

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Новосибирский государственный технический университет
Студенческое научное объединение новосибирского государственного
технического университета
Московский авиационный институт (национальный исследовательский
университет)
Сибирское отделение Российской академии наук
Академия военных наук
Российская академия ракетных и артиллерийских наук
Региональный уральско-сибирский центр Российской академии ракетных
и артиллерийских наук
Межрегиональная ассоциация «Сибирское соглашение»
Новосибирское высшее военное командное ордена Жукова училище
Министерство обороны Российской Федерации

НАУКА ПРОМЫШЛЕННОСТЬ ОБОРОНА

ТРУДЫ XXVII ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

г. Новосибирск, 22-24 апреля 2026 г.

Том III

СЕКЦИИ:

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

ЭКОЛОГИЯ, ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ, ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Новосибирск
2026

УДК 62+623](063)

ББК 72я431

НЗ4

НЗ4 Наука Промышленность Оборона: труды XXVII Всероссийской научно-технической конференции: в 4 т. / коллектив авторов; под редакцией А. В. Гуськова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2026

ISBN 978-5-7782-5652-1

Том 3: – 244 с.

ISBN 978-5-7782-5655-2

Редакторы тома:

Бобин К. Н., к.т.н., доцент (Секция №7. Технологические процессы в промышленности)

Коробейников С. М., д.ф-м.н., профессор (Секция №8. Безопасность технологических процессов и производств)

Ларичкин В. В., д.т.н., профессор (Секция №11. Экология, природопользование, защита окружающей среды)

Представлены труды XXVII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов «Наука. Промышленность. Оборона – 2026». Материалы представлены по следующим секциям:

- *технологические процессы в промышленности;*
- *безопасность технологических процессов и производств;*
- *экология, природопользование, защита окружающей среды.*

УДК 62+623](063)

ББК 72я431

ISBN 978-5-7782-5655-2 (Том 3)

ISBN 978-5-7782-5652-1

© Коллектив авторов, 2026

© Новосибирский государственный
технический университет, 2026

СОСТАВ ОРГКОМИТЕТА

Председатель оргкомитета:

Пустовой Н.В., д.т.н., профессор, председатель совета ректоров Сибирского Федерального округа, президент Новосибирского государственного технического университета (НГТУ).

Сопредседатели:

Алексеев С. В., академик РАН, профессор, д.ф.-м.н.;

Денискин Ю.И., д.т.н. профессор кафедры 901 «Технология конструкционных материалов» ФГБОУ ВО «МАИ (НИУ)»

Диканский Н.С., академик РАН, советник РАН, профессор, д.ф.-м.н.;

Заболотный П.В., генеральный директор АО «НПО НИИИП-НЗиК»;

Панасенко С.Н., заместитель Генерального директора ПАО «Компания «Сухой», директор НАЗ им. В.П. Чкалова;

Прууэл Э. Р., д.ф.-м.н., директор конструкторско-технологического филиала института гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН;

Серьезнов А.Н., д.т.н., профессор, научный руководитель государственного Сибирского научно-исследовательского института авиации имени С.А. Чаплыгина (СибНИА);

Терехов В.И., д.т.н., профессор кафедры Технической теплофизики (ТТФ), ведущий научный сотрудник лаб. Термогазодинамики Института теплофизики СО РАН им. С.С. Кутателадзе;

Титов Р.Б., полковник, начальник Новосибирского Высшего Военного Командного училища;

Фомин В.М., академик РАН, профессор, д.ф.-м.н., научный руководитель Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения РАН (ИТПМ СО РАН);

Хмельников Е.А., д.т.н., профессор, Нижнетагильского технологического института (филиала) Уральского федерального университета имени первого президента России Б.Н. Ельцина, ученый секретарь РУСЦ РАН, член-корреспондент РАН, действительный член АВН;

Чинахов Д.А., д.т.н., доцент, декан факультета летательных аппаратов НГТУ.

Эдвобник В.Г., д.э.н., с.н.с., профессор кафедры «Автономных информационных и управляющих систем» (АИУС) НГТУ, член-корреспондент РАН, Генеральный директор организации ОА "Научно-исследовательский институт электронных приборов"

Организационный комитет:

Атапин В.Г., д.т.н., профессор, кафедра «Прочности летательных аппаратов» (ПЛА) НГТУ;

Бурнышева Т.В., д.т.н., доцент, заведующая кафедрой «Прочности летательных аппаратов» (ПЛА) НГТУ;

Бялик А.Д., к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Кафедра автономных информационных и управляющих систем (АИУС) НГТУ;

Гуськов А.В., д.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Газодинамических импульсных устройств» (ГДУ) НГТУ, действительный член Академии военных наук АВН;

Горбачев М.В., к.т.н., доцент, зав. кафедрой «Технической теплофизики» (ТТФ) НГТУ;

Городова А.А., председатель студенческого научного объединения НГТУ (СНО НГТУ НЭТИ);

Громов Н.В., к.х.м., заведующий кафедрой «Инженерных проблемы экологии» (ИПЭ) НГТУ;

Дьяченко Ю.В., д.т.н., профессор, кафедра «Технической теплофизики» (ТТФ) НГТУ;

Ермолаева Е.Н., к.э.н., доцент кафедры 502 ««Экономика промышленности: учёт, анализ и аудит» ФГБОУ ВО «МАИ(НИУ)»

Карманов В.С., к.т.н., доцент кафедры теоретической и прикладной информатики (ТПИ) НГТУ;

Киселёв А.В., д.т.н., профессор кафедры «Радиоприемных и радиопередающих устройств» (РПиРПУ) НГТУ;

Коробейников С.М., ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой «Безопасность труда» (БТ) НГТУ;

Костин В.В., президент ООО «Авиатехснаб»;

Кравченко Е.А., рук. группы ОНИРС НГТУ;

Ларичкин В.В., д.т.н., профессор кафедры «Инженерных проблемы экологии» (ИПЭ) НГТУ;

Левкина А.А., ст. преподаватель кафедры 507 «Экономическая теория» ФГБОУ ВО «МАИ(НИУ)»

Литвинцева Г.П., д.э.н., профессор, профессор кафедры «Экономической теории и прикладной экономики» (ЭТПЭ) НГТУ;

Милевский К.Е., к.т.н., доцент, кафедра ГДУ НГТУ, член-корреспондент АВН;

Немировский Ю.В., д.ф.-м.н., профессор, главный научный сотрудник ИТПМ СО РАН, действительный член АВН;

Обуховский А.Д., к.т.н., доцент, заместитель заведующего кафедрой «Аэрогидродинамики» (АГД) НГТУ;

Поляков С.А., к.ю.н., доцент, заведующий кафедрой «Правоведения» (Правоведения) НГТУ;

Рынгач Н.А., к.т.н., доцент, кафедра «Самолето- и вертолетостроения» (СиВС) НГТУ;

Саленко С.Д., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Аэрогидродинамика» (АГД) НГТУ;

Санков О.В., ст. преподаватель, кафедра «Автономных информационных и управляющих систем» (АИУС) НГТУ;

Студенческое научное объединение НГТУ (СНО НГТУ НЭТИ);

Скворцова А.Н., председатель студенческого научного объединения НГТУ (СНО НГТУ НЭТИ);

Телкова Ю.В., к.т.н., доцент кафедры «Аэрогидродинамика» (АГД) НГТУ, руководитель ОНИРС НГТУ;

Черникова О.С., к.т.н., доцент, доцент кафедры теоретической и прикладной информатики (ТПИ) НГТУ;

Чичиндаев А.В., д.т.н., профессор, кафедра «Технической теплофизики» (ТТФ) НГТУ.

Редакционная коллегия сборника научно-технической конференции «НПО-2026»

Чинахов Д. А., д.т.н., доцент, декан ФЛА – председатель;

Баянов Е.В., к.т.н., доцент;

Бобин К.Н., к.т.н., доцент;

Бялик А.Д., к.т.н., доцент;

Гуськов А.В., д.т.н., доцент – учёный секретарь;

Горбачев М. В., к.т.н., доцент;

Громов Н.В., к.х.н., доцент;

Денискин Ю. И., д.т.н., профессор

Ермолаева Е. Н., к.э.н., доцент;

Киселев А.В., д.т.н., профессор;

Коробейников С.М., д.ф-м.н., профессор;

Литвинцева Г.П., д.э.н., профессор;

Никулин А. В., к.т.н., доцент;

Обуховский А.Д., к.т.н., доцент;

Поляков С.А., к.ю.н., доцент;

Рынгач Н.А., к.т.н., доцент;

Чичиндаев А.В., д.т.н., профессор.

УДК 658.512.88

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

*Вдовин Павел Олегович, студент; Рынгач Николай Анатольевич,
к.т.н.*

Новосибирский государственный технический университет, 630073,
Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)005-48-19

Вдовин П.О., vdovin.raw@gmail.com

Рынгач Н.А., ryngach@corp.nstu.ru

Адрес для корреспонденции: *Вдовин Павел Олегович*, Новосибирский
государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр.
Карла Маркса, 20

Аннотация: В статье рассматриваются вопрос снижения риска производственного брака и уменьшения промежутка времени от поступления задания до выпуска комплекта технологической документации путём предварительной верификации управляющих программ в системе Vericut с дальнейшим автоматизированным анализом действующих на инструмент сил и оптимизацией режимов резания. Методология включает в себя проектирование цифрового двойника фрезерного оборудования с численно программным управлением с последующим производством образцов деталей с разными режимами резания, включая оптимизированными системой верификации. Результаты тестов подтверждают работоспособность Vericut и способствуют дальнейшему исследованию и испытаниям.

Ключевые слова: численное программное управление, Vericut, качество поверхности, VericutForce, фрезерование, режимы резания.

Введение

Современное авиастроение предъявляет повышенные требования к срокам подготовки технологической документации, качеству обработки деталей и надежности работы оборудования с численным программным управлением. При разработке управляющих программ ошибка в траектории инструмента, выборе технологических переходов или режимов резания может привести не только к снижению производительности, но и к возникновению брака, повышенному износу инструмента и аварийным ситуациям.

Традиционный подход, при котором работоспособность управляющей программы в значительной степени подтверждаются непосредственно в процессе наладки на станке, путём проверки траектории по воздуху, требует дополнительных временных и материальных затрат. В этих условиях все большую значимость приобретают системы цифровой верификации,

позволяющие до начала реальной обработки выявлять ошибки траектории, контролировать возможные столкновения элементов и оценивать условия резания.

Одним из наиболее перспективных инструментов такого рода является система Vericut, обеспечивающая не только проверку корректности управляющих программ, но и анализ нагруженности инструмента с последующей оптимизацией режимов резания с использованием модуля VericutForce. Однако практический интерес представляет вопрос о том, насколько эффективно применение данной системы для конкретного трехосевого фрезерного оборудования и в какой степени оптимизированные режимы подтверждают свою работоспособность в условиях реальной механической обработки.

Целью данной работы является разработка проекта симуляции фрезерного трехосевого оборудования в системе верификации управляющих программ Vericut для дальнейшей оптимизации режимов резания и проверки работоспособности модуля VericutForce. Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

1. Сформировать упрощённую электронную модель станка и используемой оснастки;
2. Собрать кинематическую схему рассматриваемого фрезерного станка в системе верификации Vericut, определить пределы перемещения оборудования и пары столкновений;
3. Рассчитать режимы резания для черновой и чистовой обработки;
4. Произвести механическую обработку детали с отладочными режимами резания, рассчитанными вручную и оптимизированными с помощью модуля VericutForce, сравнить полученные результаты;

Методология. Для первичных испытаний с целью проверки системы верификации, в качестве образца, была взята заранее внедрённая в производство деталь (рис. 1) с уже подобранными режимами резания на основе данных предыдущих технологий обработки. Материал заготовки – конструкционная среднелегированная сталь 30ХГСА, поставленная в виде горячекатанного листа по ГОСТ 11269-76 и заранее обработанная на токарном станке для дальнейшего изготовления детали.

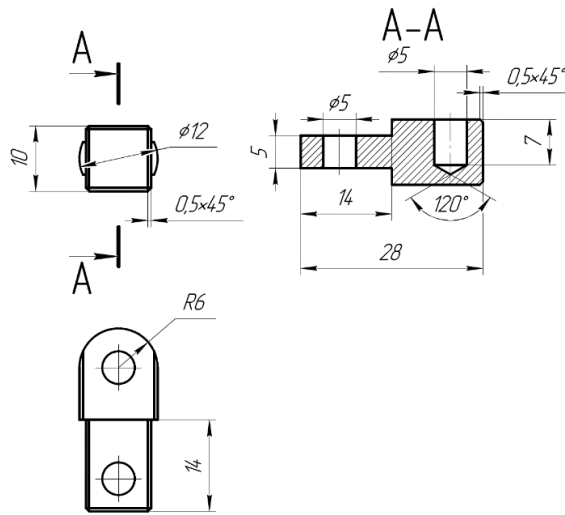


Рис.1. Эскиз обрабатываемой детали

Фрезерная обработка проводилась на DY-T600 - трёхосевом станке с численным программным управлением на основе системы FANUC 0i-MF Plus, для фиксации заготовки использовался трёхкулачковый патрон FUERDA D200. В рамках данной работы рассматривается обработка квадрата размером 10 мм и глубиной 14 мм, технология представляет собой черновую обработку фрезой Sant SG-4E-D10.0 диаметром 10 мм с припуском 0,2 мм, чистовую обработку фрезой CNCМ GE4-D08.0-35x100 PK105 диаметром 8 мм и обработку фасок зенковкой CNCINS PMK41.z4.10.XX.72.SF90 TiAlN диаметром 10 мм и углом при вершине 90 градусов. Для расчёта режимов резания, в частности, скорости резания (1), окружной силы (2) и частоты вращения шпинделя (3), использовались следующие формулы [1]:

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x s_z^y B^u z^p} K_{mv} K_{pv} K_{nv} \quad (1)$$

где V – скорость резания, м/мин; C_v, q, m, x, y, u, p – общие поправочные коэффициенты, зависящие от материала и типа режущего инструмента, а также от обрабатываемой заготовки; D – диаметр инструмента, м; T – период стойкости инструмента, мин.; t – глубина резания, мм; s_z – подача на зуб, мм/зуб; B – ширина резания, мм; z – число зубьев инструмента; K_{mv}, K_{pv}, K_{nv} – коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала, состояние поверхности заготовки и материал инструмента соответственно;

$$P_z = \frac{10 C_p t^x s_z^y B^n z}{D^q n^w} K_{mp} \quad (2)$$

где P_z – окружная сила резания, Н; C_p, x, y, n, q, w – общие поправочные коэффициенты, зависящие от материала и типа режущего инструмента, а также от обрабатываемой заготовки, n – частота вращения шпинделя, об/мин.

$$n = \frac{1000V}{\pi D} \quad (3)$$

Результаты. На первом этапе режимы резания для черновой и чистовой обработки были определены расчетным путем на основании исходных данных. Используя формулы (1), (2) и (3), а также считая, что подача на зуб, в обоих типах

обработки, стремится к 0,01 мм/зуб, были получены следующие результаты, откорректированные для используемого оборудования и представленные в таблице 1.

Таблица 1

Тип операции	Режимы резания				
	D , мм	S , мм/мин	n , об/мин	B , мм	t , мм
Черновая	10	350	10000	0,475	0,4
Чистовая	8	350	12000	0,2	0,5

Для получения оптимизированных данных в системе Vericut был сформирован проект симуляции трёхосевого фрезерного станка, соответствующий компоновке реального оборудования, в состав которого были включены основные элементы системы: станина, стол, шпиндельный узел, оснастка в виде патрона трехкулачкового, корпус (рис. 2). В рамках данной кинематической схемы, для полного соответствия используемому оборудованию, были замерены пределы перемещения (табл. 2) и определены граничные условия использования [2]. Оптимизация режимов резания проводилась с материалом Steel 4130 HRC30 как прямой аналог 30ХГСА [3-4]. Полученные результаты представлены ниже в таблице 3.

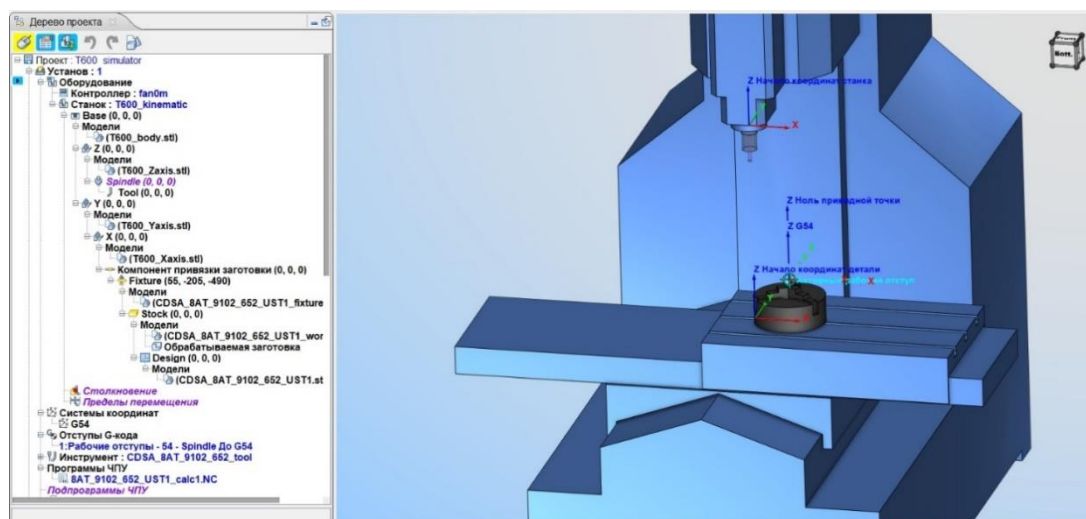


Рис. 2. Проект симуляции станка DY-T600 в Vericut

Таблица 2

Пределы перемещения DY-T600 в системе координат станка

X, мм	Y, мм	Z, мм
[-1,049;600,151]	[-400,2;1,1]	[-331,1;1,1]

Сравнение режимов резания

	S , мм/мин, черновая	S , мм/мин, чистовая	n , об/мин, черновая	n , об/мин, чистовая	Время обработки, мин.
До расчёта	200	200	1500	1500	30,28
После расчёта до оптимизации	350	350	10000	12000	17,52
После оптимизации	450	450	10000	12000	13,72

Обсуждение. Верификация управляющих программ позволяет существенно упростить процесс разработки технологии за счёт автоматического распознавания критических ситуаций, где непосредственное тестирование на фрезерном оборудовании могло бы привести к повторной переналадке инструментального магазина, полного пересмотра технологического процесса или даже к порче имущества. В то же время, расчёт сил и оптимизация режимов резания требует дополнительного исследования из-за расхождения с теоретическими данными, однако ограниченная имплементация в рабочий процесс уже доступна и позволяет уменьшить машинное время на уже отлаженных деталях.

Выводы. В рамках данного исследования была доказана работоспособность системы VericutForce на основании достижения необходимых параметров изделия при существенном уменьшении машинного времени; был разработан цифровой двойник трехосевого фрезерного оборудования с численно программным управлением и выделены основные направления для дальнейшего исследования. Ранее поставленная цель была достигнута.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Справочник технолога-машиностроителя [Текст] : [в 2 т.] / [В. Н. Андреев и др.]. - Москва : Инновационное машиностроение, 2018.
2. Meng F. et al. Simulation Verification of Parts Processing Based on Virtual Numerical Control Machine //2021 7th International Conference on Mechanical Engineering and Automation Science (ICMEAS). – IEEE, 2021. – С. 63-67.
3. Zhou F. et al. Optimization of numerical control program and machining simulation based on VERICUT //Journal of Shanghai Jiaotong University (Science). – 2019. – Т. 24. – №. 6. – С. 763-768.
4. Li X., Li W., Chen X. Optimization of machining parameters based on VERICUT three-axis milling //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – Т. 1824. – №. 1. – С. 012011.

