. Радиолокация и безопасность труда: практическое пособие / В.А. Богданов [и др.]. – М.: ФГАУ НИИ ДПО, 2020. – 196 с.

5. Федеральный закон от 28.12.2013 № 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда» // СЗ РФ. – 2013. – № 52 (ч. I). – Ст. 6991.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ЗАПЫЛЁННОСТИ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПЫЛИ НА БЕТОННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Студент гр. 340641/01 Н.А. Захаров,
Научный руководитель Л.В. Кашинцева
Тульский государственный университет,
г. Тула

***Аннотация.** В статье рассматривается применение интегрального показателя запылённости для обоснования мероприятий по снижению воздействия пыли на бетонном производстве.*

Производственная пыль является одним из наиболее распространённых вредных факторов на предприятиях строительной индустрии, в том числе на производствах бетонных изделий. Длительное воздействие аэрозолей преимущественно фиброгенного действия (АПФД) – прежде всего цементной и силикатсодержащей пыли – приводит к развитию пневмокониозов, хронических бронхитов и силикоза, которые относятся к необратимым профессиональным заболеваниям органов дыхания. Согласно данным Федеральной службы по труду и занятости, пылевые заболевания лёгких устойчиво занимают ведущее место в структуре профессиональной патологии работников отрасли строительных материалов [1]. Это обуславливает актуальность разработки системных инструментов оценки пылевой нагрузки на рабочих местах и обоснования приоритетных мер защиты.

Действующая в Российской Федерации методология специальной оценки условий труда (СОУТ), регламентированная приказом Минтруда России № 33н от 24.01.2014, предусматривает отдельную оценку пылевого воздействия на каждом рабочем месте по критериям среднесменной концентрации и пылевой нагрузки. В результате расстановка приоритетов при планировании защитных мероприятий носит преимущественно экспертный характер и лишена объективного количественного обоснования [2]. Это особенно значимо для предприятий с развитой производственной структурой, на которых одновременно функционирует несколько источников пылевыведения с существенно различающимися уровнями концентраций.

В настоящей работе предложена методика расчёта интегрального показателя запылённости (ИПЗ) на основе метода взвешенной суммы с дифференцированными весовыми коэффициентами. Такой подход автоматически присваивает наибольший вес рабочим местам с максимальным

превышением норматива, что исключает субъективность при принятии управленческих решений. Методика целиком опирается на данные СОУТ и не требует проведения дополнительных измерений. Для интерпретации полученных значений разработана четырёхдиапазонная шкала: ИПЗ < 1,0 – норматив соблюден; 1,0-1,5 – умеренное превышение; 1,5-2,0 – значительное превышение; > 2,0 – критическое состояние [3].

Методика апробирована на предприятии ООО «ПК Стандартпарк» (г. Тула) – производителе изделий систем поверхностного водоотвода из бетона методом вибропрессования. По результатам СОУТ 2023 года среднесменная концентрация АПФД на рабочих местах машинистов формовочных агрегатов составила 13,0 мг/м³ (превышение ПДКсс в 1,63 раза), на рабочем месте оператора бетоносмесительного узла – 10,0 мг/м³ (превышение в 1,25 раза). Показатель пылевой нагрузки у машинистов превышает контрольное значение в 2,04 раза. Расчёт ИПЗ для бетонного производства дал значение 1,43, что соответствует диапазону умеренного превышения нормативов. Анализ частных показателей ИПЗ_i показал, что рабочие места машинистов и помощников формовщика формируют 75,4 % суммарного значения показателя, что количественно обосновывает их первоочередность при планировании защитных мер.

На основе анализа частных вкладов ИПЗ_i разработан комплекс приоритизированных мероприятий. В качестве мер первого приоритета предусмотрен монтаж местной вытяжной вентиляции с бортовыми щелевыми отсосами у пяти формовочных агрегатов (суммарный расход 7500 м³/ч), обеспечивающей снижение среднесменной концентрации пыли на рабочих местах до уровня ≤ 5,0 мг/м³. К мерам второго приоритета относятся аспирационное укрытие загрязненного бункера бетоносмесительного узла (2000 м³/ч) и герметизация загрузочного тракта цемента. Прогнозный расчёт показывает, что реализация мероприятий первого и второго приоритетов обеспечит снижение ИПЗ с 1,43 до значения ≤ 0,60 – то есть перевод бетонного производства в зону соответствия нормативным требованиям. Доля рабочих мест с превышением ПДКсс сократится с 75 % до нуля, а класс условий труда по пылевому фактору улучшится с 3.1 до 2. Применение ИПЗ в качестве целевого показателя мониторинга позволяет количественно оценивать эффективность реализованных мер при проведении периодического производственного контроля запылённости.

Список литературы

1. Гигиена труда: учебник / под ред. Н.Ф. Измерова, В.Ф. Кириллова. – 2-е изд., перераб. и доп. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2016. – 480 с.
2. Приказ Минтруда России от 24.01.2014 № 33н «Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда...» (с изм. на 27.04.2020). – М., 2020.
3. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». – М.: Роспотребнадзор, 2021.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ПРИ ПОМОЩИ ПНЕВМОПРОВОДА В ЦЕХЕ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Студент гр. 340641/01 А.П. Бобков,
Научный руководитель Л.Э. Шейнкман
Тульский государственный университет,
г. Тула

***Аннотация.** Переработка полимерных материалов является одним из наиболее развивающихся секторов промышленности: в России объём производства изделий из пластмасс ежегодно увеличивается, а доля вторичной переработки полимеров стабильно растёт. Вместе с тем данная отрасль характеризуется многофакторным воздействием вредных производственных факторов на персонал: выделение летучих органических соединений, образование аэрозолей полимерной пыли, значительные физические нагрузки при ручных операциях.*

Современные технологии переработки полимеров требуют высокой степени автоматизации, точности и надёжности на всех этапах производственного цикла. Одним из ключевых звеньев в процессе производства полимерных гранул является стадия транспортировки расплава или полимерной пушенки от реактора к линии грануляции. В этом контексте особое значение приобретает устройство пневмопровода подачи полимерной пушенки, обеспечивающее непрерывную, стабильную и безопасную подачу материала в гранулятор.