AUTOMATIZATION OF THE PROCESS FOR DEVELOPING MACHINING TECHNOLOGY FOR COMPONENTS

*Vdovin Pavel Olegovich, student; Rynagach Nikolai Anatolyevich, PhD in
Engineering*

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Karl
Marx Ave, tel. (913)005-48-19.

Vdovin P.O., vdovin.raw@gmail.com

Rynagach N.A., ryngach@corp.nstu.ru

Address for correspondence: Vdovin Pavel Olegovich, Novosibirsk State
Technical University, Novosibirsk, 20 Karla Marksa Ave., Novosibirsk, 630073,
Russia

Abstract: This article discusses the issue of reducing the risk of production defects and shortening the time interval from the moment an order is submitted to the release of a set of technical documentation by preliminary verification of control programmes in the Vericut system, followed by automated analysis of the forces affecting the tool and optimisation of cutting parameters. The methodology involves designing a digital twin of CNC milling equipment, followed by the production of sample parts using different cutting parameters, including those optimised by the verification system. The test results confirm the effectiveness of Vericut and facilitate further research and testing.

Keywords: CNC, Vericut, surface quality, Vericut Force, milling, cutting conditions.

УДК 661.075

ПОДБОР СМАЗОЧНОГО СОСТАВА ДЛЯ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ТИТАНА

*Зеленина Анна Владимировна¹, аспирант; Гилета Виктор Павлович¹,
к.т.н, доцент*

¹Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г.
Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

Зеленина А. В., e-mail zelenina.2018@corp.nstu.ru

Гилета В. П., e-mail v.gileta@corp.nstu.ru

Адрес для корреспонденции: Зеленина Анна Владимировна,
Новосибирский государственный технический университет, 630073,
Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

Аннотация: Обработка титановых сплавов приводит производителей к необходимости решения множества проблем: высокие температуры в зоне резания, высокая стоимость большинства инструментальных материалов, которые способны обеспечить длительную технологическую стойкость при

работе с титаном и т.д. Необходимо искать возможности упрощения процесса обработки и снижения ее стоимости для более широкого внедрения материала не только в военно-космической сфере, но и на других направлениях. Исследование посвящено определению возможности использования различных смазочных составов при обработке деталей из титановых сплавов поверхностным пластическим деформированием. Были рассмотрены несколько смазок различных классов (жидкие, консистентные, твердые), изучено их взаимодействие с деталью и инструментом в процесс обработки, определено их влияние на профиль обработанной поверхности.

Ключевые слова: Титановые сплавы, смазки, пластическое деформирование, шероховатость, профиль

Введение

Машиностроительное производство постоянно развивается, разработчики создают всё более сложные аппараты, повышаются скорости работы, усложняются электроника и условия эксплуатации. В свою очередь производителям приходится отвечать на новые вызовы, разрабатывать и внедрять новые материалы, создавать под них новые методы обработки [1], усложнять производство. Такой подход неизменно приводит к росту стоимости обработки и повышению себестоимости готового изделия, что сужает возможности внедрения в серийное производство. Иным способом реагирования на растущие требования промышленности является улучшение характеристик существующих материалов и деталей известными методами.

В современном мире изделия из титановых сплавов широко используются в условиях работы при высоких температурах и больших нагрузках, где применение иных материалов затруднительно. Изготовление изделий из данного класса материалов – дорогостоящий процесс, что препятствует его более широкому внедрению. Для повышения качества поверхностного слоя изделий в настоящее время всё шире применяют методы поверхностного пластического деформирования. Стоит рассматривать применение данного метода для титановых сплавов, но такая задача имеет ряд ограничений, обусловленных низкой технологичностью материала и его сродством со многими металлами, что до сих пор слабо изучено в общедоступной литературе [2-7]. Исходя из ограниченности исследований в данном направлении, появляется интерес к изучению данного вопроса.

Целью данной работы является изучение влияния различных смазочных составов на геометрическое состояние поверхности деталей из титановых сплавов при обработке пластическим деформированием с наложением ультразвуковых колебаний.

Методика экспериментального исследования

Обработка ультразвуковым поверхностным пластическим деформированием осуществлялась на токарном станке, который оснащен специальной установкой, включающей в себя ультразвуковой генератор, магнитострикционный преобразователь и волновод-концентратор.

В качестве образцов были выбраны цилиндрические заготовки Ø60 мм и длиной 110 мм из сплава ВТЗ-1. Материал индентора – твердый сплав ВК8, с рабочей сферой Ø8 мм. Режимы обработки: скорость вращения детали $V = 94$ м/мин, подача $S = 0,1$ мм/об, величина статического усилия $P = 100$ Н, частота ультразвуковых колебаний $f = 22$ кГц. Для анализа были выбраны четыре вида смазок: литиевая смазка Neste; смазка Ойлрайт; графитная смазка Felix; гипоидное масло Synpro.

Состояние поверхности изучалось с помощью оптических методов, а также снимались профилограммы при помощи профилографа MarSurf PS10 Set (рис. 1).



Рис. 1 – Схема измерения на профилографе

Результаты и обсуждение

Была проведена численная оценка шероховатости поверхности. Обработка с нанесением литиевой смазки позволяет снизить среднее арифметическое отклонение неровностей (R_a) в 1,25 раза относительно значений, полученных с исходной поверхности, с добавлением гипоидного масла – в 1,7 раза. С другой стороны, обработка с графитной смазкой приводит к увеличению параметра R_a в 1,4 раза. Такая же тенденция наблюдается при анализе шаговых параметров. Литиевая смазка и масло позволяют уменьшить шаг неровностей в 1,07 и в 1,4 раза соответственно. Графитные смазки приводят к росту данного параметра.

После обработки образцов были получены профилограммы поверхностей (рис. 1-4).

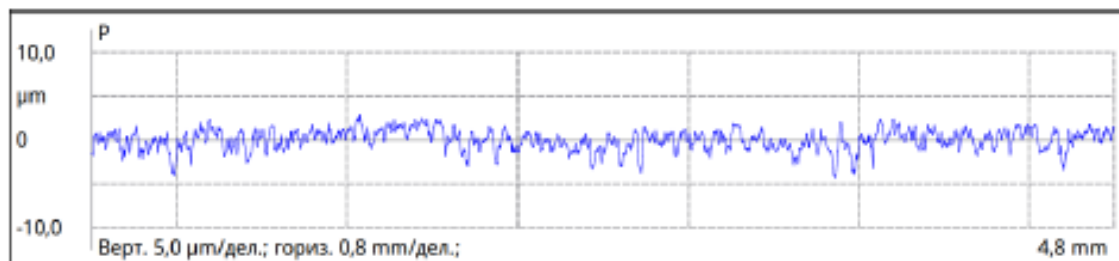


Рис. 2 – Профилограмма при обработке с литиевой смазкой Neste

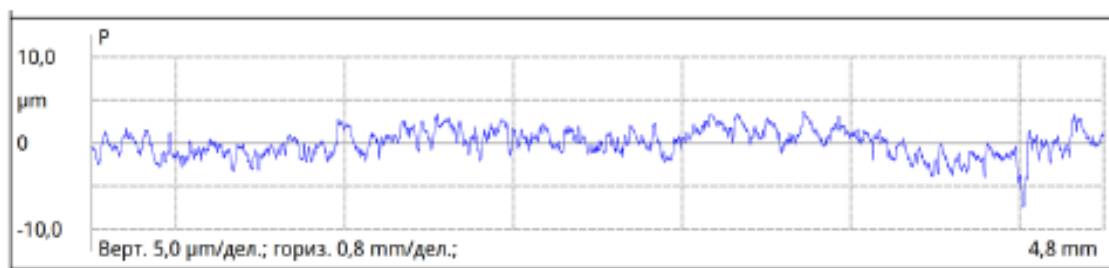


Рис. 3 – Профилограмма при обработке со смазкой Ойлрайт

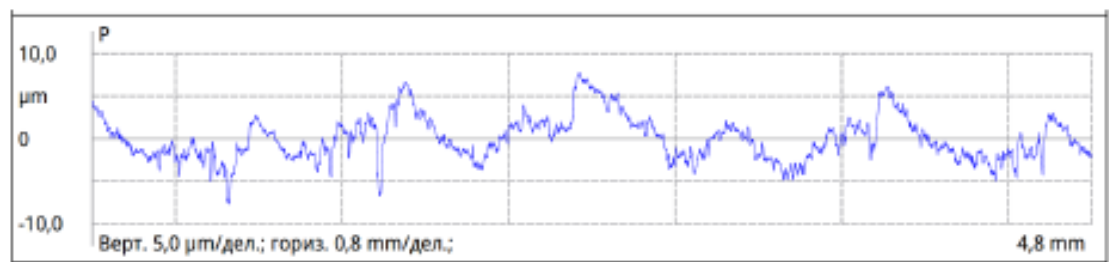


Рис. 4 – Профилограмма при обработке с графитной смазкой Felix

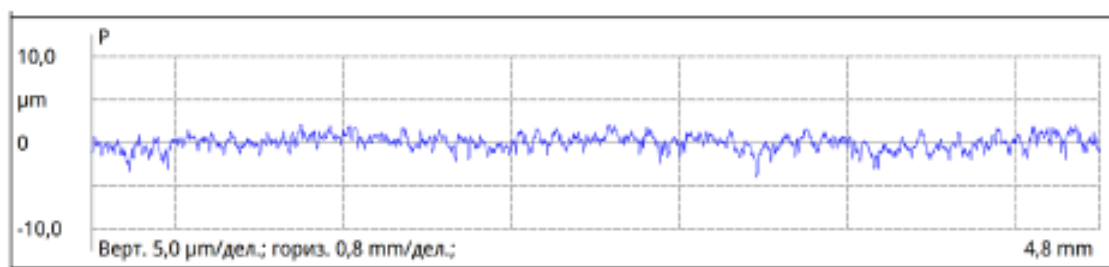


Рис. 5 – Профилограмма при обработке с гипоидным маслом Synco

Анализ с помощью оптических приборов и профилограмм позволяет понять, что обработка поверхностным пластическим деформированием образцов из титановых сплавов с введением различных смазочных составов приводит к получению отличных друг от друга профилей поверхности. Минимальное значение наибольшей высоты неровностей профиля позволяют получить литиевая смазка Neste и гипоидное масло Synco. В то время как графитные смазки в комбинации с твердосплавным инструментом приводят к большой шероховатости и образованию волн на поверхности.

Выводы

1. Выявлены особенности влияния смазочных составов на получаемый профиль поверхности (частота и высота вершин и впадин, образование волн).
2. Наименьшую и наиболее равномерную шероховатость позволяет получить введение в зону контакта литиевой смазки Neste.
3. Графитные смазки приводят к увеличению высотных и шаговых параметров шероховатости, литиевая смазка и масло – к их уменьшению.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Патент на полезную модель № 36276 РФ, В21D 37/02. Деформирующий инструмент для круглых профилей / В.Г. Паршин, О.А. Белан,

В.И. Артюхин Опубл. 10.03.2004

2. Wang, H. Evolution of surface mechanical properties and microstructure of Ti-6Al-4V alloy induced by electro pulsing-assisted ultrasonic surface rolling process [Text] / H. Wang, G. Song, G. Tang // Journal of Alloys and Compounds. - 2016. - Vol. 681. - P. 146-156.

3. Chengsong Liu, Daoxin Liu, Xiaohua Zhang, Dan Liu, Amin Ma, Ni Ao, Xingchen Xu. Improving fatigue performance of Ti-6Al-4V alloy via ultrasonic surface rolling process[J]. J. Mater. Sci. Technol., 2019, 35(8): 1555-1562.

4. Yi F, Zhong R, Zhu W, Zhou R, Guo L, Wang Y. Comparative Study of Friction Models in High-Speed Machining of Titanium Alloys. Lubricants. 2025; 13(3):113. <https://doi.org/10.3390/lubricants13030113>

5. Croccolo, D.; De Agostinis, M.; Fini, S.; Khan, M.Y.; Mele, M.; Olmi, G.; Scapecchi, C.; Tariq, M.H.B. Investigating the Friction Coefficient of Titanium Bolts with Vegetable Oils as Lubricants. Eng. Proc. 2025, 85, 52. <https://doi.org/10.3390/engproc2025085052>

6. Zhao, M., Su, G., Xia, Y. et al. Effects of the Ultrasonic Surface Rolling Process on the Surface Integrity, Wear Resistance, and Corrosion Resistance of 4Cr5MoSiV1 Tool Steel Before and After Quenching. J. of Materi Eng and Perform 34, 6330–6340 (2025). <https://doi.org/10.1007/s11665-024-09606-0>

7. Keymanesh, M., Ji, H., Tang, M. et al. Ultrasonic surface treatment techniques based on cold working: a review. Int J Adv Manuf Technol 134, 4949–4979 (2024). <https://doi.org/10.1007/s00170-024-14365-2>

SELECTION OF LUBRICANTS FOR PLASTIC DEFORMATION OF TITANIUM

Zelenina Anna Vladimirovna¹, graduate student; Gileta Viktor Pavlovitch¹, PhD in Engineering, Associate Professor

¹Novosibirsk State Technical University,
630073, Russia, Novosibirsk, 20 Karl Marx Ave

Zelenina A. V., e-mail zelenina.2018@corp.nstu.ru.

Gileta V. P., e-mail v.gileta@corp.nstu.ru

Address for correspondence: *Zelenina Anna*

Vladimirovna, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, 20 Karla Marksa Ave., Novosibirsk, 630073, Russia

Abstract: The processing of titanium alloys leads manufacturers to the need to solve many problems: high temperatures in the cutting area, the high cost of most tool materials, etc. It is necessary to look for ways to simplify the process and reduce its cost for wider use of the material not only in the military space sector, but also in other directions. The study is devoted to determining the possibility of using various lubricants in the processing of titanium alloy parts by surface plastic deformation. Several lubricants of various classes (liquid, greasy, solid) were considered, their interaction with the part and tool during processing was studied, and their effect on the profile of the treated surface was determined.

Keywords: Titanium alloys, lubricants, plastic deformation, roughness, surface contour

УДК 347.426.356.3

РАЗРАБОТКА И БИОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОТЕЗОВ СТОПЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ FDM-ПЕЧАТИ

Куракин Антон Юрьевич², студент; Сергеев Антон Дмитриевич¹, студент; Коростовская Дарья Александровна², студент; Куренкова Анна Юрьевна⁴, к.х.н.; Сердюков Владимир Сергеевич³, к.ф.-м.н.

¹ Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. +7(383)-346-50-01

² Новосибирский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова 2, тел. +7(383)-363-40-37

³ Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 1, тел. +7(383)-330-90-40

⁴ Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 5, тел. +7 (383) 330-67-71

Сергеев А. Д., email antonsergeev025@gmail.com

Аннотация: Разработаны две конструкции протезов стопы из термопластичного полиуретана, изготовленные методом FDM-печати. Численные и натурные испытания подтвердили их соответствие требованиям прочности и биомеханическую эффективность при ходьбе. Предложенный подход позволяет снизить стоимость и время изготовления протезов.

Ключевые слова: Аддитивные технологии, FDM-печать, протез стопы, биомеханика, метод конечных элементов (МКЭ)

Введение

Современный рынок протезно-ортопедических изделий характеризуется выраженной поляризацией: с одной стороны, доступные, но функционально ограниченные решения, с другой — высокоэффективные, но дорогостоящие композитные (карбоновые) протезы. Технологии аддитивного производства, в частности FDM-печать (Fused Deposition Modeling), открывают новые возможности для создания недорогих, функциональных и персонализированных протезов стопы. Целью данной работы является анализ подхода к разработке, численному моделированию и экспериментальной апробации двух конструкций протезов стопы, изготовленных из термопластичного полиуретана (TPU 95A) методом послойного наплавления.

Материалы и методы исследования

В рамках исследования было разработано две геометрические модели протеза стопы (рис. 1).



Рисунок 1. 3D модели и фотографии изготовленных протезов стопы: (a) Модель 1; (b) Модель 2

Модель 1 — монолитная конструкция с горизонтальной ориентацией слоев печати. Основные упругие элементы представлены решетчатой структурой в области, отвечающей за голеностопное сгибание, и системой горизонтальных элементов в пяточной области. Слои ориентированы горизонтально.

Модель 2 — модульная (многосоставная) конструкция, компоненты которой печатаются с ориентацией слоев в вертикальной плоскости.

Изготовление прототипов выполнялось на FDM-принтере Neptune 4 Max (Elegoo) из материала TPU 95A (Eryone). Масса Модели 1 составила 929 г, Модели 2 — 727 г. Для численного анализа методом конечных элементов (МКЭ) в программном комплексе ANSYS использовалась упрощенная изотропная модель материала. Модуль упругости и коэффициент Пуассона были определены экспериментально на испытательных образцах.

Нагружение в расчете задавалось в соответствии с циклом шага, который воспроизводит фазу опоры при ходьбе для пользователя с массой тела около 100 кг в соответствии со стандартом ISO 22675:2024 (рис. 2). Для верификации расчетов проводились натурные испытания на гидравлической испытательной машине Instron 300 DX. Функциональные характеристики (углы сгибания α и β , вертикальная деформация пяточной области dz) оценивались по перемещению контрольных точек.

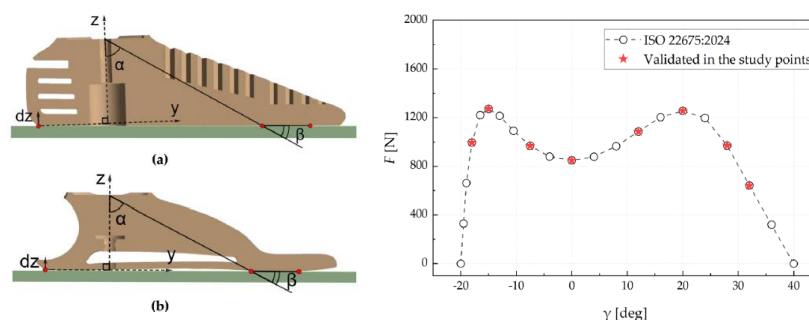


Рисунок 2. Параметры нагружения протеза стопы $F(\gamma)$ согласно ISO 22675:2024.

Клинические испытания с участием добровольца (мужчина 33 лет, 108 кг, трансгибиальная ампутация) проводились с использованием инерциальной системы захвата движения PerceptionNeuron 3. Анализировались углы сгибания в тазобедренном, коленном и голеностопном суставах, а также вертикальные перемещения общего центра масс (ОЦМ).

Результаты

Результаты МКЭ показали, что максимальные эквивалентные напряжения ($\sigma_{\max}$) в конструкциях составляют 4.3 МПа (≈ 43.8 кгс/см²) для Модели 1 и 7.5 МПа (≈ 76.5 кгс/см²) для Модели 2, что не превышает предел упругости TPU (8.6 МПа, ≈ 87.7 кгс/см²). Это подтверждает работоспособность конструкций в упругой области с достаточным запасом прочности.

Анализ биомеханических параметров (рис. 3) показал, что пиковая деформация плюсневого и пальцевого отделов приходится на вторую половину фазы опоры ($T \approx 45\text{--}60\%$), что соответствует физиологичному механизму накопления и возврата энергии. Модель 2 демонстрирует более высокие углы сгибания в этой фазе, что указывает на её потенциально большую энергоэффективность.

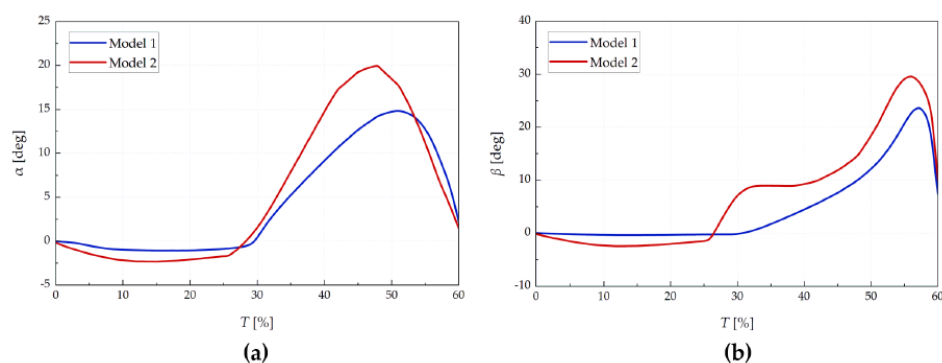


Рисунок 3. Расчетные углы наклона: (а) Угол наклона плюсневого сегмента в большеберцовой системе координат; (б) Угол наклона сегмента пальца в плюсневой системе координат.

Сравнение результатов МКЭ с данными натурных испытаний (рис. 4) показало хорошую сходимость (погрешность в пределах 5–10%), что подтверждает адекватность разработанной расчетной модели.

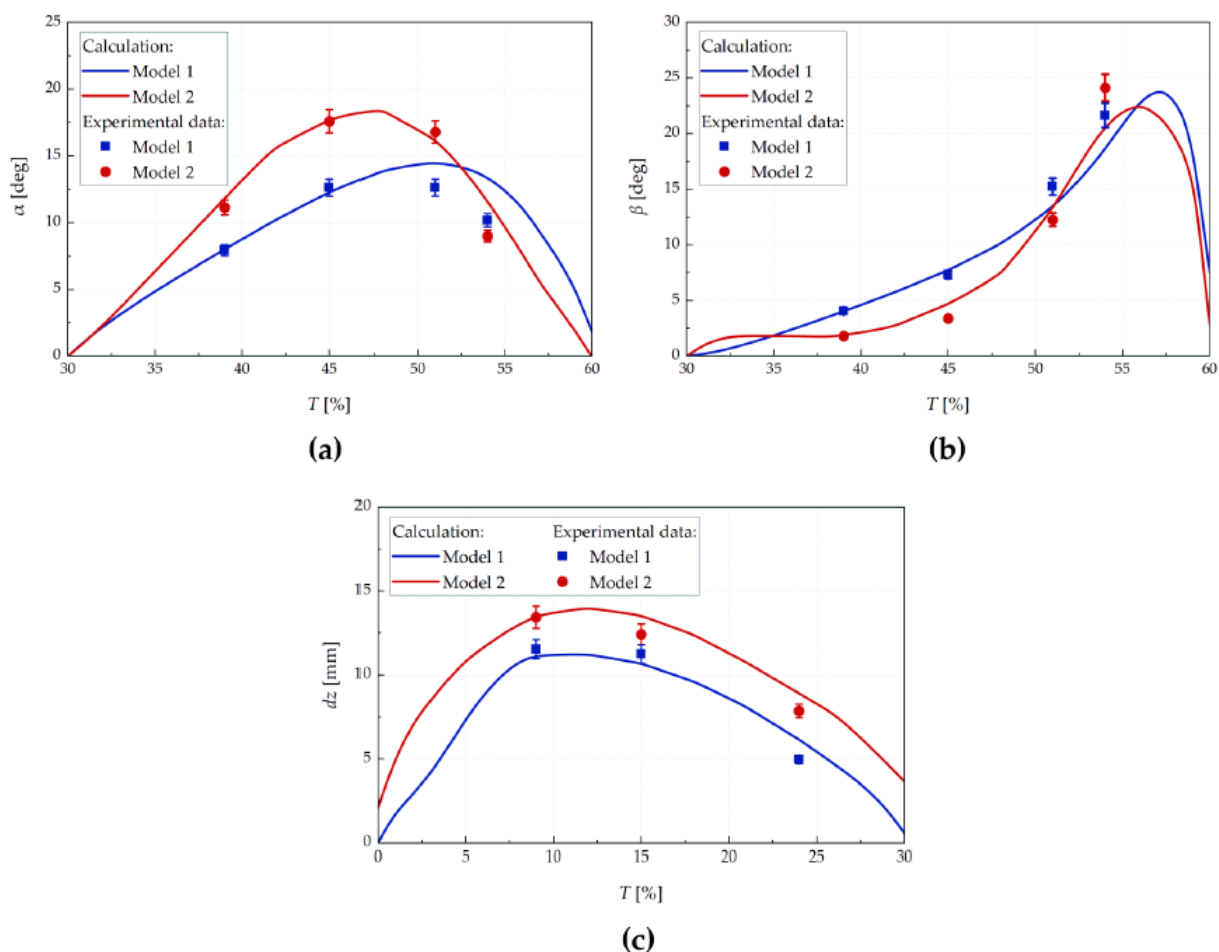


Рисунок 4. Сравнение численных и экспериментальных результатов для: (a) угла наклона плюсневого сегмента в системе координат большеберцовой кости; (b) угла наклона пальцевого сегмента в системе координат плюсневой кости; (c) вертикального смещения пяточной точки dz .

Анализ походки добровольца (рис. 5) выявил, что при использовании обеих разработанных моделей паттерны движений в тазобедренном и коленном суставах сохраняются и схожи с походкой при использовании штатного карбонового протеза (OttobockTriton).

Наибольшие различия наблюдаются в кинематике самой стопы. Модель 2 обеспечила более выраженный профиль сгибания, субъективно оцениваемый пользователем как более плавный перекал.

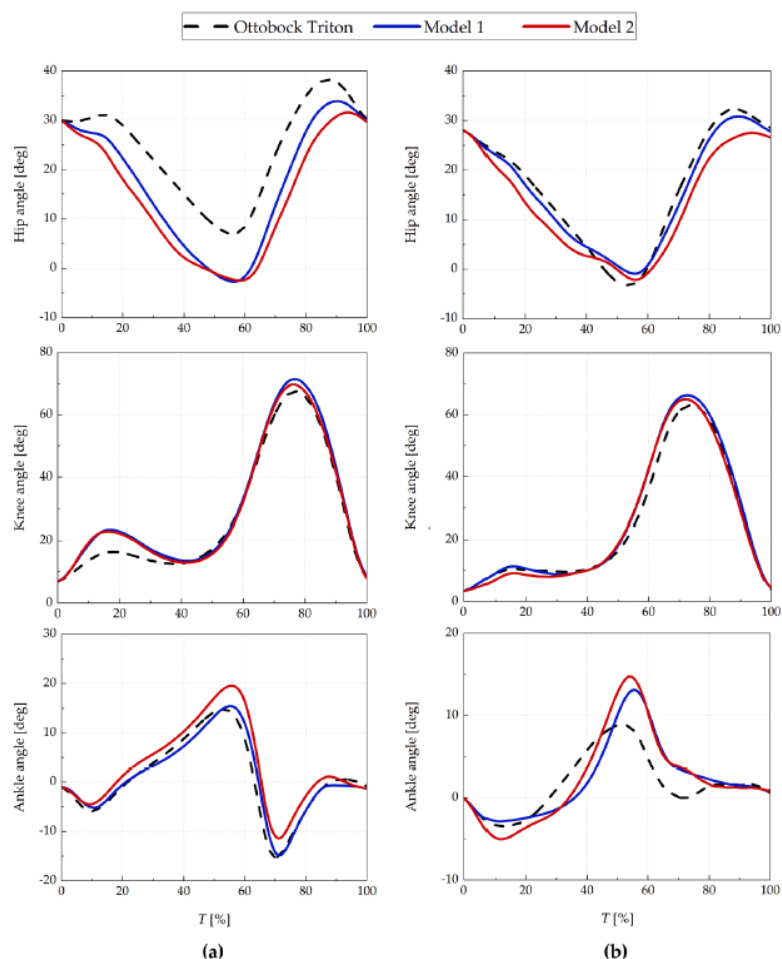


Рисунок 5. Углы сгибания бедра, колена и голеностопного сустава у пациента с ампутацией голени при ходьбе с различными протезами: (а) протезированная конечность; (б) неповрежденная конечность.

Заключение

Проведенное исследование демонстрирует жизнеспособность подхода к созданию функциональных протезов стопы методом FDM-печати из TPU 95A. Разработанные конструкции удовлетворяют требованиям прочности по ISO 22675:2024 и обеспечивают биомеханически приемлемую кинематику ходьбы. Модульная конструкция (Модель 2) показала преимущества в эффективности накопления энергии и плавности переката. Предложенный подход позволяет сократить стоимость и время изготовления протезов стопы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Johnson, W.B.; Prost, V.; Mukul, P.; Winter, A.G. Design and Evaluation of a High-Performance, Low-Cost Pros-704 thetic Foot for Developing Countries. **J. Med. Devices** 2023, 17, 011003. <https://doi.org/10.1115/1.4055967>
2. Chen, R.K.; Jin, Y.-A.; Wensman, J.; Shih, A. Additive Manufacturing of Custom Orthoses and Prostheses - A 706 Review. **Addit. Manuf.** 2016, 12, 77–89. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2016.04.002>
3. Wang, Y.; Tan, Q.; Pu, F.; Boone, D.; Zhang, M. A Review of the Application of Additive Manufacturing in Pros-708 thetic and Orthotic Clinics from a

Biomechanical Perspective. **Engineering** 2020, 6, 1258–1266. 709
<https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.07.019>

4. Bhatt, S.; Joshi, D.; Rakesh, P.K.; Godiyal, A.K. Advances in Additive Manufacturing Processes and Their Use for the Fabrication of Lower Limb Prosthetic Devices. **Expert Rev. Med. Devices** 2023, 20, 17–27. 712
<https://doi.org/10.1080/17434440.2023.2169130>

5.

6. Adamczyk PG, Roland M, Hahn ME. Sensitivity of biomechanical outcomes to independent variations of hindfoot and forefoot stiffness in foot prostheses. *Hum Mov Sci.* 2017 Aug;54:154-171. doi: 10.1016/j.humov.2017.04.005 Epub 2017 May 9. PMID: 28499159; PMCID: PMC6284521.

7. Um, H.-J.; Kim, H.-S.; Hong, W.; Kim, H.-S.; Hur, P. Design of 3D Printable Prosthetic Foot to Implement Nonlinear Stiffness Behavior of Human Toe Joint Based on Finite Element Analysis. **Sci. Rep.** 2021, 11, 19780. 721
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-98839-3>

DEVELOPMENT AND BIOMECHANICAL EVALUATION OF PROSTHETIC FEET MADE BY FDM PRINTING

Kurakin Anton Yurievich², student; Sergeev Anton Dmitrievich¹, student; Korostovskaya Darya Aleksandrovna², student; Kurenkova Anna Yurievna⁴, Candidate of Chemical Sciences; Serdyukov Vladimir Sergeevich³, Candidate of Physico-mathematical Sciences

¹ Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marx ave., 20, tel. +7(383)-346-50-01

² Novosibirsk State University, 630090, Russia, Novosibirsk, Pirogova str. 2, tel. +7(383)-363-40-37

³ S.S. Kutateladze Institute of Thermophysics SB RAS, 1 Akademika Lavrentieva ave., Novosibirsk, 630090, Russia, tel. +7(383)-330-90-40

⁴ Boreskov Institute of Catalysis SB RAS, 5 Akademika Lavrentieva ave., Novosibirsk, 630090, Russia, tel. +7 (383) 330-67-71

Sergeev A.D., email antonsergeev025@gmail.com

Annotation: Two prosthetic foot designs made of thermoplastic polyurethane using FDM printing have been developed. Numerical and experimental tests confirmed their compliance with strength requirements and biomechanical efficiency during walking. The proposed approach reduces the cost and manufacturing time of prosthetic feet.

Keywords: Additive manufacturing, FDM printing, prosthetic foot, biomechanics, finite element analysis (FEA)

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ГОРЯЧЕГО ДОУПЛОТНЕНИЯ
НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ СЛС СПЛАВА Al-10Sn-10Pb**

*Лихарев Вадим Евгеньевич¹², магистрант, инженер; Скоренцев
Александр Леонидович¹², к.т.н., научный сотрудник; Русин Николай
Мартемьянович¹, к.т.н., старший научный сотрудник; Акимов Кирилл
Олегович¹, к.т.н., научный сотрудник*

¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН
634055, г. Томск, пр. Академический 2/4, тел. (3822)-28-69-62

²Томский политехнический университет,
634050, г. Томск пр. Ленина 30, тел. (3822)-12-34-56

Лихарев В.Е., email vel6@tpu.ru

Скоренцев А.Л., e-mail skoralexan@mail.ru

Русин Н.М., e-mail rusinnm@mail.ru

Акимов К.О., e-mail akimov_ko@ispms.ru

Адрес для корреспонденции: *Лихарев Вадим Евгеньевич*, Институт
физики прочности и материаловедения СО РАН
634055, г. Томск, пр. Академический 2/4, тел. (3822)-28-69-62

Аннотация: Исследовано влияние температуры горячего доуплотнения на структуру и механические свойства сплава Al-10Sn-10Pb, полученного методом селективного лазерного сплавления (СЛС). Исходные образцы, полученные методом СЛС, обладают низкой пористостью (около 0,5 %) и относительно высокой прочностью (предел прочности $\sigma_B = 99$ МПа), однако отличаются невысокой пластичностью (11 %). Для улучшения механических свойств применялось доуплотнение при давлении 300 МПа и температуре 100-400 °С. Установлено, что доуплотнение позволяет практически полностью устранить пористость (менее 0,1 %). Показано, что повышение температуры обработки до 200 °С способствует дезинтеграции оловянной сетки и сфероидизации мягкой фазы, что приводит к росту σ_B до 127 МПа. Дальнейшее повышение температуры до 400 °С вызывает укрупнение структурных составляющих, в результате чего пластичность возрастает до 40 %, однако σ_B снижается до 108 МПа.

Ключевые слова: селективное лазерное сплавление, алюминиевые антифрикционные сплавы, горячее доуплотнение, структура, механические свойства, пластичность.

Введение

Алюминиевые сплавы, легированные легкоплавкими металлами, такими как олово и свинец, широко применяются в качестве антифрикционных материалов в узлах трения [1, 2]. Они обладают высокой теплопроводностью, коррозионной стойкостью, усталостной прочностью и задиростойкостью.

Однако традиционные методы получения таких сплавов литьем сопряжены с проблемой сегрегации фаз, существенно отличающихся по плотности [3], что ограничивает допустимую концентрацию мягкой фазы в промышленных сплавах до 10 % об. Обнаружено [4], что жидкофазное спекание позволяет увеличить содержание легкоплавких компонентов в алюминиевой сплаве до 20 % об., однако получаемые таким образом материалы характеризуются крупнозернистой структурой и низкими прочностными характеристиками.

Перспективным методом получения антифрикционных композитов с улучшенными механическими свойствами является селективное лазерное сплавление (СЛС). Благодаря высокой скорости охлаждения расплава, СЛС позволяет формировать мелкокристаллическую структуру, предотвращая макросегрегацию свинца и олова. Как показали предыдущие исследования [4], синтез композитов Al-Sn-Pb методом СЛС обеспечивает формирование материала с прочностью (до 100 МПа), заметно превосходящей ее значение для спеченных аналогов с эквивалентным количеством мягкой фазы, но уступающей ее значению для антифрикционных бронз. Кроме того, полученный методом СЛС сплав обладает невысокой пластичностью (около 11 %), сильно уступая спеченным образцам. Это обусловлено наличием остаточной пористости, а также тонкой непрерывной оловянной сетки.

Для устранения указанных недостатков целесообразно применение методов последующей термомеханической обработки. Среди таких методов перспективным является горячее доуплотнение (прессование при повышенных температурах), которое за счет совместного влияния высоких давлений и температур позволяет не только закрыть поры, но и вызвать изменение формы и размеров структурных составляющих.

Целью данной работы является исследование влияния температуры последующего доуплотнения на особенности формирования структуры и зависящие от них механические характеристики сплава Al-10Sn-10Pb.

Материалы и методы

Образцы для исследований были получены на 3D-принтере марки ONSINT AM150 в атмосфере проточного аргона высокой чистоты. Порошковую смесь состава Al-10Sn-10Pb об. % (Al-18Sn-28Pb масс. %), наносили ракелем на платформу из сплава АМг6, нагретую до 120 °С. Толщина наносимого за один проход слоя $t = 30$ мкм. Стратегия сканирования луча лазера была линейная с поворотом на 67°. Расчет величины энергии (E), сообщаемой лазером порошковому слою, проводили согласно формуле: $E = P/vst$. Скорость сканирования луча $v = 1$ м/с; диаметр пятна луча лазера $d = 80 \pm 5$ мкм; межтрековое расстояние $s = 90$ мкм. Мощность лазерного излучения $P = 130$ Вт, и в результате для исследуемого образца $E = 48$ Дж/мм³.

Синтезированные образцы были размером 10x10x10 мм. Доуплотнение их осуществляли путем одноосного двухстороннего прессования в пресс-форме с размером канала 10x10 мм. Прессование осуществляли на прессе МС 500 при давлении около 300 МПа. Направление доуплотнения было параллельно оси выращивания материала при СЛС. Температура прессования варьировалась от

100 °С до 400 °С с шагом в 100°С. Дальнейшее увеличение температуры прессования до 500 °С привело к расплавлению образца при прессовании.

Структура полученных образцов исследовалась на плоскости разреза, ориентированной вдоль оси выращивания. Поверхность шлифа готовили по стандартной методике: сначала шлифовали наждачной бумагой, а затем полировали на сукне с алмазной суспензией, содержащей частицы менее 1 мкм. Для исследования структуры образцов использовали растровый микроскоп LEO EVO 50 (Zeiss, Germany). Механические испытания материала осуществляли методом сжатия на универсальной испытательной машине Instron-1185 со скоростью осадки 0,5 мм/мин. Среднее значение механических характеристик рассчитывалось по трём образцам.

Результаты и обсуждение

Данные рентгенофазового анализа показали, что в процессе СЛС новых фаз в материале не образуются. Он содержит три фазы – Al, Pb и Sn. Данной энергии ($E = 48 \text{ Дж/мм}^3$) оказалось достаточно для сплавления порошковой смеси. При этом материал содержит большое количество светло серых участков, которая представляет собой эвтектическую смесь мелких частиц алюминия и олова (рис.1а). При этом часть олова за счет высокой скорости диффузии в расплаве успевает выйти на границы кристаллизующихся областей и формирует тонкую сетку. Также, в материале присутствуют области темного цвета, соответствующие чистому алюминию. Свинец намного хуже перемешивается с жидким алюминием по сравнению с оловом, поэтому располагается в основном в виде крупных включений. Пористость сплава Al-10Sn-10Pb после СЛС оказалась низкой и составляла около 0,5 %.

Механические испытания на сжатие (рис. 1е) показали, что указанный энергетический режим СЛС обеспечивает формирование сплава с относительно высокими прочностными характеристиками. Так, значение его предела текучести $\sigma_{0,2}$ составляло 75 МПа, а предел прочности $\sigma_B = 99 \text{ МПа}$, что заметно превосходило соответствующие прочностные характеристики спеченных сплавов Al-Sn-Pb с эквивалентным количеством мягкой фазы. Однако пластичность его была невысокая (11 %) и заметно уступала ее значению для спеченных образцов (более 20 %). Причиной такой невысокой пластичности является наличие в материале остаточных пор и тонкой оловянной сетки, что способствует локализации деформации при нагружении материала и преждевременному его разрушению.

Обнаружено, что последующее доуплотнение полученных методом СЛС образцов привело к практически полному устранению пор, и значение пористости материала составляло менее 0,1 %. Доуплотнение при 100 °С привело к значительному повышению прочностных характеристик сплава (рис.1е), и его предел прочности достигает 120 МПа. Однако пластичность его составляла около 9 % и была даже ниже, чем в случае исходного синтезированного сплава. Причиной такой невысокой пластичности является сохранение значительных термических напряжений, а также высокой связанности тонкой оловянной сетки (рис.1б). При увеличении температуры

доуплотнения до 200 °С, оловянная сетка начинает дезинтегрироваться, а включения мягкой фазы сфероидизируются и укрупняются. В результате пластичность материала возрастает до 12 %, а значение его σ_B достигает максимального значения 127 МПа. При дальнейшем увеличении температуры прессования тенденция к укрупнению включений мягкой фазы и алюминиевых зерен сохраняется (рис.1г, д). В результате пластичность сплава значительно возрастает и достигает 40%, однако прочность при этом снижается и в случае доуплотнения при 400 °С значение σ_B = 108 МПа.