Для замены ручной транспортировки на производстве переработки полимерных материалов предлагается спроектировать и внедрить всасывающую пневмотранспортную систему для подачи полипропиленовой пушénки с участка мойки на участок грануляции. Выбор всасывающей (вакуумной) схемы обусловлен рядом технологических преимуществ: закрытый характер системы исключает пылевыведение в атмосферу цеха даже при случайных нарушениях герметичности; материал перемещается навстречу потоку воздуха, что снижает риск засорения узлов при остановке; управление подачей осуществляется изменением разрежения без необходимости регулировки давления [1].

Ключевым свойством транспортируемого материала, влияющим на параметры системы, является насыпная плотность. Для полипропиленовой пушénки она составляет 100-150 кг/м³ (принято 120 кг/м³) – значительно ниже, чем у гранулята (около 500-600 кг/м³). Столь малая насыпная плотность обусловлена рыхлой, хлопьевидной структурой материала после дробления и определяет необходимость применения относительно высоких скоростей воздушного потока для надёжного транспортирования без осаждения. Фракционный состав пушénки – частицы до 7-10 мм – предъявляет требования к минимальному диаметру трубопровода: он должен превышать максимальный размер частиц не менее чем в 10-15 раз во избежание засорения.

Ключевым свойством транспортируемого материала, влияющим на пара-

метры системы, является насыпная плотность. Для полипропиленовой пушёнki она составляет 100-150 кг/м³ (принято 120 кг/м³) – значительно ниже, чем у гранулята (около 500-600 кг/м³). Столь малая насыпная плотность обусловлена рыхлой, хлопьевидной структурой материала после дробления и определяет необходимость применения относительно высоких скоростей воздушного потока для надёжного транспортирования без осаждения. Фракционный состав пушёнki – частицы до 7-10 мм – предъявляет требования к минимальному диаметру трубопровода: он должен превышать максимальный размер частиц не менее чем в 10-15 раз во избежание засорения [2].

Концентрации химических веществ (формальдегид, уксусная кислота, этилацетат) формируются в процессе экструзии полипропилена при температуре 200-250 °С. Пневмопровод не изменяет температурный режим экструдера и не влияет на химический состав продуктов термодеструкции. Поэтому эти факторы относятся к группе неизменяемых и включаются в модель с константными значениями, верифицируемыми по данным повторных измерений. Фактически наблюдаемое снижение концентраций химических веществ.

Пневмопровод обеспечивает герметичность процесса, минимизирует контакт полимера с окружающей средой, предотвращает окисление и влагопоглощение, а также позволяет организовать подачу на значительные расстояния и через сложные трассы.

Для обеспечения надёжности работы система оснащена датчиком дифференциального давления на входе в воздухоудку – резкое падение разрежения ниже уставki свидетельствует о засорении трубопровода или открытии несанкционированного отвода. При аварийной остановке воздухоудки предусмотрена функция автоматической продувки (реверс потока на 5–10 с) для вывода остатков материала из трубы и предотвращения его слёживания. Система полностью автоматизирована и не требует присутствия оператора при транспортировке.

Пневмотранспортная система функционирует следующим образом. Регенеративная воздухоудка, установленная в конце трубопровода (рядом с участком грануляции), создаёт разрежение ~10 кПа относительно атмосферного давления. Перепад давлений формирует воздушный поток со скоростью 18 м/с, который, проходя через всасывающий патрубок на участке мойки, захватывает частицы пушёнki и несёт их по стальному трубопроводу диаметром 160 мм.

Конструктивно система включает следующие узлы. На загрузочном конце расположен приёмный бункер с решёткой для задержания крупных включений (обрывков мешков, посторонних предметов) и регулируемой заслонкой для управления расходом.

Режим разрежённого пневмотранспорта ($\mu = 0,32$ кг/кг) был выбран осознанно: при низкой концентрации материала в потоке существенно снижается абразивный износ поворотов трубопровода, уменьшается вероятность образования пробок, снижается пиковое давление при пульсациях. Это обеспечивает длительный межремонтный ресурс системы и стабильность подачи.

Оптимизация режимов работы пневмопровода (давление, расход воздух) позволяет сократить энергопотребление системы на 15-25 % без потери производительности». Энергопотребление пневмопровода напрямую зависит от давления сжатого воздуха и его расхода. Часто системы работают с избыточным запасом по этим параметрам – это создаёт неоправданную нагрузку на компрессоры и ведёт к перерасходу электроэнергии [1].

Пневмопровод должен быть установлен вертикально или под углом не менее 60° к горизонту для предотвращения завалов материала. Сечение и изгибы: Трубопровод должен иметь постоянное сечение, минимальное количество поворотов с радиусами изгиба более 1000 мм. Материалы и соединения: Выбор материалов зависит от условий эксплуатации (температура, давление, агрессивные среды). Все соединения должны быть герметичными. Предохранительные клапаны: для предотвращения превышения давления устанавливаются клапаны, настроенные на срабатывание при достижении 90-95 % от максимально допустимого давления.

Полипропиленовая пыль (пушёнка) является взрывопожароопасным веществом с нижним пределом воспламенения 27-30 г/м³, температурой самовоспламенения 388-420 °С и теплотой сгорания ~46 МДж/кг. Участок дробления и зона разгрузочного циклона пневмопровода отнесены к категории Б по СП 12.13130.2009 (взрывопожароопасные), что определяет повышенные требования к электрооборудованию, вентиляции и заземлению.

Ограждения и кожухи: Вращающиеся валы и муфты должны быть снабжены защитными кожухами. Средства индивидуальной защиты: при работе с пневмоинструментом необходимо использовать защитные очки, специальную одежду, наушники или беруши, респираторы или маски, перчатки. Запрещённые действия: нельзя направлять забивные инструменты на людей, запрещено просовывать руки под вращающиеся илидвигающиеся узлы инструмента [3].