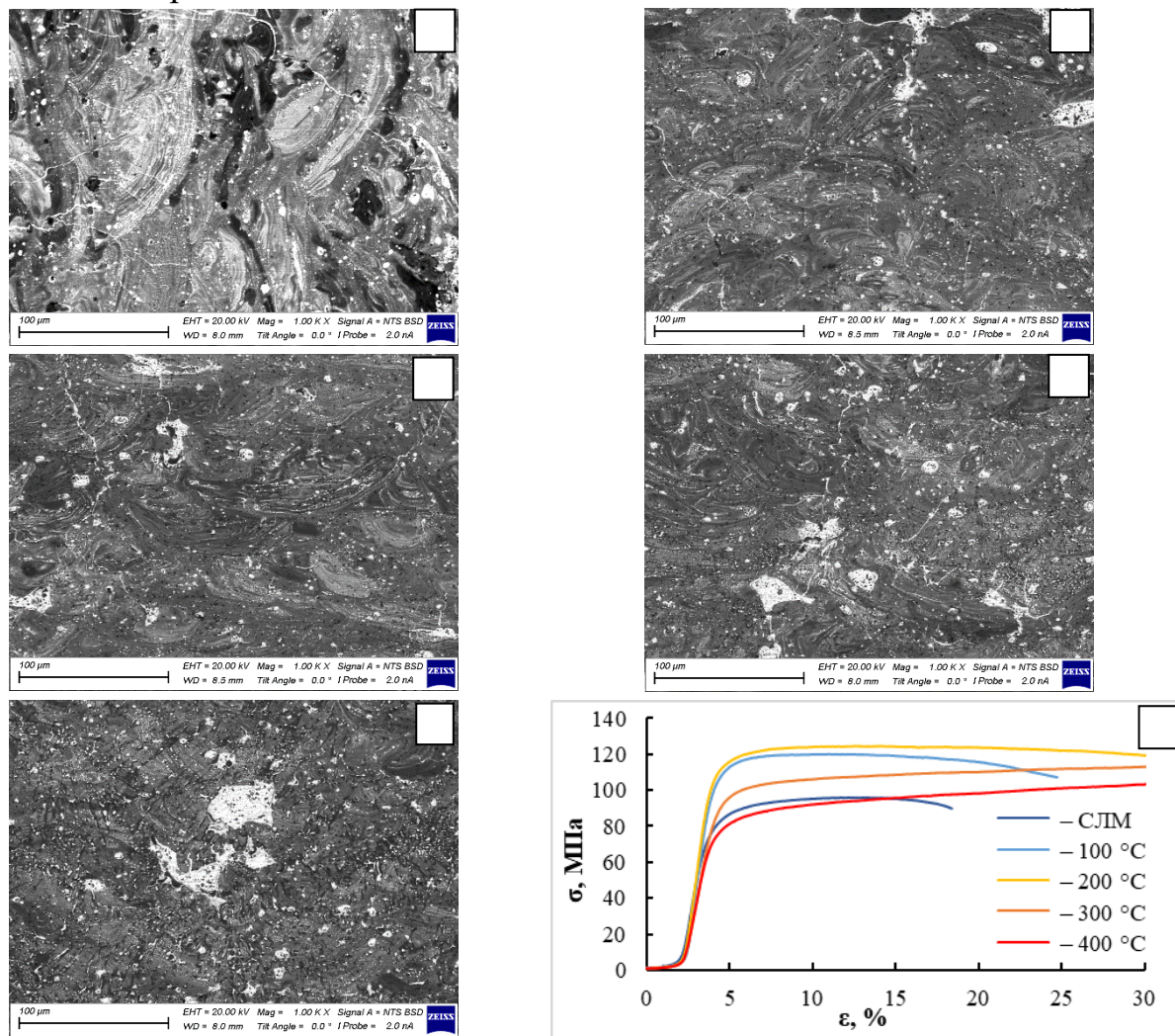


Рис. 1. РЭМ изображение структуры сплава Al-10Sn-10Pb после СЛС (а) и доуплотнения при 100 °С (б), 200 °С (в), 300 °С (г) и 400 °С (д). (е) – кривые сжатия

Выводы

1. Последующая термомеханическая обработка полученного методом СЛС сплава Al-10Sn-10Pb путем доуплотнения образцов при температуре до 400 °С приводит к значительному увеличению пластичности материала.

2. Рост температуры доуплотнения до 200 °С приводит к значительному повышению предела прочности сплава с 99 до 127 МПа. При дальнейшем увеличении температуры до 400 °С структурные составляющие материала заметно укрупняются, и его прочность снижается.

Работа выполнена в рамках реализации проекта РНФ № 24-79-10099.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. M.Q. Zeng, R.Z. Hu, K.Q. Song, L.Y. Dai, Z.C. Lu, Enhancement of wear properties of ultrafine-structured Al–Sn alloy-embedded Sn nanoparticles through in situ synthesis, *Tribol. Lett.* 67 (2019) 84.
2. T. Tamura, M. Li, K. Takahashi, E. Inoue, Improved solidification structures and mechanical properties of Al–20 wt% Sn alloys processed by an electromagnetic vibration technique, *Mater. Sci. Eng. A* 862 (2023) 144416
3. S. Huang, B. Zhu, Y. Zhang, H. Liu, S. Wu, H. Xie, Microstructure comparison for AlSn20Cu antifriction alloys prepared by semi-continuous casting, semi-solid die casting, and spray forming, *Metals* 12 (2022) 1552
4. Rusin, N.M.; Skorentsev, A.L.; Akimov, K.O.; Likharev, V.E.; Il'yashchenko, D.P.; Dmitriev, A.I. Effect of Laser Energy Density During LPBF on the Structure and Mechanical Properties of Al–15Sn–5Pb Alloy. *Materials* 2025, 18, 5268. <https://doi.org/10.3390/ma18235268>

EFFECT OF HOT DENSIFICATION TEMPERATURE ON THE STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF SLM-PROCESSED Al-10Sn-10Pb ALLOY

Vadim E. Likharev^{1,2}, Master's Student, Engineer; Aleksandr L. Skorentsev^{1,2}, PhD, Researcher; Nikolay M. Rusin¹, PhD, Senior Researcher; Kirill O. Akimov¹, PhD, Researcher

¹Tomsk Polytechnic University, 30 Lenin Ave., Tomsk, 634050, Russia,
tel. (3822) 12-34-56

²Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, 2/4 Akademicheskoy Ave., Tomsk, 634055, Russia, tel. (3822) 28-69-62

V.E. Likharev, e-mail: vel6@tpu.ru

A.L. Skorentsev, e-mail: skoralexan@mail.ru

N.M. Rusin, e-mail: rusinnm@mail.ru

K.O. Akimov, e-mail: akimov_ko@ispms.ru

Address for correspondence: **Likharev Vadim Evgenievich**, Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, 2/4 Akademicheskoy Ave., Tomsk, 634055, Russia, tel. (3822) 28-69-62.

Annotation: The effect of hot densification temperature on the structure and mechanical properties of an Al-10Sn-10Pb alloy produced by selective laser melting (SLM) has been investigated. The initial SLM-produced samples exhibit low porosity (about 0.5%) and relatively high strength (ultimate tensile strength $\sigma_U = 99$ MPa), but are characterized by low ductility (11%). To improve the mechanical properties, densification was performed at a pressure of 300 MPa within a temperature range of 100–400 °C. It was established that densification allows for the almost complete elimination of porosity (to less than 0.1%). It was shown that increasing the processing temperature to 200 °C promotes the disintegration of the tin network and

spheroidization of the soft phase, leading to an increase in σ_U to 127 MPa. A further increase in temperature to 400 °C causes coarsening of the structural components, resulting in an increase in ductility to 40%, although σ_U decreases to 108 MPa.

Keywords: selective laser melting, aluminum antifriction alloys, hot densification, structure, mechanical properties, plasticity.

УДК 531.43

МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЛОЕВ, ФОРМИРУЕМЫХ МЕТОДАМИ ТРЕНИЯ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ НА СТАЛЬНЫХ ПОДЛОЖКАХ

Неустроев Иннокентий Юрьевич¹, аспирант

¹Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)005-48-19

Неустроев И.Ю., e-mail yrtif@mail.ru

Аннотация: В статье рассмотрены особенности формирования слоёв на стальных подложках методами трения с перемешиванием, включая аддитивную фрикционную наплавку с перемешиванием (AFS-D), фрикционную обработку перемешиванием (FSP) и сварку трением с перемешиванием (FSW). Актуальность работы связана с необходимостью повышения твёрдости, прочности и износостойкости поверхностных слоёв конструкционных сталей. Основное внимание уделено влиянию типа процесса и состава материала на механические характеристики формируемых слоёв. Показано, что структура слоёв формируется за счёт интенсивной пластической деформации, динамической рекристаллизации и измельчения зерна. Рассмотрены системы «сталь–сталь», разнородные соединения «алюминий–сталь» и композиционные слои с упрочняющими частицами. Установлено, что в системах «сталь–сталь» достигается наиболее благоприятное сочетание прочности и пластичности, тогда как в разнородных соединениях определяющим фактором является образование интерметаллидных фаз. Показано, что введение керамических частиц повышает твёрдость и износостойкость, но требует оптимизации параметров процесса для получения однородной структуры.

Ключевые слова: аддитивная фрикционная наплавка с перемешиванием, трение с перемешиванием, сварка трением с перемешиванием, механические свойства, микроструктура, упрочнение, износостойкость

Введение

Современные требования к деталям машиностроения и авиационно-космической техники обуславливают необходимость повышения эксплуатационных характеристик поверхностных слоёв, включая прочность и износостойкость. Одним из перспективных направлений является применение твердотельных технологий обработки материалов, основанных на интенсивной

пластической деформации и трении: AFS-D, FSP и FSW. Эти процессы протекают без расплавления материала, что снижает вероятность пористости, горячих трещин и ликвационной неоднородности. Формирование структуры происходит за счёт динамической рекристаллизации и измельчения зерна, что улучшает механические свойства. Цель работы — проанализировать влияние типа процесса и состава материала на механические характеристики слоёв, формируемых на стальных подложках.

1. Особенности формирования слоёв при обработке стальных подложек методами трения с перемешиванием

Процессы трения с перемешиванием основаны на преобразовании механической энергии вращающегося инструмента в тепло, что приводит к локальному нагреву материала до температур ниже температуры плавления и его последующей интенсивной пластической деформации. В результате формируется зона перемешивания с высокой степенью деформации и рекристаллизации.

При обработке стальных подложек данные процессы имеют ряд особенностей, связанных с более высокой прочностью и температурой рекристаллизации стали по сравнению с алюминиевыми сплавами. Это требует большего усилия и тепловложения, что влияет на стабильность процесса и износ инструмента.

В процессе FSP на поверхности стали формируется модифицированный слой с измельчённой структурой зерна, при этом размер зерна может снижаться на порядок по сравнению с исходным материалом, что приводит к росту твёрдости и прочности. При введении армирующих частиц возможно формирование поверхностных композиционных слоёв с повышенной износостойкостью.

В случае FSW структура формируется в зоне сварного соединения, где материал двух заготовок подвергается перемешиванию. При соединении стали с алюминиевыми сплавами особое значение имеет образование интерметаллидных фаз Fe–Al, которые повышают прочность, но при избыточном росте снижают пластичность.

Процесс AFS-D сочетает механизмы, характерные для FSP и FSW, и дополнительно обеспечивает подачу материала в зону обработки. Это позволяет формировать слои на поверхности стальных подложек с заданным составом и структурой, а также обеспечивает металлургическую связь между наносимым материалом и подложкой.

Таким образом, формирование слоёв при использовании методов трения с перемешиванием на стальных подложках определяется сочетанием тепловых и деформационных факторов, а также химическим составом взаимодействующих материалов, что в конечном итоге определяет механические характеристики и требует оптимизации режимов.

2. Комбинации материалов и механические характеристики слоёв на стальных подложках

Методы трения с перемешиванием позволяют формировать упрочнённые поверхностные слои на стальных подложках без расплавления материала, что обеспечивает высокую металлургическую связь и снижает вероятность дефектов, характерных для традиционных сварочных и аддитивных процессов. Механические свойства таких слоёв определяются сочетанием материалов, интенсивностью пластической деформации, динамической рекристаллизацией, измельчением зерна и характером межфазного взаимодействия на границе раздела.

В системах «сталь–сталь» FSP и AFS-D обеспечивают локальное упрочнение за счёт измельчения структуры зерна и повышения плотности дислокаций при практически неизменном химическом составе. Это приводит к росту твёрдости и прочности при сохранении удовлетворительной пластичности. Особенно благоприятные результаты достигаются в случаях, когда удаётся получить однородную мелкозернистую структуру без образования хрупких фаз.

В разнородных системах «алюминий–сталь», формируемых FSW или AFS-D, важнейшим фактором является образование переходной зоны с интерметаллидными фазами Fe–Al. Эти фазы повышают твёрдость, но при увеличении их толщины снижают пластичность и устойчивость к разрушению. Поэтому свойства соединения в значительной степени зависят от параметров процесса и должны быть тщательно оптимизированы.

Формирование композиционных слоёв с упрочняющими частицами SiC, TiC или Al_2O_3 расширяет функциональные возможности технологий трения с перемешиванием. При равномерном распределении частиц достигается дополнительное упрочнение и рост износостойкости, однако при их агломерации возможно снижение пластичности и появление локальных концентраторов напряжений.

Твёрдость является наиболее чувствительной характеристикой структурных изменений в зоне сильной пластической деформации. Во всех системах («сталь–сталь», «алюминий–сталь», композиты) наблюдается увеличение твёрдости по сравнению с исходным материалом, что связано с измельчением зерна, ростом плотности дислокаций и дисперсионным упрочнением. Для сталей, обработанных FSP, рост твёрдости обычно составляет 30–100% в зависимости от режима и исходного состава; для AFS-D-слоёв на нержавеющей сталях типового прироста твёрдости в диапазоне 20–40% достаточно для заметного улучшения износостойкости [6].

Прочностные характеристики (предел текучести, временное сопротивление разрыву) повышаются за счёт совокупного действия измельчения зерна, дислокационного и дисперсионного упрочнения. В системах «сталь–сталь» пластичность обычно сохраняется на высоком уровне, поскольку микроструктура остаётся однородной и не образуются хрупкие фазы. В разнородных системах «алюминий–сталь» пластичность снижается пропорционально росту толщины хрупких интерметаллидных слоёв, что повышает склонность к хрупкому разрушению под динамическими нагрузками [4, 8].

Износостойкость поверхностных слоёв особенно заметно увеличивается при формировании композиционных структур с керамическими частицами (SiC, Al₂O₃, TiC), где высокая твёрдость и устойчивость к абразивному износу обеспечиваются одновременно. Для сталей, обработанных методами FSP и AFS-D, улучшение износостойкости также связано с мелкозернистой структурой и высокой плотностью дефектов кристаллической решётки [7].

Обобщённые результаты анализа механических характеристик слоёв, сформированных различными методами, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Механические характеристики и особенности слоёв, сформированных методами трения с перемешиванием на стальных подложках

Процесс	Система	Размер зерна (мкм)	Твёрдость	Прочность на разрыв (МПа)	Особенности
FSP	Сталь	1–5	Повышение на 30–100%	увеличение на 20–50%	Ультрамелкозернистая структура, высокая пластичность
FSP	Композит – Сталь	1–5 + частицы	повышение до 2 раз	увеличение	Дисперсионное упрочнение, возможна агломерация частиц
FSW	Сталь – сталь	5–15	Умеренное повышение	незначительное повышение	Однородная структура, отсутствие хрупких фаз
FSW	Алюминий – сталь	Неоднородная структура	локальное повышение	определяется толщиной и сплошностью интерметаллидного слоя	Образование интерметаллидов Fe–Al, снижение пластичности
AFS-D	Сталь – сталь	2–10	повышение на 20–40%	увеличение	Послойное формирование, хорошая металлургическая связь
AFS-D	Алюминий – сталь	Неоднородная структура	Повышение на 40–60%	ограниченная прочность из-за интерметаллидов	Интерметаллиды, требуется контроль тепловложения
AFS-D	Композит – сталь	Неоднородная структура	Повышение до 2 раз	увеличение	Градиентные структуры, риск неоднородности

Выводы

1. Методы трения с перемешиванием обеспечивают эффективное упрочнение поверхностных слоёв на стальных подложках за счёт формирования мелкозернистой структуры и динамической рекристаллизации.

2. Наиболее благоприятное сочетание прочности и пластичности наблюдается в системах «сталь–сталь».

3. В разнородных соединениях «алюминий–сталь» механические свойства определяются параметрами формирования интерметаллидного слоя Fe–Al.

4. Введение керамических частиц повышает твёрдость и износостойкость, но требует оптимизации режимов обработки.

Перспективы дальнейших исследований

Перспективным направлением дальнейших исследований является развитие процесса AFS-D для систем «сталь–сталь» с использованием стального порошка в качестве присадочного материала. Это позволит установить связь между параметрами процесса, морфологией порошка и механическими свойствами формируемых слоёв, а также подобрать режимы для получения плотных и однородных покрытий с заданным уровнем прочности и износостойкости.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Mishra, R.S. and Ma, Z.Y. (2005) Friction Stir Welding and Processing. Materials Science and Engineering: R: Reports, 50, 1-78.

MECHANICAL PROPERTIES OF LAYERS FORMED BY FRICTION STIR-BASED PROCESSES ON STEEL SUBSTRATES

Neustroev Innokentii Yurievich¹, graduate student

¹Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Karl Marx Avenue, tel. (913)005-48-19

Neustroev I.Y., e-mail yrtif@mail.ru

Address for correspondence: Neustroev Innokentii Yurievich, Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Karl Marx Avenue, tel. (913)005-48-19

Abstract: This paper analyzes the formation and mechanical properties of layers produced on steel substrates using friction stir-based technologies, including additive friction stir deposition (AFS-D), friction stir processing (FSP), and friction stir welding (FSW). The study addresses the growing demand for improved hardness, strength, and wear resistance of surface layers in structural steels.

The work focuses on the influence of process type and material composition on the resulting mechanical characteristics. These processes operate in the solid state and avoid melting, which reduces the formation of defects such as porosity, hot cracking, and segregation. The microstructure of the processed layers forms through severe plastic deformation, dynamic recrystallization, and grain refinement.

The paper considers three main material systems: steel–steel, aluminum–steel dissimilar joints, and composite layers reinforced with ceramic particles. The results show that steel–steel systems provide the most balanced combination of strength and ductility due to the formation of a homogeneous fine-grained structure. In contrast, aluminum–steel systems strongly depend on the formation of Fe–Al intermetallic phases, which increase hardness but may reduce ductility. The incorporation of ceramic particles such as SiC, TiC, and Al₂O₃ enhances hardness and wear resistance, although it requires careful optimization of processing parameters to ensure uniform distribution.

Overall, friction stir-based processes demonstrate significant potential for tailoring the microstructure and mechanical performance of surface layers on steel substrates.

Keywords: additive friction stir deposition; friction stir processing; friction stir welding; steel substrates; mechanical properties; microstructure; grain refinement; wear resistance; composite layers

УДК 621.9.048.6

ИМПОРТОНЕЗАВИСИМЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ЦИКЛОПЕНТАНА - ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОГО ВСПЕНИВАТЕЛЯ ДЛЯ ЖЁСТКИХ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПЛАСТИКОВ

Филина Мария Петровна

Национальный исследовательский Томский государственный
университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36

Филина М.П., e-mail: filina@ect-center.com

Аннотация: Рассмотрен условно-ректификационный способ циклопентана из дициклопентадиена в качестве основы для импортонезависимого производства экологически безопасного вспенивающего агента для получения жёстких конструкционных пластиков. Показаны преимущества циклопентана по теплопроводности, озоноразрушающему потенциалу и индексу глобального потепления по сравнению с хлор- и фторсодержащими вспенивателями. Описаны результаты экспериментального исследования мономеризации дициклопентадиена и гидрирования циклопентадиена в пилотной консервативно-ректификационной колонне с приближающимися прямоточными фазами движения. Приведены оптимальные условия проведения процессов, обеспечение конверсии дициклопентадиена 93-97%, селективность по циклопентадиену до 98%, конверсия циклопентадиена 93,5-99% и селективность по циклопентадиену до 99,8%. Сформулированы основные положения кинетико-термодинамической модели процесса, реализованной в среде AspenPlus с использованием уравнения состояния Peng-Robinson. Показано, что предлагаемое аппаратно-технологическое решение позволяет снизить энергетические затраты на 25-30% и уменьшить габариты оборудования в 1,5-2 раза по сравнению с отдельной стадией реализации, что делает разработанный способ получения перспективным для промышленного циклопентана для теплоизоляционных систем.