Внедрение системы пневматической транспортировки дроблёнки является обоснованным технологическим мероприятием, способным снизить как запылённость воздуха рабочей зоны, так и физическую нагрузку на работников.

Таким образом, пневмопровод является эффективным решением для транспортировки сыпучих материалов в промышленности. Грамотное проектирование, подбор материалов и режимов работы. Такая установка окупается быстро, повышает культуру производства и подходит для, полимерной отрасли [2].

Список литературы

1. Коршак В.В. *Технология пластических масс: учебник для вузов* / В.В. Коршак [и др.]; под ред. В.В. Коршака. – М.: Химия, 1985. 560 с.
2. Воробьев А.А. *Пневмотранспортные установки: справ.* / А.А. Воробьев [и др.]; под ред. Б. А. Аннинского. – Л.: Машиностроение, 1969. – 199 с.
3. Островский Г.М. *Пневматический транспорт сыпучих материалов в химической промышленности.* – Л.: Химия, 1984. – 104 с.

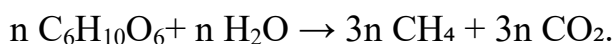
ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ СВАЛОЧНЫХ ГАЗОВ, ВОЗНИКАЮЩИХ НА ПОЛИГОНАХ ТБО, И ИХ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Студент гр. 340651/02 М.А. Кудрявцев,
Научный руководитель В.М. Панарин
Тульский государственный университет,
г. Тула

***Аннотация.** В статье на основе анализа актуальных российских научных публикаций рассматривается проблема воздействия компонентов свалочного газа на здоровье населения. Детально анализируются химические механизмы токсического действия сероводорода, бензола и других летучих органических соединений, а также данные о рисках для проживающих вблизи полигонов. Отдельный раздел посвящен инженерно-техническим решениям для редевелопмента бывших мусорных полигонов под жилую застройку и анализу современных подходов к мониторингу и дегазации.*

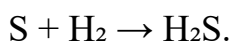
Свалочный газ (биогаз) образуется в результате сложных биохимических процессов анаэробного разложения органической фракции отходов, захороненных на полигонах. Хотя его основными компонентами являются метан (CH_4) и диоксид углерода (CO_2), именно микропримеси токсичных соединений представляют наибольшую угрозу для здоровья населения.

Процесс газообразования может быть описан упрощенным стехиометрическим уравнением разложения органического вещества (в частности, целлюлозы, формула которой может быть представлена как $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_6$):



Это уравнение показывает, как под действием микроорганизмов сложные органические полимеры превращаются в основные компоненты свалочного газа – метан и углекислый газ. Однако помимо них образуется множество токсичных микропримесей [3].

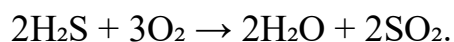
Сероводород (H_2S) является одним из наиболее распространенных и опасных компонентов свалочного газа, занимая до 3 % его объема. Он образуется преимущественно при гниении серосодержащих органических веществ, в первую очередь пищевых отходов, а также может быть получен в результате прямой реакции серы с водородом в условиях разложения:



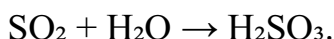
Запах «тухлых яиц», характерный для этого газа, обманчив: при высоких концентрациях сероводород парализует обонятельный нерв, и человек перестает ощущать опасность [7].

Механизм действия. Токсичность сероводорода обусловлена его способностью блокировать фермент цитохромоксидазу в митохондриях, что приводит к нарушению клеточного дыхания и развитию тканевой гипоксии. По механизму действия он напоминает цианиды [1].

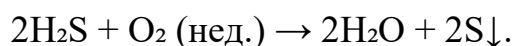
Химические превращения в атмосфере и организме. Сероводород – сильный восстановитель. При попадании в атмосферу и легкие он может окисляться. При достаточном количестве кислорода происходит полное окисление с образованием диоксида серы (сернистого газа):



Диоксид серы (SO_2) – сам по себе токсичный газ, который при контакте со слизистыми оболочками образует сернистую кислоту (H_2SO_3), вызывая сильное раздражение:



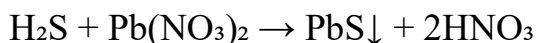
При недостатке кислорода сероводород окисляется не полностью, с выделением элементарной серы:



Клиническая картина отравления. Степень тяжести поражения напрямую зависит от концентрации и длительности воздействия:

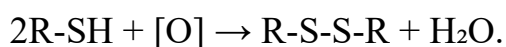
- легкое отравление – раздражение глаз и верхних дыхательных путей;
- отравление средней тяжести – тошнота, рвота, головная боль, головокружение;
- тяжелое (острое) отравление – при вдыхании высоких концентраций сероводорода возникает резкое нарушение дыхания вплоть до его остановки, судороги, потеря сознания и кома [5].

Качественная реакция. Обнаружение сероводорода даже в малых концентрациях возможно с помощью реакции с солями свинца, которая используется в лабораторном анализе воздуха:



Образование черного осадка сульфида свинца (PbS) – не только аналитический признак, но и показатель способности сероводорода реагировать с металлами, в том числе входящими в состав ферментов организма, что и лежит в основе его токсичности [2].

Меркаптаны (тиолы, R-SH) – это серосодержащие органические соединения общей формулы R-SH (где R – углеводородный радикал). Они образуются при разложении серосодержащих аминокислот (метионина, цистеина) и обладают чрезвычайно резким запахом, ощутимым даже в ничтожных концентрациях (на уровне $1:10^{11}$). Эксперты подчеркивают: «безопасных меркаптанов не бывает» – эти вещества высокотоксичны, поражают центральную нервную систему. Процесс их окислительного детоксикации в организме или окружающей среде может протекать по реакции:



В результате образуются менее токсичные дисульфиды (R-S-S-R), однако в условиях свалочного газа этот процесс идет медленно, и основное воздействие оказывают именно исходные меркаптаны [8].