Ключевые слова: циклопентан, дициклопентадиен, циклопентадиен, предварительная ректификация, гидрирование, вспенивающий агент, жёсткие пенопласты, теплоизоляция.

Введение

Циклопентан (ЦПАН, C_5H_{10}) широко применяется в качестве вспенивающего агента при производстве жёстких пенополиуретанов и пенополиизоциануратов, в холодильной технике, строительстве, транспорте и энергетике [1]. В отличие от хлорфторуглеродов и гидрохлорфторуглеродов циклопентан обладает нулевым озоноразрушающим потенциалом и низким индексом глобального потепления, а при использовании приводит к снижению коэффициента теплопроводности жёстких пен на 15-20 %. Вклад теплоизоляции в энергопотребление холодного и криогенного оборудования достигает 30–40%, поэтому выбор вспенивающего агента влияет на ресурсосбережение и массу конструкционных пластиков.

В Российской Федерации ЦПАН остается импортируемым продуктом при годовом потреблении порядка 15-17 тыс. тонн, несмотря на наличие развитой сырьевой базы пиролизных фракций C_5 с повышенным содержанием циклопентадиена (ЦПД) и его димера – дициклопентадиена (ДЦПД). Прямое выделение ЦПАН из фракций нефтяного происхождения ограничено температурной близостью к углероду ЦПАН и неогексана и требует энергоёмкой экстракционной дистилляции.

Ключевой проблемой разработки технологии синтеза ЦПАН из ДЦПД является невозможность длительного хранения промежуточного продукта – ЦПД, склонного к димеризации и олигомеризации с образованием смолистых продуктов. Для минимизации времени пребывания ЦПД в свободном виде этапы его получения, очистки и гидрирования предложено реализовать в одном аппарате и тем самым максимально снизить энергоёмкость процесса [2].

Целью настоящей работы является разработка технологических основ реакционно-ректификационного процесса получения ЦПАН в режиме непрерывного гидрирования ЦПД с прямоточным движением фаз на слое твердого катализатора.

Методика экспериментального исследования

Эксперименты, проведенные на пилотной установке непрерывного действия производительностью 300-360 г/ч по ДЦПД. Схема установки (рис.1) включает в себя аппарат с нижними и верхними ректификационными секциями по 20 теоретических тарелок каждая, кубовый кипятильник, два дефлегматора и встроенную каталитическую зону гидрирования с теплообменными трубками, отделенную от верхней ректификационной части глухой перегородкой, и сообщающей с нижней частью переточными трубами. При этом газовая и жидкая фазы движутся в каталитической среде в режиме нисходящего прямотока, что позволяет использовать тепло экзотермической реакции гидрирования в качестве внутреннего кипятильника для верхней зоны ректификации [3].

Мономеризация ДЦПД с получением ЦПД проводится в газовой фазе при температурах 260-320 °С и давлениях 0,1-0,45 МПа, исследуя влияние температуры, времени контакта и давления на конверсию ДЦПД, селективность по ЦПД и смолистых продуктов. Гидрирование ЦПД в различных температурах 100-160 °С, давлений 0,15-0,3 МПа и массовых соотношений

водород/углеводород от 1:3 до 1:7. Значения флегмовых чисел для ректификационных зон поддерживается в интервале 2-5.

В качестве сырья использовали ДЦПД по ТУ 2416-024-05766801-2007 с содержанием основного вещества не менее 96,4% масс. Водород подавали в виде технического газа по ГОСТ 3022-80. В качестве катализаторов применены для мономеризации ДЦПД никелевый катализатор на кизельгуре, и для гидрирования ЦПД палладиевый катализатор Polymax 200 и никелевый катализатор на кизельгуре [4].

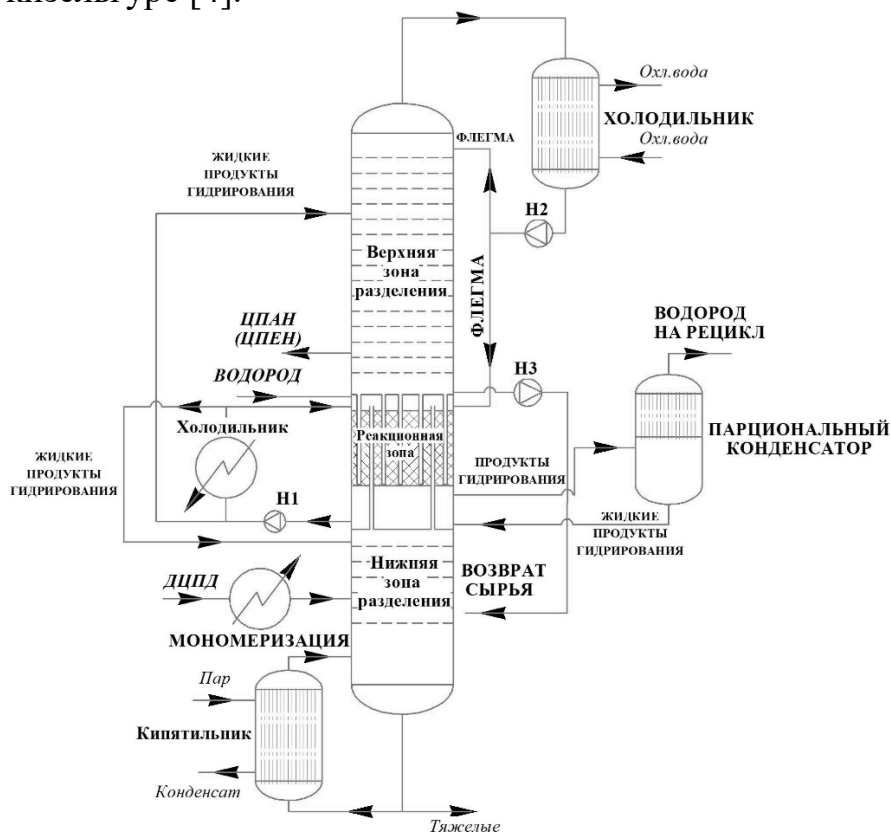


Рисунок 1 Схема пилотной установки получения ЦПАН из ДЦПД

Состав потоков контролировали методами газовой хроматографии (Хроматэк Кристалл 2000, детектор ПИД, капиллярная колонка Agilent DB-1, 50 м × 0,2 мм × 0,33 мкм).

Математическое моделирование

Для описания технологий разработана кинетическая-термодинамическая математическая модель, реализованная в программном пакете AspenPlus 14 с использованием уравнения состояния Peng-Robinson для расчёта фазового равновесия системы «ДЦПД – ЦПД – ЦПАН – толуол – углеводороды» и модуля RadFrac для моделирования ректификационных секций. В модель включены кинетические уравнения мономеризации, обратной димеризации и олигомеризации ДЦПД, а также двухстадийного гидрирования ЦПД до циклопентена (ЦПЕН), а затем до ЦПАН на катализаторе Polymax 200 с учётом парциальных давлений реагентов. Кинетические параметры определены по результатам экспериментов: энергия активации мономеризации ДЦПД 145 кДж/моль, обратная димеризация ЦПД 110 кДж/моль, олигомеризация 54

кДж/моль; для стадий гидрирования ЦПД до ЦПЕН 28,8 кДж/моль и 94,6 кДж/моль до ЦПАН.

Сопоставление расчётных и экспериментальных данных показало, что коэффициенты детерминации R^2 составляют 0,92–0,95, а средние относительные расхождения по концентрации основных компонентов не более 5-10 %, что подтверждает адаптивность модели и возможность ее использования для параметрической оптимизации и масштабирования процесса.

Результаты и обсуждение

Каталитическая мономеризация ДЦПД в газовой фазе при 300 °С и давлении 0,098 МПа обеспечивает конверсию 93-97 % и селективность по ЦПД до 98 % при времени контакта около 1,8 с⁻¹. Повышение давления до 0,23-0,45 МПа приводит к снижению селективности и росту выхода олигомерных продуктов.

В условиях нисходящего прямотока фаз в каталитической среде установлены оптимальные параметры гидрирования ЦПД до ЦПАН: температура 120-140 °С, давление 0,25-0,3 МПа, массовое соотношение водород/углеводород 1:5, при этом флегмовое число нижней зоны ректификации около 4. При таких параметрах конверсия по диену достигает 93,5-99 %, а чистота ЦПАН достигает 99,8 %, содержание ЦПЕН в товарном продукте не составляет не более 0,2% масс. Никелевый катализатор на кизельгуре обладает более высокой начальной активностью, однако требует регенерации после эксплуатации в течении 150-200 ч, тогда как катализатор Polymax 200 сохраняет стабильную активность в течении 500 ч непрерывной работы.

Численные эксперименты в AspenPlus, показывают, что использование падающего прямоточного режима в каталитической зоне с теплообменными элементами в качестве источника энергии для ректификационных секций, позволяет снизить суммарные энергетические затраты процесса на 25–30% по сравнению с отдельной реализацией стадий очистки ЦПД, гидрирования ЦПД и ректификации ЦПАН.

На основе результатов предложены варианты технологической схемы автономной установки производительностью 500 т ЦПАН в /год.

Выводы

Обоснована актуальность способа получения ЦПАН из ДЦПД как элемента импортонезависимой сырьевой базы для производства жёстких конструкционных пенопластов.

Экспериментально показано, что каталитическая мономеризация ДЦПД в газовой фазе на никелевом катализаторе при 300 °С и 0,098 МПа обеспечивает конверсию 93-97% и селективность по ЦПД до 98%.

Установлены оптимальные условия гидрирования ЦПД в реакционно-ректификационном аппарате с прямоточным движением потоков в каталитической зоне гидрирования с обеспечением конверсии 93,6 % и селективность по ЦПАН до 99,8 % при минимальном содержании ЦПЕН в товарном продукте.

Разработана и верифицирована кинетико-термодинамическая модель процесса в AspenPlus с использованием уравнения состояния Peng-Robinson, подходящего для параметрической оптимизации и масштабирования установки.

Показано, что разработанный способ получения ЦПАН из ДЦПД является перспективным для промышленной реализации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шалыжин К.А. О преимуществах изделий в ППУ изоляции, изготовленных с использованием цикlopентана // Новости теплоснабжения. 2012. № 9. С. 145.
2. Harmsen GJ (2007) Reactive distillation: the front-runner of industrial process intensification: a full review of commercial applications, research, scale-up, design and operation. Chem Eng Process 46:774–780
3. Байгузин, Ф. А., Бурмистров, Д. А., Ирдинкин, С. А., Филина, М. П. Синтез цикlopентана из дициклопентадиена в условиях нисходящего прямотока в каталитической зоне реакционно-ректификационного аппарата. *Катализ в промышленности*, Т. 18. № 1, С. 6-12. DOI:10.18412/1816- 0387-2018-1-6-12
4. Jiří Krupka, Josef Pašek, Vlastimil Fíla, Jan Patera, Zdenek Severa. «Technology Aspects of the Hydrogenation of Cyclopentadiene to Cyclopentene» // Petroleum and Coal. — 2005. — Vol. 47, No. 1. — P. 22–32.

IMPORT-INDEPENDENT PROCESS FOR PRODUCING CYCLOPENTANE, AN ENVIRONMENTALLY FRIENDLY BLOWING AGENT FOR RIGID STRUCTURAL PLASTICS

Filina Mariia Petrovna

National Research Tomsk State University, 36 Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia

Filina M.P., e-mail: filina@ect-center.com

Annotation: Cyclopentane is one of the key hydrocarbons blowing agents for rigid polyurethane and polyisocyanurate foams used in refrigeration, construction, and transport. It is regarded as a sustainable replacement for chlorofluorocarbon and hydrochlorofluorocarbon blowing agents because it has zero ozone depletion potential and a low global warming potential while also providing improved thermal insulation performance. In the Russian Federation, cyclopentane is fully imported despite the availability of large C5 pyrolysis streams rich in dicyclopentadiene. This work is devoted to the development of a reactive-distillation process for producing high-purity cyclopentane from dicyclopentadiene in a column with concurrent downward flow of gas and liquid phases through a fixed catalytic bed. Experimental studies of dicyclopentadiene monomerization and cyclopentadiene hydrogenation were carried out on a pilot unit. Optimal conditions were determined, providing dicyclopentadiene conversion of 93-97% with cyclopentadiene selectivity of up to 98%, and cyclopentadiene conversion of 93.5-99% with cyclopentane selectivity of up to 99.8%.

A kinetic–thermodynamic model of the hybrid reactive–distillation process was developed in Aspen Plus using the Peng–Robinson equation of state and was validated against pilot-scale data. The proposed configuration, which uses the heat of the exothermic hydrogenation reaction as an internal energy source for rectification, reduces total energy consumption by 25-30% and decreases equipment size by a factor of 1.5-2 compared with conventional process schemes with separated stages. This process provides a promising technological basis for domestic production of an environmentally friendly blowing agent for rigid structural plastics and high-performance thermal insulation systems.

Keywords: cyclopentane, dicyclopentadiene, cyclopentadiene, reactive distillation, hydrogenation, blowing agent, rigid foams, thermal insulation.

УДК 614.84:621.311.21

МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ ПО УПРАВЛЕНИЮ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ И ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМИ РИСКАМИ

*Арцыбашева Арина Сергеевна¹, студент; Гуськов Анатолий
Васильевич¹, д.т.н.*

¹ Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)005-48-19

Арцыбашева А.С., email arcybasheva.2021@stud.nstu.ru

Гуськов А.В., e-mail a.guskov@corp.nstu.ru

Адрес для корреспонденции: Арцыбашева Арина Сергеевна, Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)005-48-19

Аннотация: На основании статистических данных определено количество несчастных случаев за последние 5 лет, выделены основные причины несчастных случаев на предприятиях. Определены методы оценки профессионального или производственного риска для одной из причин.

Ключевые слова: Риск, метод анализа причинно-следственных связей, метод галстук-бабочки, безопасность труда, несчастный случай.

Метод управления безопасностью в охране труда и технике безопасности, при котором интенсивность контроля, выбор защитных мер, а также распределение ресурсов зависят от вероятности наступления нежелательного события получил название риск-ориентированный подход. Преимущество данного метода управления заключается в том, что, повышая качество условий труда, предприятие может повысить производительность, сэкономить финансовые ресурсы, а также повысить корпоративную культуру безопасности [1].

Согласно статистическим данным за последние 5 лет ежегодно на производствах Российской Федерации количество пострадавших с различной степенью тяжести составляет около 21 тысячи человек (рисунок 1) [2].

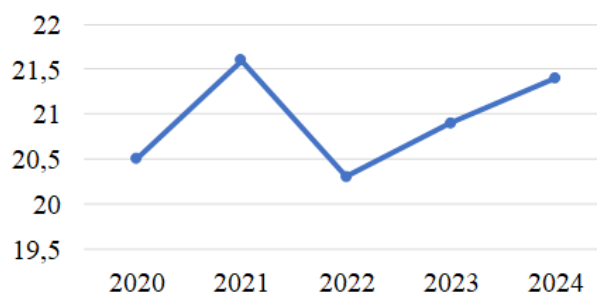


Рисунок 1. Численности пострадавших на производствах (тыс. человек)

Среди основных причин травматизма выделяют следующие:

- неудовлетворительная организация работ;
- нарушение ПДД;
- нарушение работником трудового распорядка;
- нарушение технологического процесса;
- недостатки в подготовке работников по ОТ;
- неприменение работников СИЗ;
- недостатки в организации рабочих мест и другие.

Их процентное соотношение за последние 5 лет представлено на рисунке 2 [2].

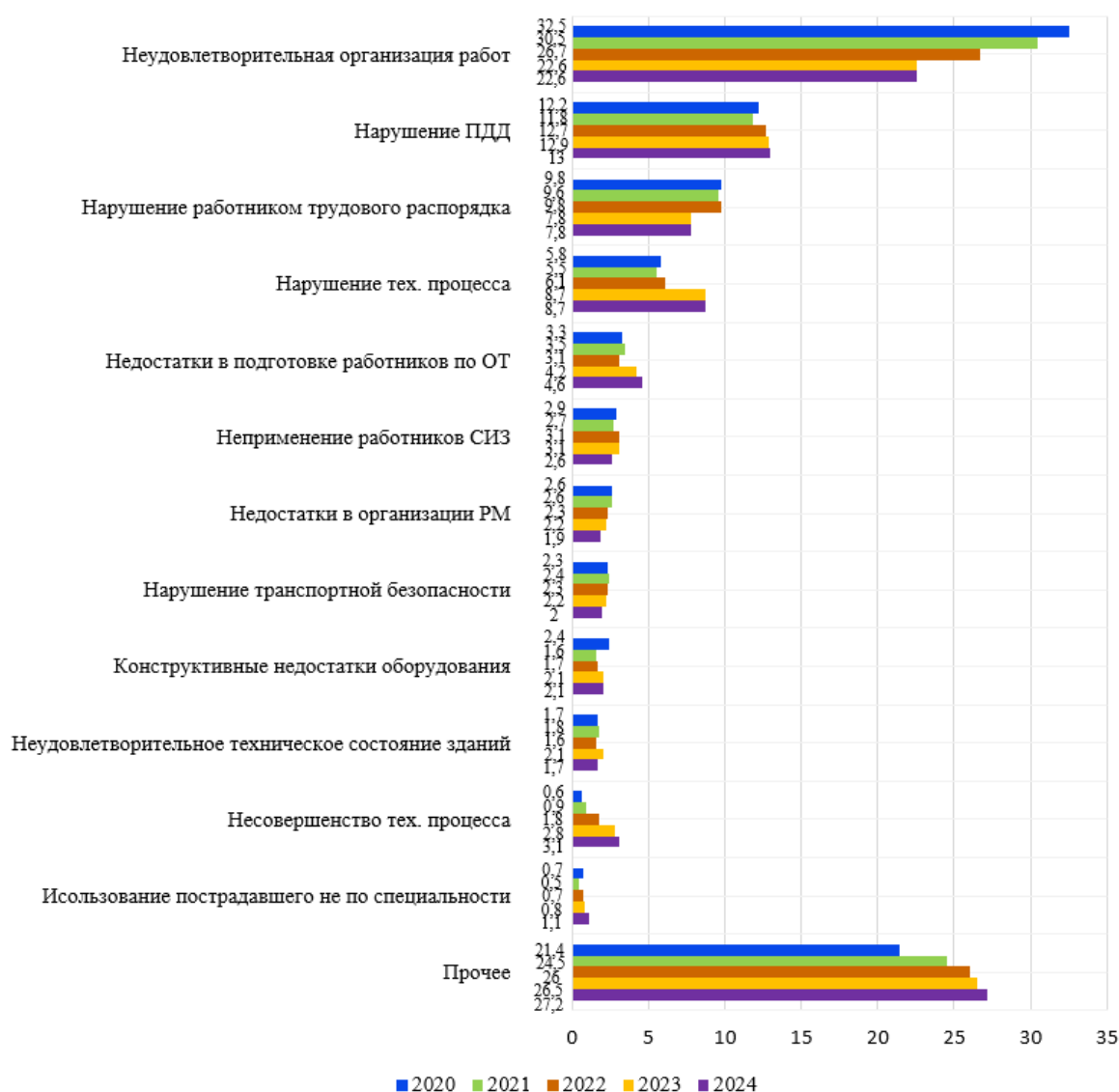


Рисунок 2. Причины травматизма

С 1 марта 2022 года в России была введена обязательная оценка профессиональных рисков на рабочих местах, цель которой предупреждение травматизма, а также разработка мер по снижению выявленных рисков [3].