Свалочный газ содержит сложную смесь летучих органических соединений, многие из которых обладают канцерогенными, мутагенными и нейротоксическими свойствами. При исследовании полигонов идентифицировано около 140-160 различных органических соединений.

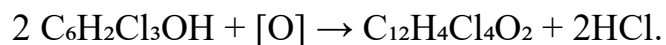
Ароматические углеводороды. Эта группа веществ представляет особую опасность из-за своей устойчивости и способности к биоаккумуляции.

Бензол (C₆H₆) – простейший ароматический углеводород, безусловный канцероген, для которого не существует безопасного порога воздействия. Метаболизм бензола в организме происходит в печени с участием ферментов цитохрома Р-450. В ходе многоступенчатого окисления образуются высокореакционноспособные промежуточные продукты (эпоксиды), которые ковалентно связываются с ДНК и белками, вызывая мутации и подавляя кроветворную функцию костного мозга. Конечными продуктами метаболизма являются фенол, катехол, гидрохинон и муконовая кислота, которые выводятся с мочой.

Толуол (C₇H₈) и ксилолы (C₈H₁₀) обладают выраженным нейротоксическим действием. Их метаболизм идет по пути окисления метильной группы с образованием бензойной кислоты (из толуола), которая затем конъюгирует с глицином и выводится в виде гиппуровой кислоты.[6]

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). Эти соединения, такие как бенз(а)пирен, образуются при тлении и неполном сгорании органических отходов, особенно пластиков и синтетических материалов. Международное агентство по изучению рака (IARC) классифицирует бенз(а)пирен как канцероген для человека. Молекула бенз(а)пирена подвергается в организме ферментативному окислению с образованием диолэпоксидов, которые способны прочно встраиваться в структуру ДНК, образуя ДНК-аддукты, что инициирует процесс канцерогенеза [10].

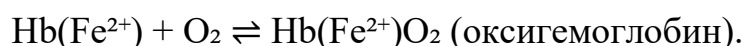
Диоксины и фураны. Наиболее токсичным представителем является 2,3,7,8-тетрахлордибензо-п-диоксин. Эти соединения образуются при сжигании хлорсодержащих материалов (ПВХ, некоторые виды упаковки) в условиях недостатка кислорода. Общая схема образования диоксинов может быть представлена как конденсация двух молекул хлорфенолов:



Диоксины относятся к классу «суперэкоотоксикантов» – кумулятивных ядов. Их молекулы способны точно встраиваться в рецепторы живых организмов (Ah-рецептор), подавляя или извращая их жизненные функции.

Угарный газ (монооксид углерода, СО) образуется при неполном сгорании органических веществ в толще свалки, особенно при тлении пластиков и синтетических материалов. Механизм его токсичности уникален и хорошо изучен на молекулярном уровне [3, 4].

Гемоглобин (Hb) – белок эритроцитов, переносящий кислород. Кислород связывается с двухвалентным железом (Fe²⁺) гема обратимо:



Угарный газ обладает в 200-300 раз более высоким сродством к гемоглобину, чем кислород. Он также связывается с железом гема, но образует гораздо более прочное соединение – карбоксигемоглобин ($\text{Hb(Fe}^{2+}\text{)CO}$):



Эта реакция практически необратима в физиологических условиях. Связывание CO с гемоглобином блокирует его транспортную функцию:

Уменьшается количество гемоглобина, доступного для переноса кислорода.

Происходит сдвиг кривой диссоциации оксигемоглобина: оставшийся связанный кислород отдается тканям хуже (эффект Холдейна).

В результате даже при нормальном парциальном давлении кислорода в воздухе ткани организма испытывают тяжелое кислородное голодание (гипоксию). При концентрациях CO в воздухе 0,1 % сатурация гемоглобина угарным газом может достигать 60-70 %, что приводит к потере сознания и смерти.

Представленные химические формулы и уравнения реакций наглядно демонстрируют, что токсическое действие свалочных газов имеет под собой строгую молекулярную основу. От образования сероводорода при гниении серосодержащих аминокислот до блокировки клеточного дыхания цианидоподобным действием H_2S и необратимого связывания CO с гемоглобином – каждое из этих воздействий может быть описано языком химических реакций. Понимание этих механизмов на молекулярном уровне подтверждает необходимость строжайшего контроля за эмиссией свалочных газов и недопустимость проживания людей в зоне их влияния.

Список литературы

1. *О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году. Проект Государственного доклада.* – М.: Минприроды России; ООО «Интеллектуальная аналитика»; ФГБУ «Дирекция НТП»; Фонд экологического мониторинга и международного технологического сотрудничества, 2024. – 707 с.
2. Локтионов О.А. Кондратьева О.Е. Юшин В.В. Оценка канцерогенных рисков от выбросов химических веществ полигона твердых коммунальных отходов // *Медицина труда и промышленная экология.* – 2019. – Т. 27, № 5. – С. 52-58.
3. Игнатьева Л.П. Гигиеническая оценка окружающей среды в местах размещения полигонов твердых бытовых отходов / Л.П. Игнатьева, М.О. Потапова, Н.В. Корытченкова // *Байкальский медицинский журнал.* – 2024. – Т. 103, № 2. – С. 124-131.
4. Некрасов Б.В. *Основы общей химии: в 2 т.* – 3-е изд., испр. и доп. / Б.В. Некрасов. – Москва: Химия, 1973. – Т. 1. – 656 с.
5. Патрушева М.П. Оценка влияния полигонов твердых бытовых отходов на состояние водных объектов на территории московской области /

М.П. Патрушева // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2022. – Т. 30, № 3. – С. 287-296.

6. Мозжегорова Ю.В. Оценка системы дегазации полигона тко "Кучино" / Ю.В. Мозжегорова, Н.Н. Слюсарь, Ю.И. Пирогова // Экология и промышленность России. – 2021. – № 7. – С. 28-33.

7. Зайцева Н.В. Методология оценки рисков здоровью населения при воздействии химических, физических и биологических факторов для определения показателей безопасности продукции (товаров) / Н.В. Зайцева, И.В. Май, П.З. Шур, Д.А. Кирьянов // Анализ риска здоровью, 2023. – 328 с.

8. Куценко С.А. Основы токсикологии: учебное пособие / С.А. Куценко. – Санкт-Петербург: Фолиант, 2020. – 416 с.

9. О.В. Долгих Иммунологические и генетические маркеры воздействия ароматических углеводов на работающих / О.В. Долгих, А.В. Кривцов, А.М. Гугович, Р.А. Харахорина, Д.В. Ланин, Т.С. Лыхина, М.А. Сафонова // Медицина труда и промышленная экология – 2022. – № 8. – С. 32-38.

10. Учебник по токсикологии и медицинской защите в экстремальных ситуациях: Экстремальная биомедицина, 2021. – 512 с.

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Студентка гр. 3340641/01 А.А. Левченкова,
Научный руководитель В.М. Панарин
Тульский государственный университет,
г. Тула

***Аннотация.** Современное производство – это сложная экосистема, где высокие технологии соседствуют с рисками для человека и окружающей среды. Техносферная безопасность становится не просто обязательным требованием законодательства, а стратегическим элементом устойчивого развития предприятий. В этой статье разберём, что включает в себя техносферная безопасность сегодня, какие угрозы актуальны и как передовые подходы помогают минимизировать риски.*

Техносфера – это часть окружающей среды, преобразованная и созданная человеком для удовлетворения своих потребностей: заводы, электростанции, транспортные системы, инфраструктура. Техносферная безопасность – это комплекс мер, направленных на защиту человека, природы и имущества от негативных воздействий техносферы [1].

На современных предприятиях риски формируются под влиянием множества факторов:

- технологическая сложность – автоматизация и цифровизация увеличивают производительность, но создают новые уязвимости: сбои в программном обеспечении, кибератаки на промышленные системы управления (ICS) могут привести к масштабным авариям;

- износ оборудования – на многих предприятиях значительная часть оборудования эксплуатируется сверх нормативного срока, что повышает вероятность отказов и аварий;
- человеческий фактор – ошибки персонала, нарушение регламентов, недостаточная подготовка остаются одной из главных причин инцидентов;
- экологические риски – выбросы вредных веществ, образование отходов, загрязнение водных ресурсов – эти проблемы требуют системного подхода к управлению воздействием на окружающую среду;
- внешние угрозы – природные катастрофы, геополитические риски, экономические кризисы могут нарушить работу производственных цепочек и создать аварийные ситуации [2].

Для эффективного управления рисками предприятия внедряют комплексные системы безопасности, основанные на следующих принципах:

1. Риск-ориентированный подход. Вместо формального соблюдения нормативов компании проводят детальную оценку рисков, определяют наиболее опасные участки и концентрируют ресурсы на их защите. Используются методы HAZOP (Hazard and Operability Study), FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) и другие инструменты анализа опасностей [3].



Рис. 1. Риск-ориентированный подход

2. Цифровые технологии мониторинга. Системы промышленного интернета вещей (IIoT) позволяют в реальном времени отслеживать состояние оборудования, параметры технологических процессов и условия труда. Датчики вибрации, температуры, давления, газоанализаторы передают данные в центры управления, где алгоритмы искусственного интеллекта выявляют аномалии и прогнозируют возможные отказы.

3. Автоматизированные системы управления безопасностью. Интегрированные платформы собирают данные из различных источников: систем видеонаблюдения, контроля доступа, экологического мониторинга, журналов инцидентов. Это позволяет создать единую картину состояния безопасности на предприятии и оперативно реагировать на угрозы.

4. Обучение и формирование культуры безопасности. Современные программы обучения используют VR-тренажёры для отработки действий в аварийных ситуациях, геймификацию для повышения вовлечённости персонала, микрообучение для постоянного обновления знаний. Важным элементом является развитие культуры безопасности, когда каждый сотрудник осознаёт свою ответственность за предотвращение инцидентов.



Рис. 2. Обучение персонала

5. Экологическое управление. Внедрение принципов циркулярной экономики, технологий очистки выбросов и сточных вод, систем переработки отходов позволяет не только снизить негативное воздействие на окружающую среду, но и повысить экономическую эффективность производства.

На металлургических предприятиях успешно применяются системы предиктивной аналитики для прогнозирования выхода из строя критически важного оборудования. Например, анализ вибрационных характеристик прокатных станов позволяет планировать ремонтные работы до возникновения аварийных ситуаций, что снижает простои и затраты на внеплановый ремонт.

В нефтегазовой отрасли используются беспилотные летательные аппараты (БПЛА) для мониторинга трубопроводов и выявления утечек. Тепловизионные камеры и газоанализаторы на дронах обнаруживают проблемы на ранних стадиях, предотвращая крупные аварии и экологические катастрофы.

Химические производства внедряют системы автоматического отключения технологических процессов при отклонении параметров от нормы. Такие системы могут самостоятельно остановить подачу реагентов, активировать системы нейтрализации и оповестить персонал о возникшей угрозе.

Будущее техносферной безопасности связано с дальнейшей цифровизацией и автоматизацией процессов управления рисками. Развитие технологий искусственного интеллекта позволит создавать более точные прогнозные модели, способные учитывать множество взаимосвязанных факторов. Роботизация опасных операций снизит риски для персонала, а применение блокчейн-технологий обеспечит прозрачность и достоверность данных о состоянии безопасности [4].

Важным направлением станет интеграция систем безопасности с концепцией устойчивого развития. Предприятия будут стремиться не только минимизировать риски, но и создавать производственные системы, которые гармонично вписываются в окружающую среду и способствуют долгосрочному благополучию общества.

Техносферная безопасность современного производства – это динамичная область, которая постоянно развивается вместе с технологиями и требованиями общества. Эффективная система безопасности требует комплексного подхода, объединяющего технические решения, организационные меры и человеческий фактор. Инвестиции в безопасность сегодня – это не затраты, а вложения в устойчивое будущее предприятия, его репутацию и конкурентоспособность. В условиях растущей сложности производственных систем и ужесточения экологических требований техносферная безопасность становится ключевым фактором успеха современного бизнеса.