Анализ причин травматизма в промышленности Российской Федерации показывает, что по некоторым причинам, таким как «неудовлетворительная

организация работ», «нарушение работником трудового распорядка», «недостатки в организации рабочего места», «нарушение транспортной безопасности» наблюдается спад или постоянство по количеству случаев травмирования. Но это лишь часть причин.

Для снижения частоты травматизма по оставшимся причинам, а также снижения частоты или фиксации достигнутых результатов по сниженным ранее причинам, необходимо на этапе подготовки к проведению оценки профессиональных рисков подобрать правильный метод или методы, по которым будет проходить эта оценка. Правильный метод – метод, который даст более подробный результат в заданных условиях.

Например, для выявления причин нарушений ПДД сложность выбора метода оценки профессионального и производственного риска заключается в том, что риски могут быть связаны не только с человеческим фактором или неисправностями транспорта, а также состоянием дорог на территории предприятия, погодными условиями, инфраструктурными недостатками (плохое освещение или его отсутствие, отсутствие дорожных знаков и разметки). На рабочих местах, при выполнении технологического процесса у работника имеется карта технологического процесса; рабочее место, организованное с учетом требований законодательства; имеются вышестоящие сотрудники, контролирующие правильность и безопасность выполнения работ и т.д. То есть подобрать метод оценки профессионального риска на рабочем месте немного проще, по сравнению с ситуацией нарушений правил дорожного движения.

В ситуации с нарушением правил дорожного движения подойдут методы оценки, которые детально изучают ситуацию, например, метод анализа причинно-следственных связей (представляет собой сочетание дерева отказов и дерева событий, рассматривает как причины, так и последствия нежелательных событий)[4], метод галстук-бабочки (позволяет описать пути развития опасного события и барьеры, которые могут его предотвратить)[5]. Но используя эти методы необходимо учитывать временные, финансовые и кадровые возможности предприятия.

Заключение

На основании статистических данных было определено количество травмированных за последние 5 лет, причины травматизма и их количественные показатели. Аргументирован спад некоторых из причин, а также предложены методы для снижения травматизма по одной из причин.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Арцыбашева А. С. РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИИ НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ // Сборник научных трудов в 9 ч. / под редакцией Захаровой Е. В. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2026.

2. ФГБУ «ВНИИ труда» Минтруда России. Анализ производственного травматизма в Российской Федерации за 2015-2024 гг. Москва, 2025г.

3. Трудовой кодекс Российской Федерации, ст. 214.

4. Надежность технических систем и техногенный риск: учебное пособие / А.В. Гуськов, К.Е. Милевский. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – 424 с.

5. Рекомендации по выбору методов оценки уровней профессиональных рисков и по снижению уровней таких рисков, утвержденные приказом Минтруда России от 28.12.2021 №926/

METHODS AND APPROACHES TO MANAGING PRODUCTION AND PROFESSIONAL RISKS

Artsybasheva Arina Sergeevna, Student; *Guskov Anatoly Vasilyevich*, D.Eng.
Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Karl Marx Ave.

Artsybasheva A.S., email arcybasheva.2021@stud.nstu.ru

Guskov A.V., e-mail a.guskov@corp.nstu.ru

Address for correspondence: *Artsybasheva Arina Sergeevna*, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, 20 Karla Marksa Ave., Novosibirsk, 630073, Russia, tel. (913) 004-50-47

Annotation: Based on statistical data, the number of accidents over the past 5 years has been determined, and the main causes of accidents at enterprises have been identified. Methods for assessing occupational or production risk for one of the causes have been determined.

Keywords: Risk, cause-and-effect analysis method, bow-tie method, occupational safety, accident.

АНАЛИЗ РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ НА МЕТАЛЛОПЛАВИЛЬНОМ ЗАВОДЕ

Бикмаев Ильдар Анварович, к.п.н.; Сергейчик Сергей Юрьевич

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)005-48-19

Бикмаев И.А., email bkmaev@corp.nstu.ru

Сергейчик С.Ю., e-mail sergeycik802@gmail.com

Адрес для корреспонденции: *Бикмаев И.А.*, Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)005-48-19

Аннотация: В работе выполнен анализ риска возникновения чрезвычайной ситуации на металлургическом заводе с газовыми печами. Рассмотрены основные причины аварий, построены деревья отказов и событий для наиболее вероятного сценария – взрыва печи. Выполнена оценка территориального риска на примере реально действующего предприятия с расчетом количества пострадавших и степени разрушения зданий. Общий ущерб от гипотетической аварии оценен в 46 млн рублей. Предложены мероприятия по снижению риска, включая модернизацию систем хранения шихты и внедрение современных датчиков контроля утечек газа.

Ключевые слова: металлургический завод, анализ риска, взрыв, чрезвычайная ситуация, промышленная безопасность.

Введение

В настоящее время, несмотря на соблюдение нормативных требований, проблема обеспечения безопасности на металлургических предприятиях остается серьезной. Анализ статистических данных свидетельствует о том, что аварии и инциденты, связанные с эксплуатацией газового оборудования, продолжаются. Металлургические заводы, как объекты, характеризующиеся высоким уровнем техногенной опасности, требуют пристального внимания с точки зрения предотвращения аварийных ситуаций.

Объектом исследования выбран металлургический завод, использующий газовые печи. Технологический процесс включает подготовку шихты, плавление, рафинирование, модификацию и разливку металла.

Для анализа рисков использованы следующие методы: метод «дерева отказов»; метод «дерева событий»; количественная оценка риска.

Результаты и обсуждение

В результате анализа построено дерево отказов для взрыва металлургической печи. Установлено, что взрыв может произойти вследствие трех основных событий: чрезмерного скопления газа в печи, утечки газа или

применения мокрой шихты. Вероятность головного события (взрыва) оценена в $5,4 \cdot 10^{-6}$

Анализ дерева событий показал, что наиболее вероятным последствием взрыва являются ожоги от теплового излучения. Наиболее опасным сценарием (по тяжести последствий) является повреждение резервуара с газом, способное вызвать цепную реакцию с многочисленными жертвами.

Расчет для гипотетического взрыва емкости с пропаном (3 т) показал следующие результаты (табл. 1). Производственное здание и административное здание получают различные степени разрушений.

Таблица 1

Размеры зон разрушений

Здание	Полное, м	Сильное, м	Среднее, м	Слабое, м
Производственное	65	129,6	230,5	409,9
Административное	93,9	163,2	318,2	649,6

Общее количество погибших при взрыве с учетом поражения ударной волной (на открытой местности и в зданиях) и тепловым излучением от огненного шара составило **122 человека**. При этом в зданиях погибло 103 человека, на открытой местности – 19.

Рассчитан суммарный ущерб от гипотетической аварии, включающий прямые потери, затраты на ликвидацию, социально-экономические потери, косвенный ущерб, экологический ущерб и потери от выбытия трудовых ресурсов (табл. 2).

Таблица 2

Структура ущерба от аварии

Вид ущерба	Величина, руб.
Прямой ущерб	9 254 000
Расходы на ликвидацию	331 000
Социально-экономические потери	22 008 616
Косвенный ущерб	6 065 880
Экологический ущерб	764 835
Потери от выбытия трудовых ресурсов	7 657 142
ИТОГО	46 081 473

Наибольшую долю в структуре ущерба составляют социально-экономические потери (гибель и травмирование людей), что подтверждает

приоритетность мероприятий, направленных на сохранение жизни и здоровья персонала.

На основе выполненного анализа предложены следующие меры:

1. Организация хранения шихты в специализированном складе с контролируемой влажностью (исключение загрузки мокрой шихты).
2. Установка дополнительных стационарных датчиков утечки газа (электромагнитных, магнитострикционных) в области трубопроводов.
3. Внедрение электронных датчиков расхода топлива (например, вихревой расходомер с наработкой на отказ не менее 150 000 часов для контроля подачи газа и оптимизации горения).

Выводы

1. Проанализирована технология выплавки металлов и конструкция газовой металлоплавильной печи. Статистика аварийности за 2012-2023 гг. показывает, что наиболее частыми являются неконтролируемые взрывы (66% происшествий).
2. Выявлен наиболее вероятный сценарий развития аварии: взрыв металлоплавильной печи (вероятность $5,4 \cdot 10^{-6}$ в год) вследствие загрузки мокрой шихты. Самым опасным последствием является разрушение резервуара с газом.
3. Выполнена оценка территориального риска для условий реального предприятия. Установлено, что при взрыве емкости 3 т. пропана общее количество погибших может составить 122 человека. Суммарный экономический ущерб оценивается в 46 млн. рублей.
4. Разработаны мероприятия по снижению риска: организация складского хранения шихты, установка дополнительных датчиков утечки газа и внедрение вихревых расходомеров для контроля подачи топлива.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Набойченко С.С. Процессы и аппараты цветной металлургии / С.С. Набойченко, Н.Г. Агеев, А.П. Дорошкевич и др. – Екатеринбург: УРФУ.
2. Бикулова М. А. Анализ рисков возникновения чрезвычайной ситуации на предприятиях металлургии / М. А. Бикулова // Молодой ученый. – 2019. – № 51.
3. Мартынюк В. Ф. Анализ аварий и несчастных случаев в металлургии / В. Ф. Мартынюк, В. Ф. Матрохин, А. А. Сысоев. – М.: ООО Анализ опасностей.
4. Ежегодные отчеты о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. 2023 [Электронный ресурс] // gosnadzor.ru. – Режим доступа: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/
5. Федеральный закон №116-ФЗ от 21.07.1997 (ред. от 08.08.2024) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [Электронный ресурс] // consultant.ru. – Режим доступа: consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15234/

ANALYSIS OF THE RISK OF AN EMERGENCY SITUATION AT A SMELTING PLANT

Bikmaev Ildar Anvarovich, Ph.D.; Sergeychik Ergey Yurievich

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Karl Marx Ave, tel. (913)005-48-19.

Bikmaev I.A., e-mail bkmaev@corp.nstu.ru

Sergeychik S.Y., e-mail sergeycik802@gmail.com.

Address for correspondence: *Bikmaev Ildar Anvarovich*, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, 20 Karla Marksa Ave., Novosibirsk, 630073, Russia, tel. (913)005-48-19.

Annotation: The paper analyzes the risk of an emergency at a metal-smelting plant with gas furnaces. The main causes of accidents are considered, fault trees and event trees for the most likely scenario – furnace explosion – are constructed. A territorial risk assessment was performed using the example of an actual operating enterprise, calculating the number of victims and the degree of destruction of buildings. The total damage from a hypothetical accident is estimated at 46 million rubles. Measures to reduce risk are proposed, including modernization of charge storage systems and introduction of modern gas leak monitoring sensors.

Keywords: Metal-smelting plant, risk analysis, explosion, emergency, industrial safety.

УДК 331.45, 504.055

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОДУКТОВ РАЗРУШЕНИЯ КОНТАКТОВ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

Ведерников Д.С.

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск,
ridel@corp.nstu.ru

Научный руководитель: Ридель А.В., к.т.н., доцент

Аннотация: В работе представлены результаты экспериментального исследования влияния продуктов разрушения контактов высоковольтного масляного выключателя на электрофизические характеристики трансформаторного масла. Проведён спектральный анализ твёрдого осадка, выделенного из эксплуатируемого масла, показавший наличие никеля, вольфрама и меди — основных материалов контактов. Экспериментально установлено, что добавление выделенных частиц в чистое масло до

концентрации, соответствующей исходному эксплуатационному образцу, приводит к значительному снижению электрической прочности масла по сравнению с отстоянным маслом без примесей. Полученные данные свидетельствуют, что именно твёрдые частицы разрушенных контактов вносят определяющий вклад в деградацию диэлектрических свойств масла, повышая риск повторных пробоев и аварийных режимов при повторных коммутациях, особенно в циклах автоматического повторного включения.

Ключевые слова: Трансформаторное масло, выключатели, электрический пробой, продукты разрушения.

Введение

Трансформаторное масло в высоковольтных масляных выключателях выполняет одновременно две ключевые функции: выступает диэлектриком в межконтактном промежутке и служит дугогасящей средой при размыкании токов короткого замыкания. В процессе многократных коммутаций масло подвергается интенсивному электротермическому воздействию дуги и частичные разряды приводят к образованию газовых продуктов, низкокипящих углеводородов и твёрдых фракций, в том числе частиц разрушенных контактов. Совокупность этих факторов обуславливает постепенную деградацию электрофизических и физико-химических характеристик масла, что напрямую сказывается на надёжности работы выключателя и повышает риск повторного пробоя контактов. [1-2]

В современных работах по деградации трансформаторного масла в условиях эксплуатации доказано, что накопление продуктов старения и загрязнений снижает температуру вспышки, увеличивает электропроводность и ухудшает другие электрофизические параметры. В то же время до сих пор остаётся недостаточно детально изученным механизм влияния именно продуктов разрушения контактов высоковольтного выключателя на комплекс электрофизических характеристик трансформаторного масла, включая пробивное напряжение, тангенс угла диэлектрических потерь и диэлектрическую проницаемость. [2-4]

В связи с этим целью настоящей работы является экспериментальное исследование изменения электрофизических свойств трансформаторного масла под воздействием продуктов разрушения контактов высоковольтного выключателя, а также оценка их вклада в снижение электрической прочности.

Методика выделения частиц

Для исследования использовались реальные образцы трансформаторного масла из высоковольтного масляного выключателя. Перед отстаиванием пробы диспергировались для равномерного распределения взвеси по объёму и измерения исходных характеристик масла. Это обеспечило репрезентативность начальных данных. Весь объём масла разливался по химическим цилиндрам для осаждения, которое длилось 21 день. Затем чистое масло отбиралось из верхней части цилиндров без поднятия образовавшегося осадка и хранилось отдельно. Осадок же оставался в цилиндрах, в них заливался бензин БР-2 осадок тщательно

перемешивался, цилиндры укрывались плёнкой, и процедура повторялась через 7 дней. Это позволило эффективно отделить твёрдые частицы от оставшегося масла и других органических соединений.

Выделенный осадок был высушен в два этапа: сначала естественное испарение бензина, затем досушивание в вакуумной камере. По окончании сушки частиц было получено, что в масле объемом 3,25 литра содержится 0,4358 грамма частиц. Полученный твёрдый осадок измельчали. Образцы готовили как свободно насыпанные порошки, закреплённые на проводящем углеродном скотче, для последующего спектрального анализа.

Методика проведения спектрального анализа

Анализ проводился с помощью микроскопа Hitachi TM-100. Качественная оценка выявила в осадке никель, вольфрам и медь — продукты разрушения контактов масляного выключателя. Количественный расчёт процентного состава не проводился, так как область измерения микроскопа ограничена, в то время как различные элементы в осадке распределены не равномерно.

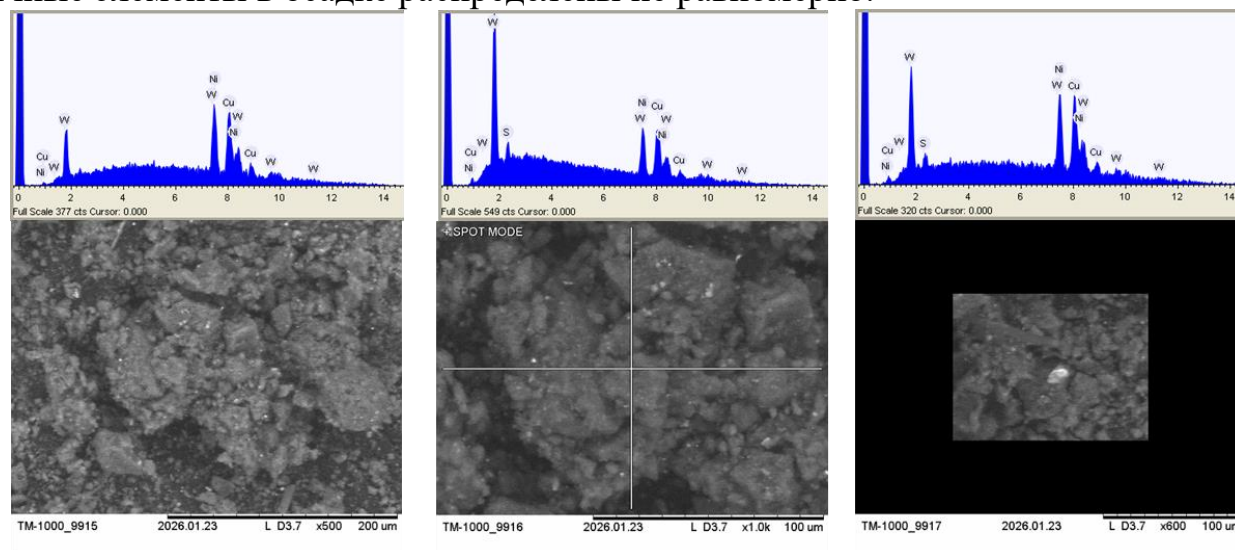


Рисунок 1 – Результаты спектрального анализа

Методика подготовки проб масла и измерение электрической прочности

Для оценки влияния частиц использовалось ранее отстоянное чистое масло. В него добавляли осаждённые частицы до исходной концентрации равная 0,133 г/л. Смесь помещали на магнитную мешалку для равномерного распределения, затем диспергировали волноводом диспергатора 6 минут на мощности 400 Вт. Проба разливалась по кюветам объемом 400 мл и дегазировалась 60 минут при разряжении 0,03 мбар.

Электрическую прочность измеряли на установке СКАТ М-100В с автоматической подачей напряжения. На каждой концентрации выполнялось 12 измерений, после чего пробу заменяли на свежеприготовленную с другой концентрацией.

Результаты исследований

Результаты измерения электрической прочности проб трансформаторного масла с частицами на Рисунке 2.

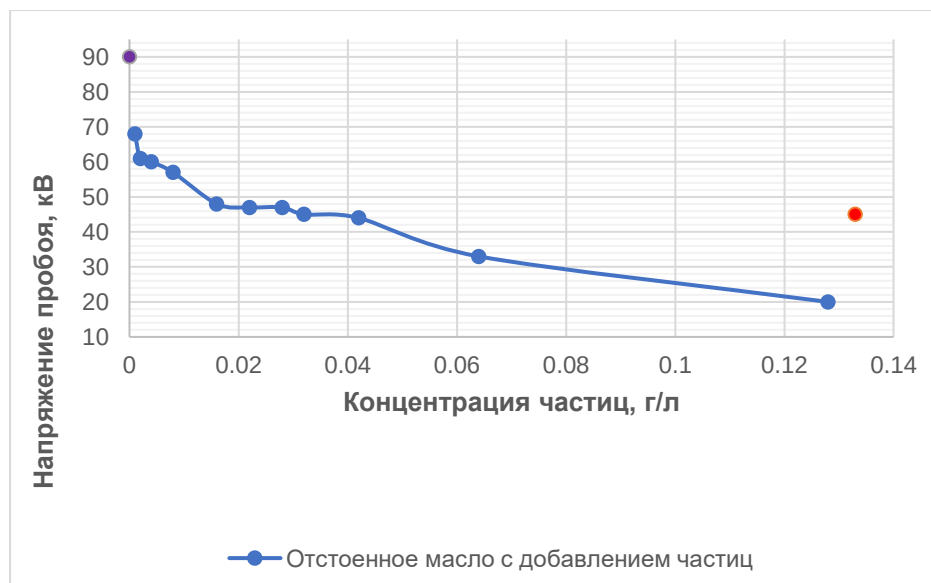


Рисунок 2 – График зависимости напряжения пробоя от концентрации выделенных частиц.