Список литературы

1. Белов С.В. *Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность): учебник для академического бакалавриата*. – 5-е изд., перераб. и доп. / С.В. Белов. – Москва: Юрайт, 2017. – 350 с.
2. Дмитренко В.П. *Техносферная безопасность: введение в направление образования: учебное пособие* / В.П. Дмитренко, Е.М. Мессинева, А.Г. Фетисов. – Москва: ИНФРА-М, 2024. – 134 с.
3. Есипов Ю.В. *Научно-прикладные задачи техносферной безопасности: монография* / Ю.В. Есипов, Б.Ч. Месхи, М.С. Джиладжи. – Москва: ИНФРА-М, 2025. – 123 с.
4. Кулагина Т.А. *Техносферная безопасность Красноярского края: монография* / Т.А. Кулагина, Т.А. Енютина, О.А. Козин. – 2023. – 216 с.

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ: ТРЕБОВАНИЯ К ЭВАКУАЦИОННЫМ ПУТЯМ, СИСТЕМАМ СИГНАЛИЗАЦИИ И ПЕРВИЧНЫМ СРЕДСТВАМ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Студент группы 3340641/01 К.А. Самохвалов,
Научный руководитель Л.В. Кашинцева
Тульский государственный университет,
г. Тула

***Аннотация.** Настоящий тезис посвящен анализу требований пожарной безопасности в части организации эвакуационных путей, функционирования систем сигнализации и применения первичных средств пожаротушения. В работе рассматриваются актуальные нормативные документы, регламентирующие данные аспекты, с целью обеспечения безопасной эвакуации людей из зданий и сооружений при возникновении пожара.*

Пожарная безопасность является критически важным элементом эксплуатации любого здания или сооружения. Эффективность мер по защите жизни и здоровья людей напрямую зависит от строгого соблюдения нормативных требований к проектированию и содержанию путей эвакуации, надежности систем обнаружения и оповещения о пожаре, а также доступности и исправности средств для его тушения на начальной стадии. Современные своды правил (СП) МЧС России устанавливают комплексный подход к обеспечению этих условий.

Требования к эвакуационным путям. Эвакуационные пути – это маршруты, предназначенные для безопасного движения людей наружу или в безопасную зону. Их проектирование и эксплуатация строго регламентированы:

- **Ширина и протяженность:** количество и ширина эвакуационных выходов определяются исходя из расчетного количества людей, этажности и функционального назначения здания. Пути должны быть свободны от загромождений и обеспечивать беспрепятственное движение [1].

- **Маркировка и освещение:** на протяжении всего маршрута эвакуации необходимо размещать знаки пожарной безопасности и указатели направления движения. Знаки должны соответствовать ГОСТ 12.4.026, быть видимыми в условиях задымления (часто выполняются из фотолюминесцентных материалов). Эвакуационное (автоматическое аварийное) освещение должно включаться автоматически при срабатывании системы пожарной сигнализации и обеспечивать необходимый уровень освещенности на уровне пола не менее 1 лк вдоль центральной линии прохода [1].

- **Конструктивные элементы:** двери на путях эвакуации должны открываться по направлению выхода из здания. Запоры на дверях должны обеспечивать возможность их свободного открывания изнутри без ключа. При обнаружении пожара электроуправляемые замки на таких дверях должны разблокироваться автоматически в течение не более 10 секунд [2].

2. Системы сигнализации и оповещения. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре (СОУЭ) предназначена для

своевременной передачи сигналов тревоги и инструкций персоналу и посетителям.

- Способы оповещения: применяются звуковые, речевые, световые и тактильные способы. Выбор способа зависит от уровня шума в помещении, наличия людей с нарушениями слуха и других факторов. Например, в помещениях с постоянным шумом свыше 85 дБА звуковое оповещение обязательно дополняется световым и/или тактильным [3].

- Зонирование: здание может делиться на зоны оповещения. Это позволяет организовать поэтапную эвакуацию, что особенно актуально для высотных и многофункциональных комплексов, чтобы избежать давки на лестницах.

- Технические характеристики: уровень звука сигнала оповещения должен превышать уровень постоянного шума не менее чем на 15 дБ и составлять не менее 65 дБА в любой точке защищаемого помещения. Для спальных помещений этот показатель у изголовья кровати должен быть не менее 75 дБА. Система должна активироваться автоматически не позднее чем через 32 секунды после поступления сигнала от автоматической установки пожарной сигнализации (АУПС) [3].

- Управление: управление системой осуществляется с диспетчерского пульта, который обеспечивает прием вызовов, мониторинг состояния оборудования и ручное включение/отключение оповещения.

3. Первичные средства пожаротушения. Первичные средства предназначены для ликвидации возгорания в самой начальной стадии силами персонала до прибытия профессиональных пожарных подразделений.

- Огнетушители: размещение огнетушителей должно обеспечивать свободный доступ к ним. Расстояние от любой точки помещения до ближайшего огнетушителя не должно превышать установленных норм (обычно 20-30 метров в зависимости от класса помещения).

- Пожарные краны: внутренний противопожарный водопровод (ВПВ) с комплектом пожарных кранов (ПК) размещается в шкафчиках на высоте 1.35 м от пола. Каждый кран должен быть укомплектован рукавом и стволом. Ручные пожарные извещатели (кнопки) устанавливаются рядом с ПК.

- Другие средства: к первичным средствам также относятся ящики с песком, бочки с водой, кошмы (противопожарные полотна), которые применяются в зависимости от специфики объекта.

Список литературы

1. СП 3.13130 «Свод правил. Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре» (утвержден приказом МЧС России от 26.02.2026 № СП 3.13130).

2. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

3. Правила противопожарного режима в Российской Федерации (утверждены постановлением Правительства РФ от 16.09.2020 № 1479).