Полученные экспериментальные данные показали чёткую зависимость напряжения пробоя трансформаторного масла от концентрации осаждённых частиц. Красная точка обозначает значение пробоя исходного масла из эксплуатации. Фиолетовая точка показывает значение напряжения пробоя ранее отстоянного и отобранного масла. Тестовые образцы с добавленными частицами до идентичной исходной концентрации дали аналогичный результат, существенное снижение электрической прочности по сравнению с чистым отстоянным маслом. Это однозначно свидетельствует, что именно осаждённые твёрдые частицы никель, вольфрам, медь вносят наибольший вклад в деградацию диэлектрических свойств масла

Заключение

Проведённое исследование подтвердило, что твёрдые образующиеся при разрушении контактов высоковольтного масляного выключателя, являются основной причиной снижения электрической прочности трансформаторного масла. Экспериментально установлено, что при равных концентрациях осаждённые частицы вызывают аналогичное исходному маслу падение напряжения пробоя, что делает масло уязвимым к повторным пробоям и аварийным режимам. Особое значение имеет динамика частиц в эксплуатации, в режиме простоя они осаждаются на дно бака, но при срабатывании выключателя дуга интенсивно перемешивает масло, поднимая взвесь и снижая эффективность гашения. Если повторное срабатывание в том числе в цикле АПВ происходит через короткий интервал, повышенная концентрация взвешенных частиц создаёт риск развития дуги и аварии.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-10198-П, <https://rscf.ru/project/22-79-10198-П/>

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Taheri A. A. et al. Investigation of mineral oil-based nanofluids effect on oil temperature reduction and loading capacity increment of distribution transformers //Energy Reports. 2021, vol. 7, pp. 4325-4334.
2. Li X. et al. A Small-Sample Fault Diagnosis Method for High-Voltage Circuit Breaker Spring Mechanisms Based on Multi-Source Feature Fusion and Stacking Ensemble Learning //Sensors. – 2026. – Т. 26. – №. 5. – С. 1485.
3. Rallis G., Sarathi R., Danikas M. G. Dielectric Strength of Transformer Oil of Various Qualities //Journal of Engineering Science & Technology Review. – 2021. – Т. 14. – №. 1.
4. Mustafa E. et al. Degradation assessment of in-service transformer oil based on electrical and chemical properties //Applied Sciences. – 2024. – Т. 14. – №. 24. – С. 11767.

STUDY OF THE INFLUENCE OF HIGH-VOLTAGE CIRCUIT BREAKER CONTACT DETERIORATION PRODUCTS ON THE ELECTROPHYSICAL CHARACTERISTICS OF TRANSFORMER OIL

*D.S. Vedernikov, Master student; A.V. Ridel, PhD, Associate Professor
e-mail ridel@corp.nstu.ru*

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, Karl
Marx Ave., 20

Abstract: The paper presents the results of an experimental study on the effect of contact erosion products from a high-voltage oil circuit breaker on the electrophysical characteristics of transformer oil. Spectral analysis of the solid sediment extracted from the in-service oil revealed the presence of nickel, tungsten, and copper — the main contact materials. It was experimentally established that adding the extracted particles to clean oil at a concentration matching the original service sample leads to a significant decrease in the electrical strength of the oil compared to settled oil without impurities. The obtained data indicate that solid particles from eroded contacts are the primary cause of dielectric property degradation in transformer oil, increasing the risk of repeated breakdowns and emergency conditions during reclosing operations, particularly in automatic reclosing cycles.

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ТРУДА

*Генрих Анастасия Андреевна, студент; Поляков Юрий Олегович,
канд. техн. наук.*

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г.
Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20.

Генрих А.А., email anasta.birulina@yandex.ru

Поляков Ю.О., e-mail yu.polyakov@corp.nstu.ru

Адрес для корреспонденции: Генрих Анастасия Андреевна, Новосибирский
государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр.
Карла Маркса, 20, тел. (913)004-50-47

Аннотация: В работе рассматриваются организационные и методические основы управления безопасностью. Анализируется создания единой структуры управления, распределения ответственности и компетенций, а также системы процедур и разработки политики безопасности. Особое внимание уделено методическому обеспечению: разработке алгоритмов действий, обучению персонала, анализу рисков и постоянному совершенствованию структуры. Задача введения системы управления охраной труда заключается в повышение уровня безопасности работы на предприятиях, путем формирования открытой и контролируемой структуры.

Ключевые слова: Система управления охраной труда (СУОТ); охрана труда; режим труда; контроль.

Эффективное управление безопасностью производственных процессов строится на сочетании организационных и методических мер, направленных на предотвращение нештатных ситуаций и минимизацию возможных рисков.

Особую роль в системе охраны труда играет общественный контроль. Его осуществляют профсоюзы и иные уполномоченные работники представительных органов. В рамках своих полномочий они могут формировать собственные инспекции, избирать уполномоченных (доверенных) лиц по охране труда для защиты интересов сотрудников и содействия созданию безопасных условий на рабочих местах.

В работе последовательно проанализированы основы составляющих структур системы безопасности труда.

В соответствие с Примерным положение о системе управления охраной труда (СУОТ), утвержденным Приказом Минтруда России от 29.10.2021 № 776н, на его основе каждая организация разрабатывает внутренний документ, регламентирующий структуру управления безопасностью труда. На предприятиях создается комитеты по охране труда, представлявшие собой звенья системы управления охраной труда (СУОТ) организации и одна из форм вовлечения работников в управление безопасностью на производстве.

Ключевыми задачами СУОТ является обеспечение безопасной эксплуатации оборудования, режимов технологических процессов, улучшение условий труда, организация рационального режима труда, снабжение работников средствами коллективной и индивидуальной защиты и [1].

Для полноценного контроля за уровнем безопасности работников предприятий профессиональные союзы и их орган инспекции по труду тесно сотрудничают с государственными надзорными органами и наделены правами в соответствии с конституцией. Взаимодействие осуществляется как с федеральным органом, уполномоченным контролировать соблюдение трудового законодательства, так и с другими федеральными ведомствами, отвечающими за надзор в сферах своих деятельности. Структура прав профессиональных союзов представлена на рисунке 1 [2].



Рисунок 1. Права профессиональных союзов

Активное участие профсоюзных организаций на предприятиях в области безопасности труда позволяет повысить уровень безопасности, если профсоюз будет в полной мере пользоваться своими правами.

Институт уполномоченных по охране труда создаётся на основании совместного решения руководителя предприятия и профсоюзной организации. Его основная задача — осуществление объективного и своевременного общественного контроля за соблюдением требований безопасности и законодательства в сфере охраны труда. Данный институт может быть сформирован на предприятиях любой формы собственности, независимо от сферы хозяйственной деятельности, ведомственной подчинённости и численности персонала. Такой подход обеспечивает защиту трудовых прав работников и способствует формированию безопасных условий труда на всех

уровнях производственного процесса. Задачи и функции уполномоченных по охране труда представлены на рисунк 2 [3].

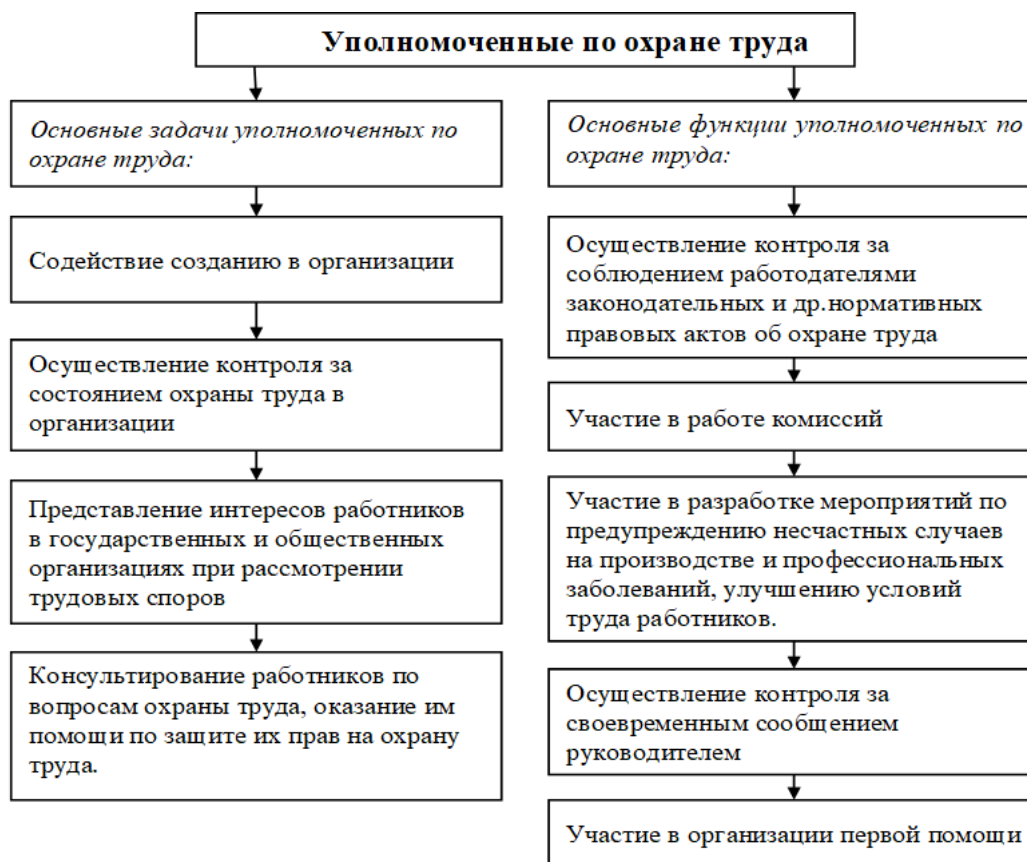


Рисунок 2. Задачи и функции уполномоченных по охране труда

Высокий уровень безопасности на производстве обеспечивается при условии, что институт уполномоченных не только участвуют в процессе, но и в полной мере реализуют свои функции и задачи.

Эффективная организация труда напрямую влияет на производительность и самочувствие сотрудников. Рассмотрим три основных режима труда. На предприятиях различных отраслей работа часто производится в две или три смены. В этих условиях особенно эффективным методом повышения уровня безопасности может быть сбалансированный режим труда и отдыха. Данный режим основан на чередовании периодов работы и отдыха оптимальной продолжительности. Его реализация предусматривает введение регламентированных перерывов и пауз в моменты пиковых нагрузок, что позволяет сотрудникам сохранять работоспособность, избегать переутомления и поддерживать здоровье на должном уровне. В отличие от двухсменного графика, трёхсменный режим предполагает деление суток на три рабочие смены (дневную, вечернюю и ночную). Это обеспечивает круглосуточное функционирование предприятия, но требует ещё более тщательного подхода к организации отдыха, чтобы минимизировать негативное влияние ночных смен на организм человека [4].

Служба охраны труда, функционирующая на каждом предприятии, выступает ключевым элементом системы управления безопасностью. Её главная цель — обеспечение безопасности и сохранение здоровья работников в процессе трудовой деятельности. В функции службы входит проведение специальных оценок условий труда, выявление потенциальных рисков и разработка превентивных мер. К таким мерам относятся обучение сотрудников правилам безопасности, обеспечение средствами коллективной и индивидуальной защиты, организация и соблюдение графиков проведения аттестации сотрудников [5].

Заключение

Комплексное применение системы управления безопасностью труда и методов организации труда на предприятиях с определённой структурой позволяет гибко и оптимально обеспечивать необходимый уровень безопасности, своевременно реагировать на изменения, связанные с модернизацией, изменением технологических процессов и внедрением нового оборудования и технологических процессов. Организационно-методические основы управления безопасностью производственных процессов являются фундаментом для стабильной работы предприятия. Оптимально выстроенная система управления позволяет не только минимизировать риски возникновения негативных инцидентов, но и способствует росту производительности. Внедрение современных технологий и актуальных подходов в этой сфере является залогом устойчивого развития и высокой конкурентоспособности предприятия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Примерное положение о системе управления охраной труда, утвержденные приказом Минтруда России от 29.10.2021 № 776н: изд. офиц.: дата введ. 2021-10-29 / разработ.: Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации.
2. Алексеева, С. Н. Нормирование труда на предприятиях АПК / С.Н. Алексеева. - М.: Бибком, 2014. - 232 с. Буланов В.Я. и др. //Диагностика металлических порошков// М.: Наука, 1983 - 225 с.
3. Бойчук, Н. И. Организация и нормирование труда. Учебно-методический комплекс / Н.И. Бойчук. - М.: Проспект, 2015. - 216 с.
4. Гуськов, А. В. Управление производственной безопасностью : учебное пособие / А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, Е. Ю. Потанина. — Вологда : Инфра-Инженерия, 2025. — 288 с.
5. Бирюлина А.А. Организационно-методические основы управления безопасностью производственных процессов /А.А. Бирюлина, А.В. Гуськов; науч. рук А.В. Гуськов // Наука. Технологии. Инновации : сб. науч. тр. : в 11 ч., Новосибирск, 04-08 дек. 2023г. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2024 – Ч.11. - С. 129-130.

ANALYSIS OF THE STRUCTURE OF THE OCCUPATIONAL SAFETY MANAGEMENT SYSTEM

Genrikh Anastasia Andreevna, Student; **Polyakov Yuri Olegovich**, Ph.D.

¹ Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Karl Marx Ave.

Genrikh A.A., email anasta.birulina@yandex.ru

Polyakov Y. O., e-mail yu.polyakov@corp.nstu.ru

Address for correspondence: **Genrikh Anastasia Andreevna**, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, 20 Karla Marksa Ave., Novosibirsk, 630073, Russia, tel. (913) 004-50-47

Annotation: The paper discusses the organizational and methodological foundations of security management. The essence of creating a unified management structure, the distribution of responsibilities and competencies, as well as the development of a security policy and a system of procedures is revealed. Special attention is paid to methodological support: the development of algorithms of actions, staff training, risk analysis and continuous improvement of the system. It is emphasized that the purpose of implementing these fundamentals is to ensure the effectiveness of the organization's activities by creating a transparent and manageable environment.

Keywords: Occupational safety and Health management system (OSMS); occupational safety; work regime; control.

УДК 628.16

АНАЛИЗ УРОВНЯ ШУМА В СЕЛИТЕЛЬНЫХ ЗОНАХ

Давыдов Данил Романович¹, магистрант; **Парахин Анатолий Михайлович²**, кандидат технических наук, доцент

¹Новосибирский Государственный Технический Университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)005-45-19

²Новосибирский Государственный Технический Университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)005-45-19

Давыдов Д.Р., email whoiszamir@mail.ru

Парахин А.М., email paraxin@corp.nstu.ru

Адрес для корреспонденции: **Давыдов Данил Романович**, Новосибирский Государственный Технический Университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)005-45-19

Аннотация: Рассмотрена проблема транспортного шумового загрязнения селитебных территорий. Выполнены натурные измерения уровней шума от автомобильных и железнодорожных потоков в городской среде, на основе которых проведен расчет ожидаемых уровней звукового давления. Выполнена

оценка соответствия полученных значений санитарным нормам. Исследованы процессы распространения шума в жилой застройке. Сравнительный анализ теоретических и экспериментальных данных позволил оценить текущее шумовое воздействие.

Ключевые слова: шумовое загрязнение, транспортный шум, селитебная зона, акустические измерения, шумозащитные экраны, уровни звукового давления, санитарные нормы

Введение

В Новосибирске, как и в любом крупном мегаполисе, транспортные магистрали и железнодорожные пути нередко проходят в непосредственной близости от жилых кварталов. Это обуславливает актуальность проведения регулярного мониторинга шумового режима и разработки защитных мероприятий. Целью настоящего исследования является анализ уровней шума в селитебной зоне г. Новосибирска. Для достижения цели были поставлены следующие задачи: провести натурные измерения шумовых характеристик транспортных потоков (автомобильного, железнодорожного). Выполнить расчет ожидаемых уровней шума на прилегающих территориях. Провести сравнительный анализ полученных данных с результатами исследований в других городах (Шах-Алам, Малайзия).

Для оценки шумового воздействия транспортных потоков были проведены натурные измерения уровней звукового давления с использованием шумомера **SVAN 943**. Измерения выполнялись в расчетных точках, расположенных вдоль транспортных магистралей и вблизи железнодорожных путей.

Определялись параметры транспортного потока (интенсивность, состав, скорость), наличие шумозащиты, тип покрытия и уклон дороги. На основе этих данных выполнен расчет эквивалентного уровня шума по методикам МАДИ [3] и НИИСФ [4] с последующим сравнением с санитарными нормами для селитебных территорий [1].

Результаты и обсуждение

Измерения шумовых характеристик транспортного потока выполнялись на участке автомобильной дороги по адресу ул. Ватутина, 89. В данной расчетной точке в момент измерения интенсивность движения составила 4196 автомобиля в час, при этом количество легковых автомобилей составило 4000 единиц, а грузовых автомобилей — 196 единицы, что соответствует доле грузового транспорта 4,9 %. Средняя скорость движения транспортного потока составила 60 км/ч, дорожное покрытие — асфальтобетонное, продольный уклон дороги — 2 %. Эквивалентный уровень звука составил 80,5 дБА в зоне без шумозащитных сооружений и 62,9 дБА в зоне за шумозащитным сооружением. Максимальный уровень звука составил 102,2 дБА и 75,1 дБА соответственно. Согласно СанПиН 1.2.3685-21 [1], допустимый эквивалентный уровень звука на территории, прилегающей к жилым зданиям, домам отдыха и т. д. составляет 55 дБА и максимальный 70 дБА в дневное время суток.

Таблица 1

Оценка соответствия уровней звукового давления санитарным нормам по результатам измерений

Допустимый эквивалентный уровень звука, дБА	ул. Ватутина, 89				Допустимый максимальный уровень звука, дБА
	Эквивалентный уровень звука, дБА		Максимальный уровень звука, дБА		
	Без шумозащитного экрана	За шумозащитным экраном	Без шумозащитного экрана	За шумозащитным экраном	
55	80.5	62.9	102.2	75.1	70

Анализ результатов показал, что практические данные превышают установленные нормативы на 30%.

Расчет шумовой характеристики потока, определяемую на расстоянии 7,5 метров от оси ближайшей полосы движения транспорта, по методике, разработанной НИИ строительной физики:

$$L_{\text{Аэкв}} = 10 \lg Q + 13,31 \lg V + 4 \lg(1 + \rho) + \Delta L_{A_1} + \Delta L_{A_2} + 15 = 78,97 \text{ дБА}$$

Расчет шумовой характеристики потока, определяемую на расстоянии 7,5 метров от оси ближайшей полосы движения транспорта, по методике, разработанной в Московском автомобильно-дорожном государственном техническом университете (МАДИ):

$$L_{\text{ШХТП}} = L_{\text{трп}} + \Delta L_{\text{груз}} + \Delta L_{\text{ск}} + \Delta L_{\text{ук}} + \Delta L_{\text{пок}} + \Delta L_{\text{рп}} + \Delta L_{\text{зас}} + \Delta L_{\text{перес}} = 75,5 \text{ дБА}$$

Сравнение расчетных и измеренных значений показало высокую сходимость результатов на открытой местности (расхождение менее 2%), что подтверждает адекватность методики НИиП. Расхождение с методикой МАДИ составляет 6%, в зоне за шумозащитным экраном расхождение составляет менее 5%, что говорит о большей точности методики НИиП.

Сравнительный анализ показал, что при сопоставимой интенсивности транспортных потоков (4196 ед.) уровень шумового загрязнения в Новосибирске выше, чем в Шах-Аламе: максимальные значения достигают 102,2 дБА против 96,8 дБА, что превышает малайзийские показатели примерно на 5–6 дБА. В обоих случаях зафиксировано значительное превышение национальных санитарных норм (25,5 дБА в РФ и 36,8 дБА в Малайзии по максимуму) [5].

Выводы

Проведенные исследования подтверждают, что проблема шумового загрязнения селитебных территорий г. Новосибирска является крайне актуальной. Натурные измерения, выполненные вблизи транспортных магистралей (ул. Ватутина) и железнодорожных путей (ул. Гурьевская), показали систематическое превышение допустимых уровней шума.

Наиболее критическая ситуация зафиксирована в зоне воздействия автомобильного транспорта, где эквивалентный уровень шума составил 80,5 дБА, что на 25,5 дБА выше допустимого значения (55 дБА) для территорий жилой застройки. Высокая интенсивность движения (более 4000 автомобилей в

час) и доля грузового транспорта являются определяющими факторами такого превышения. Железнодорожный транспорт также вносит существенный вклад в ухудшение акустической обстановки, создавая уровни шума, превышающие нормативы на 6–7 дБА.