ГЛАВНЫЕ ФАКТОРЫ ОПАСНОСТИ НА ГЛУБИНЕ

Студент гр. 3340641/01 А.С. Фролов,
Научный руководитель А.А. Маслова
Тульский государственный университет,
г. Тула

***Аннотация.** В данной работе рассматриваются опасности в ограниченно замкнутых пространствах (колодцах, резервуарах), связанные с присутствием токсичных газов и взвешенных веществ. Описаны методы контроля воздушной среды с помощью газоанализаторов и ламп ЛБВК, а также способы удаления загрязнений посредством принудительной вентиляции.*

Колодцы, коллекторы, насосные станции канализации (КНС), отстойники, все они являются ограниченно замкнутыми пространствами (ОЗП) и зонами повышенной опасности [1]. Основная угроза здесь это дефицит кислорода, токсичные и взрывоопасные газы, а также взвешенные вещества (аэрозоли, пыль, туман). Взвешенные частицы, особенно биологический аэрозоль из сточных вод и мелкодисперсная пыль от коррозии, способны проникать глубоко в легкие, вызывая тяжелые заболевания [2].

В условиях плохой вентиляции в ОЗП скапливаются продукты гниения и разложения. Основными газами являются метан (CH_4), сероводород (H_2S) и диоксид углерода (CO_2). Вместе с ними в воздух поднимаются капли влаги, содержащие патогенные микроорганизмы, формируя опасную взвесь [2].

Контроль атмосферы является наиважнейшими и первоочередная мера безопасности. Он осуществляется с помощью следующих средств [4]:

1. Лампы ЛБВК: принцип действия основан на изменении характера горения пламени в зависимости от окружающей газовой среды. При наличии взрывоопасных и горючих газов ореол пламени увеличиваться и появляется копоть. При дефиците кислорода ореол пламени уменьшается вплоть до угостания. При отсутствии загрязнения рабочей среды – пламя горит ровно и без копоти.

2. Газоанализаторы: основной современный инструмент. Бывают переносными (индивидуальными) для постоянного ношения рабочим и стационарными/передвижными с выносными датчиками для предварительного анализа. Они измеряют концентрацию кислорода (O_2), горючих газов (%НКПР), угарного газа (CO) и сероводорода (H_2S) [4].

3. Пылемеры (аэрозольные счетчики): специализированные приборы, работающие на принципе рассеяния света, для определения концентрации взвешенных частиц в мг/м^3 .

Самое главное правило – контроль должен быть непрерывным – до входа, во время работы и при выходе из ОЗП.

В случае если рабочая среда загрязнена и замеры показали превышение предельно допустимых концентраций (ПДК), работы запрещены. Необходимо

привести атмосферу в норму, что можно сделать несколькими основными методами [3].

1. Принудительная вентиляция: наиболее эффективный метод, который осуществляется при помощи подачи чистого воздуха приточно-вытяжным вентилятором через гибкий рукав, опущенный в нижнюю часть ОЗП. Чистый воздух вытесняет загрязненный через верхние люки. При помощи вентилятора также можно осуществить откачку загрязненного воздуха из нижней точки пространства. Вентиляция должна проводиться не менее 15-20 минут до первого замера и поддерживаться на протяжении всего времени работ.

2. Гидродинамическая промывка: для канализационных сетей предварительная промывка водой под высоким давлением вымывает осевший ил – основной источник гниения и образования биогаза.

3. Естественная вентиляция небольших резервуаров (колодец, камера)

Если снизить концентрацию опасных веществ не представляется возможным используются специализированные для выполнения данных работ СИЗ:

1. Изолирующие дыхательные аппараты: обязательны при недостатке кислорода (<19 %) или высокой концентрации токсинов. Это аппараты на сжатом воздухе (АСВ) или шланговые противогазы (ППШ), подающие воздух с поверхности [2].

2. Фильтрующие СИЗОД: респираторы и противогазы со сменными фильтрами. Выбор фильтра зависит от вещества: от простых противопыльных до комбинированных (газопылезащитных).

3. Защита кожи и глаз: костюмы химической защиты, резиновые сапоги и перчатки для предотвращения контакта с биологической взвесью.

Работа в ОЗП – это всегда компромисс между производственной необходимостью и риском для жизни и здоровья. Понимание природы опасностей, будь то невидимый газ или патогенная взвесь, является первым шагом к безопасности. Современная промышленность предоставляет мощные и высокотехнологичные инструменты контроля: от простых ламп ЛБВК до сложных электронных газоанализаторов и пылемеров. Однако решающим и самым важным фактором в данном вопросе является строгая дисциплина, неукоснительное следование инструкциям по охране труда и готовность к нестандартным решениям.

Список литературы

1. Ретин Б.Н. Водоснабжение и водоотведение. Наружные сети и сооружения. Справочник / Б.Н. Ретин, С.С. Запорожец, В.Н. Ереснов [и др.]; под ред. Б.Н. Ретина. – М.: Высш. шк., 1995. – 431 с.: ил.

2. Субботина Н.А. Методологические подходы к снижению травматизма на строительной площадке по вине человеческого фактора / Н.А. Субботина, Г.Е. Нам, Т.Н. Гончарук // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс / Пензенский государственный технологический университет. – Пенза. 2021. – № 2 (54). – С. 210-215.

3. Цирин И.В. Диалоги об охране труда и безопасности «Обзор несчастных случаев в ограниченных замкнутых пространствах». [Электронный ресурс], 2022. <https://dialogi-ot.ru/base/experts-articles/?id=29-4-22>

4. Павлихин Г.П. Введение в охрану окружающей среды: учеб. пособие / Г.П. Павлихин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. – 83, [1] с.: ил.

5. Ксенофонотов Б.С. Очистка сточных вод: флотация и сгущение осадков / Б.С. Ксенофонотов. – М.: Химия, 1992. – 144 с.: ил.

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Неврина С.А., Шапхаев Б.С. Экологический эффект возврата лабораторных отходов в технологический цикл	3
Янкив К.Ф., Смирнова Е.С. Влияние экологических факторов на химический состав сосны обыкновенной	10
Исаева Ю.Д., Маслова А.А. Методология обработки и анализа данных экологического мониторинга при поиске источников загрязнения	14
Левина Т.А., Калугина Е.В. Техногенное воздействие на гидрологические условия железорудных месторождений КМА	17
Петров М.Н., Веригин А.Н. Применение аппаратов с коалесцирующими насадками в современной системе очистки стоков НПЗ	21
Исаева Ю.Д., Маслова А.А. Решение обратных задач и усвоение данных для идентификации источников выбросов	25
Исаева Ю.Д., Маслова А.А. Пространственная верификация: работа с полями концентраций в задачах экологического мониторинга	28
Исаева Ю.Д., Маслова А.А. Методы оценки экологических рисков на основе разнородных данных применительно к полигонам твердых коммунальных отходов ...	31
Еловенко В.В., Панарин В.М. Обзор основных методов моделирования распространения загрязняющих веществ в водных средах	37
Еловенко В.В., Панарин В.М. Проблемы и ограничения существующих систем мониторинга качества водных ресурсов	39
Гусак А.А., Рылеева Е.М. Биологические сенсоры для экологического мониторинга водных объектов: принципы устройства, классификационные признаки и физико-химические основы трансдукции сигнала	41
Кондрашов В.А., Маслова А.А. Информационно-измерительная система обнаружения и идентификации источников аварийных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу	48
Савина Е.А., Рылеева Е.М. Экспериментальная оценка качества поверхностных вод и обоснование требований к модульной архитектуре системы мониторинга	52
Ерёмчев И.А., Волков А.В. Возможность использования минералов, образованных в результате нейтрализации загрязняющих потоков серы, для изготовления чёрных металлов	55
Кудрявцев М.А., Панарин В.М. Вещественный состав свалочных газов, возникающих на полигонах ТБО, и их воздействие на организм человека	58
Качалова А.А., Маслова А.А. Разработка интегрального показателя экологической безопасности рекультивируемого полигона твердых коммунальных отходов	62
Соловьева К.С., Рылеева Е.М. Автоматизированная система оперативного контроля выпуска сточных вод: интеграция промышленной и экологической безопасности на машиностроительных предприятиях	68
Ерёмчев И.А., Панарин В.М. Особенности оценки экологических рисков для последующего использования территорий рекультивированных полигонов ТКО как сложной системы	72
Савин А.О., Панарин В.М. Методы предиктивной оценки типа загрязнителя в водоеме на основе корреляции гидрохимических параметров	75

ЭНЕРГИЯ И ЧИСТЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Гурулева А.Е., Корякина Е.А. Обзор экологически чистых сплавов нового поколения	78
---	----

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Жарникова М.А., Шапхаев Б.С. Проблемы внедрения риск-ориентированного подхода в систему управления охраной труда (СУОТ) в строительной компании ООО «Велесстрой-СМУ»	82
Круглова К.В., Едаменко А.С. Интеграция электронных ресурсов в систему управления охраной труда на примере программы «КОТ»	88
Легкая М.А., Бровкина М.А. Прогнозирование обстановки на пожаровзрывоопасном объекте при атаке БПЛА	91
Круглова К.В., Едаменко А.С. Использование программы 1С в области охраны труда	94
Фаустова С.А., Круглова К.В., Калинина Е.А., Семейкин А.Ю. Анализ условий труда работников дорожно-строительной организации в Белгородской области	97
Сафиянова Л.М., Воронова В.В. Анализ традиционных и инновационных методов обучения по охране труда персонала предприятий	101
Левина Т.А., Калугина Е.В. Профессиональные риски работников цеха гальванопокрытия с использованием моечного комплекса и рекомендации по их минимизации	104
Лещенко Д.В., Головачева Е.А., Федоров А.А., Мешалкин Е.А., Макунин И.В. Углекислотное пожаротушение РВС-20 000 при размещении сухотрубов на металлоконструкциях для установки ЗОК	109
Тихонов Д.И., Маслова А.А. Специальная оценка условий труда: проблемы и возможные пути решения	112
Винтер А.Д., Щербакова Л.В. Техносферная безопасность современного производства	114
Степанчикова А.С., Маслова А.А. Актуальность применения автоматизированной системы мониторинга условий труда работников предприятия химической промышленности	118
Гречишкина П.А., Кашинцева Л.В. Теоретические основы анализа профессиональных рисков	120
Кандрашкин А.Г., Шейнкман Л.Э. Мероприятия по улучшению условий труда монтажника радиоэлектронной аппаратуры и приборов	123
Захаров Н.А., Кашинцева Л.В. Применение интегрального показателя запылённости для обоснования мероприятий по снижению воздействия пыли на бетонном производстве	127
Бобков А.П., Шейнкман Л.Э. Оптимизация рабочего процесса при помощи пневмопровода в цехе переработки полимерных материалов	129
Кудрявцев М.А., Панарин В.М. Вещественный состав свалочных газов, возникающих на полигонах ТБО, и их воздействие на организм человека	132
Левченкова А.А., Панарин В.М. Техносферная безопасность современного производства	136
Самохвалов К.А., Кашинцева Л.В. Пожарная безопасность: требования к эвакуационным путям, системам сигнализации и первичным средствам пожаротушения	140
Фролов А.С., Маслова А.А. Главные факторы опасности на глубине	142

Научное издание

ЭКОЛОГИЯ И ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

**V ВСЕРОССИЙСКАЯ МОЛОДЁЖНАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

Сборник докладов

Авторское редактирование
и художественное оформление

Принято 27.07.2026. Подписано в печать 30.07.2026

Формат бумаги 70×100 ¹/₁₆. Бумага офсетная

Усл. печ. л. 11,9

Тираж 100 экз. (1-й з-д 1–25). Заказ 101

Отпечатано в Издательстве ТулГУ
300012, г. Тула, просп. Ленина, 95