За экранами наблюдалось снижение эквивалентного уровня шума от автомобилей на 17,6 дБА (с 80,5 до 62,9 дБА), однако достигнутые значения (62,9 дБА) все еще превышают норматив в 55 дБА. Это указывает на необходимость либо увеличения высоты и плотности существующих экранов, либо применения дополнительных комплексных мер защиты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы факторов среды обитания.
2. Парахин А.М. Шум транспортных потоков: учебное пособие – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. – 62 с.
3. Отраслевой дорожный методический документ 218.2.013–2011 «Методические рекомендации по защите транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам». – М.; «Информатодор», 2011. – 121 с.
4. Пособие к МГСН 2.04–97 «Проектирование защиты от шума и вибрации инженерного оборудования в жилых и общественных зданиях». – М.; «Москомархитектура», 1999. – 11 с.
5. Isa I. I. M., Zaki Z. Z. M., Kassim J. Traffic noise pollution at residential area //International Journal of Engineering & Technology. – 2018. – Т. 7. – №. 3.11. – С. 250-253.

ANALYSIS OF NOISE LEVEL IN RESIDENTIAL AREA

Davydov Danil Romanovich¹, Master's Student; Parakhin Anatoly Mikhailovich², Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

¹Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Karl Marx Ave, tel. (913)005-45-19

²Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Karl Marx Ave, tel. (913)005-45-19

Davydov D.R., e-mail whoiszamir@mail.ru

Parakhin A.M., e-mail paraxin@corp.nstu.ru

Address for correspondence: Davydov Danil Romanovich, Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Karl Marx Ave, tel. (913)005-45-19

Annotation: The problem of transport noise pollution of residential areas is considered. Full-scale measurements of noise levels from automobile and railway flows in the urban environment were performed, on the basis of which the expected

sound pressure levels were calculated. An assessment of the compliance of the obtained values with sanitary standards was performed. The processes of noise propagation in residential buildings are investigated. A comparative analysis of theoretical and experimental data made it possible to assess the current noise impact.

Keywords: noise pollution, traffic noise, residential area, acoustic measurements, noise barriers, sound pressure level

УДК 620.3

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА СЛЕСАРЯ ПО СБОРКЕ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ НА ПРИМЕРЕ РАБОТНИКА НПО «ЭЛСИБ» ПАО

*Дармажапова Юлия Баировна, студент; Виноградов Алексей
Валерьевич, старший преподаватель*

Новосибирский государственный технический университет, 630073,
Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (999)467-93-21

Дармажвапова Ю.Б., email bairovna04@mail.ru

Виноградов А.В., email vinogradov@corp.nstu.ru

Адрес для корреспонденции: *Дармажапова Юлия Баировна*,
Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г.
Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (999)467-93-21

Аннотация: рассмотрены вопросы обеспечения безопасности труда слесаря по сборке металлоконструкций на примере НПО «Элсиб» ПАО. Проанализированы квалификационные требования к специалистам. Выявлены вредные и опасные производственные факторы, воздействующие на работника. Подобраны требования к исправности ручного инструмента, систематизированные в нормативных документах, а также средства индивидуальной защиты, необходимые для минимизации профессиональных рисков.

Ключевые слова: безопасность труда, слесарь по сборке металлоконструкций, вредные и опасные производственные факторы, безопасность ручного инструмента, средства индивидуальной защиты.

Теория

Слесарь по сборке металлоконструкций – это специалист, который занимается изготовлением и сборкой металлических конструкций в соответствии с чертежами и техническими требованиями.

Согласно профессиональному стандарту слесарей по сборке металлоконструкций разбивают по разрядам, исходя из сложности выполнения сборки. см Рис. 3. [1]

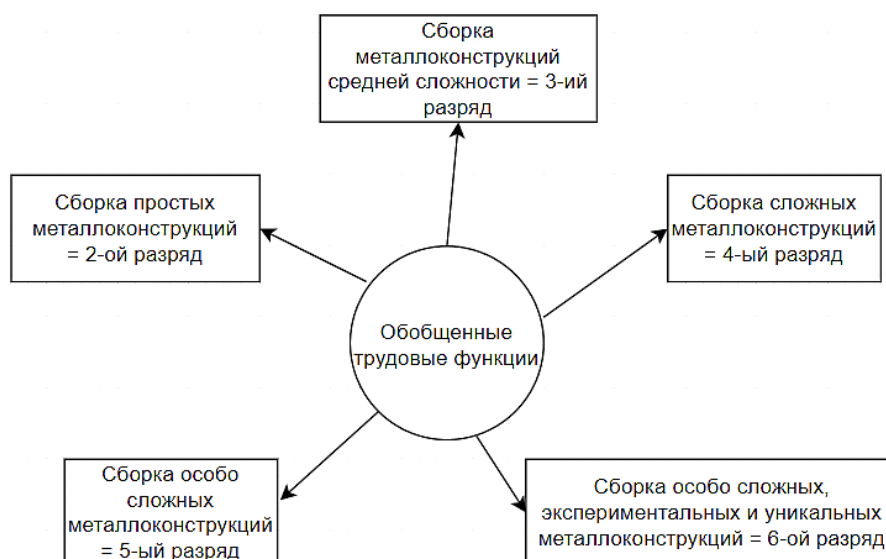


Рис. 3 – Разряды слесаря по сборке металлоконструкций по сложности сборки

В соответствии с квалификационными требованиями, трудовые функции слесарей по сборке металлоконструкций распределяются следующим образом (см. Таблица 1). Данные градации позволяют чётко определить, какие именно операции и с каким уровнем ответственности может выполнять специалист того или иного разряда — от изготовления простых деталей до сборки и регулировки уникальных конструкций с проведением испытаний под высоким давлением. [1]

Таблица 1 - Трудовые функции слесарей по сборке металлоконструкций в зависимости от разряда

Наименование должностей	Трудовые функции
Слесарь по сборке металлоконструкций 2-го разряда	Изготовление простых деталей из листового, сортового и фасонного проката
	Сборка простых металлоконструкций под сварку и клепку
Слесарь по сборке металлоконструкций 3-го разряда	Изготовление сложных деталей металлоконструкций
	Сборка металлоконструкций средней сложности и узлов сложных металлоконструкций под сварку и клепку
	Подготовка к испытаниям металлоконструкций, работающих под давлением
Слесарь по сборке металлоконструкций 4-го разряда	Изготовление особо сложных деталей металлоконструкций
	Сборка сложных металлоконструкций и узлов особо сложных металлоконструкций под сварку и клепку
	Проведение гидравлических испытаний давлением до 10 МПа и пневматических испытаний давлением до 1 МПа
Слесарь по сборке металлоконструкций 5-го разряда	Сборка особо сложных металлоконструкций и узлов экспериментальных и уникальных металлоконструкций под сварку и клепку
	Проведение гидравлических испытаний давлением до 20 МПа, пневматических испытаний давлением до 10 МПа и механических испытаний
	Сборка и регулировка особо сложных, экспериментальных и уникальных металлоконструкций

Слесарь по сборке металлоконструкций 6-го разряда	Проведение гидравлических испытаний давлением свыше 20 МПа, пневматических испытаний давлением свыше 10 МПа и механических испытаний
	Руководство бригадой при сборке металлоконструкций

Сложность работы по профстандарту определяется обязательным обеспечением точности изготовления конструкции, проведением гидравлических и пневматических испытаний и контролем качества. Также данная задача может многократно усложняется массогабаритностью изделия. [1]

Наглядным примером служит деятельность НПО «Элсиб» ПАО, электромашиностроительное предприятие, которое занимается проектированием и производством турбогенераторов с воздушным, водородным и водомасляным охлаждением в диапазоне мощностей 6-500 МВт. [2]

Слесарь по сборке металлоконструкций на НПО «Элсиб» ПАО занимается сборкой корпуса статора турбогенератора. В его обязанности входит чтение и анализ конструкторской и технологической документации, соединение профилей и деталей с помощью болтов, заклепок или прихваток под сварку с обязательным обеспечением точности взаимного расположения элементов и проведение гидравлических и пневматических испытаний. Обеспечить микронную точность при работе с многотонными деталями сложнее, чем с мелкими. При сборке корпуса статора длиной более 5,5 м, массой от 134 т. и рабочей частотой вращения ротора 3000 об/мин даже незначительная неплотность стыка оборачивается критическим дисбалансом. Каждый миллиметр биения на таких габаритах приводит к вибрациям и авариям. Учитывая особую сложность сборки, на предприятии допускаются только специалисты 5 и 6 разряда, обладающие необходимыми знаниями и умениями.

При работе на работника воздействуют вредные и опасные производственные факторы см. Таблица.

Таблица 2 - Вредные и опасные факторы с их источниками

Фактор	Источник
Повышенный уровень шума и вибраций	Инструменты, оборудование
Повышенная или пониженная температура окружающей среды, поверхностей оборудования, материалов	Внешняя среда, сварочное и нагревательное оборудование
Подвижные части оборудования, инструмента, передвигающиеся изделия, заготовки, материалы	Оборудования, инструменты, заготовки, материалы
Отлетающие осколки и частицы металла и абразивных материалов	Процессы резки, зачистки металла
Падение предметов (деталей, заготовок, инструментов и т.д.)	ПС (кран, кран-балка)
Острые кромки, заусенцы, шероховатость	Поверхности заготовок, инструментов, оборудования, отходов
Повышенная запыленность воздуха металлической и абразивной пылью, сварочными аэрозолями	Сварочные работы, зачистка, резка металла

Падение с высоты	Страховочное оборудование, средства подмащивания
Возможность воздействия электрического тока и электрической дуги	Сварочное оборудование, электроинструмент

Для снижения воздействий вредных и опасных производственных факторов на предприятии организована выдача средств индивидуальной защиты, а также контроль исправности ручного инструмента.

Для этого перед началом работы слесарь обязан провести внешний осмотр всех применяемых инструментов на отсутствие различных дефектов [3]. Требования к исправности ручного инструмента систематизированы в нормативных документах и наглядно представлены на рис.2.

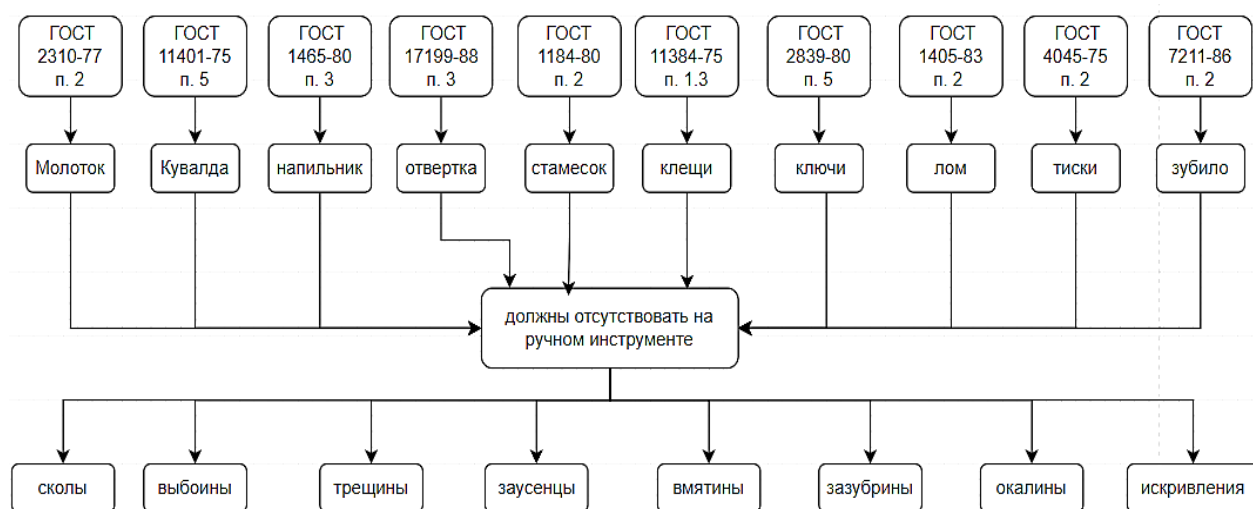


Рис. 4 – Требования безопасности ручных инструментов

Для защиты от вредных и опасных производственных факторов слесарю по сборке металлоконструкций выдаются средства индивидуальной защиты в соответствии с Типовыми нормами см. [4]

Таблица . [4]

Таблица 3- СИЗ для слесаря по сборке металлоконструкций

Тип средств защиты	Наименование
Одежда специальная защитная	Костюм для защиты от механических воздействий (истирания) - костюм с огнезащитной пропиткой
Для ног	Обувь специальная для защиты от механических воздействий (ударов) - ботинки кожаные с защитным подноском
Для рук	Перчатки для защиты от механических воздействий (истирания) - перчатки с полимерным покрытием
Для головы	Головной убор для защиты от общих производственных загрязнений
	Маска сварщика с автоматическим светофильтром
	Каска защитная от механических воздействий
Для глаз	Очки защитные от механических воздействий, в том числе с покрытием от запотевания
Для органов слуха	Противошумные вкладыши (беруши)
Для органов дыхания	Противоаэрозольные респираторы

Вывод

Проанализированы основные аспекты обеспечения безопасности труда слесаря по сборке металлоконструкций на примере НПО «Элсиб» ПАО. Установлено, что сборка корпуса статора турбогенератора относится к категории особо сложных работ, требующих допуска специалистов 5–6 разрядов. Выявлены вредные и опасные производственные факторы, воздействующие на работника. Определены требования к исправности ручного инструмента в соответствии с нормативными документами и подобраны средства индивидуальной защиты, необходимые для минимизации профессиональных рисков.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Профессиональный стандарт «Слесарь-сборщик металлоконструкций» утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 14.04.2025 № 237н.
2. Научно-производственное объединение «Элсиб» ПАО: официальный сайт. – URL: <https://elsib.ru/ru/> (дата обращения 17.04.2026).
3. Правила по охране труда при работе с инструментом и приспособлениями, утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 27 ноября 2020 г. № 835н.
4. Правила обеспечения работников средствами индивидуальной защиты и смывающими средствами, утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 29 октября 2021 г. № 766н.

ENSURING LABOR SAFETY ON THE EXAMPLE OF A METALWORKER ASSEMBLYING METAL STRUCTURES AT NPO «ELSIB» PJSC

Darmazhapova Yulia Bairovna, student; Vinogradov Aleksey Valerievich, senior lecturer

Novosibirsk State Technical University, 20 Karla Marksa Ave., Novosibirsk, 630073, Russia, tel.: (999)467-93-21

Darmazhapova Yu. B., email bairovna04@mail.ru

Vinogradov A.V., email vinogradov@corp.nstu.ru

Address for correspondence: **Darmazhapova Yulia Bairovna**, Novosibirsk State Technical University, 20 Karla Marksa Ave., Novosibirsk, 630073, Russia, tel.: (999)467-93-21

Annotation: issues of ensuring occupational safety of a metalwork fitter on the example of NPO Elsib PJSC were considered. Qualification requirements for specialists were analyzed. Harmful and hazardous production factors affecting the employee were identified. The requirements for the serviceability of hand tools, systematized in regulatory documents, as well as personal protective equipment necessary to minimize occupational risks, were selected.

Keywords: labor safety, metalwork assembly fitter, harmful and hazardous production factors, hand tools, personal protective equipment.

УДК 614.8:669.18.013

ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ТРУДА ОПЕРАТОРА ЛИНИИ РОЗЛИВА НА ПИВОВАРЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Козлова Виктория Алексеевна, Ломан Валентин Алексеевич

Новосибирский государственный технический университет, 630073,
Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913) 005-48-19

Козлова В.А., e-mail vika.kozlova2225@gmail.com

Адрес для корреспонденции: Козлова Виктория Алексеевна,
Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г.
Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913) 005-48-19

Аннотация: Представлены результаты оценки условий труда оператора линии розлива пищевой продукции на примере ООО «Бочкаревский пивоваренный завод». Для оценки фактического воздействия производственных факторов на организм работника было проведено хронометражное наблюдение и инструментальное измерение эквивалентного уровня шума на рабочем месте. Установлено, что рассчитанные значения показателей тяжести трудового процесса класс 3.1 соответствуют данным специальной оценки условий труда класс 3.1, тогда как рассчитанный уровень шума класс 3.2, превышает ранее установленный класс 3.1. Приведены несколько различных вариантов мероприятий по снижению шумовой нагрузки. В ходе работы рассмотрена актуальность.

Ключевые слова: условия труда, специальная оценка, шум, конвейерная линия, тяжесть трудового процесса, оператор линии розлива, хронометраж, эквивалентный уровень звука.

Введение

Современное производство невозможно представить без конвейерных линий. От сборки бытовой техники и автокомпонентов до переработки сельхозпродукции — везде требуется стабильная, ритмичная работа оборудования и людей, которые эту работу обеспечивают. Одним из производств, где активно используют конвейерные линии в связи с массовостью, является пищевая промышленность, в том числе заводы разливных напитков.

Согласно Федеральному закону № 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда», работодатель обязан проводить оценку условий труда на каждом рабочем месте и на её основе предоставлять гарантии и компенсации. Особое значение имеет оценка тяжести трудового процесса и уровня шума, поскольку

эти факторы часто являются ведущими на предприятиях пищевой промышленности [1].

Цель работы – выполнить оценку условий труда оператора линии розлива на предприятии ООО «Бочкаревский пивоваренный завод», сопоставить полученные данные с результатами специальной оценки условий труда (СОУТ) и предложить мероприятия по улучшению условий труда.

Методика

Объектом исследования выбрано рабочее место оператора линии розлива пищевой продукции. Предприятие расположено в экологически чистом районе Алтайского края. Оператор обслуживает выдувную машину модели ЕА, осуществляющую формование ПЭТ-кег вместимостью 30 л из преформ весом 0,550 г. Основные рабочие операции: контроль подачи преформ, пуск и остановка линии, мониторинг параметров процесса, удаление бракованной тары [2].

Оценка тяжести трудового процесса проведена по методике приказа Минтруда России N817н и представлена в таблице 1. Для этого выполнен хронометраж рабочего дня с фиксацией всех операций, продолжительности, количества наклонов, массы перемещаемых грузов и расстояний [3].

Измерение уровня шума осуществлялось цифровым шумомером «МЕГЕОН 92135» (диапазон 30–130 дБ) в трёх контрольных точках в зоне нахождения оператора. Обработка результатов выполнена в соответствии с методикой МИ Ш.ИНТ-02.01-2018 с учётом продолжительности воздействия шума от оборудования и фонового шума цеха [4].

Результаты и обсуждение

Оценка тяжести трудового процесса осуществлялась на основе проведенного хронометражного наблюдения.

Для определения класса условий труда по динамической и статической нагрузке просуммируем каждый вид нагрузки и полученную величину соотнесем с преимущественной.

Для определения суммарной массы поднимаемого и перемещаемого груза вручную за каждый час смены, общую массу груза независимо от фактической продолжительности рабочего дня поделили на 8.

При оценке рабочей позы рассчитывается пребывание в каждой позе по отношению к 8 часовому дню в %. Наклоны учитываются только глубже 30 градусов [3].

Таблица 1

Итоговые значения показателей тяжести трудового процесса

Показатель тяжести	Результат расчета	Приложение 13 Методики 817н	Класс условий труда
1. Динамическая нагрузка более 5 м, кгм	1224	<24000	1
2. Статическая нагрузка МКиН, кгс*с	3495	<43000	1
3. Масса поднимаемого и перемещаемого груза вручную, кг			
3.1. При чередовании с другой работой	5	<15	1
3.2. Суммарная масса за каждый час смены (с пола)	6	<100	1

4. Рабочая поза, %			
4.1. Стоя	75	До 80	3.1
4.2. Свободная	25		
5. Наклоны корпуса	17	До 50	1
6. Перемещение в пространстве, км	0,810	До 4	1
7. Стереотипные рабочие движения (локальные)	1000	<20000	1

Результаты рассчитанных показателей тяжести трудового процесса сравнили с Приказом Минтруда России N817н приложением №13 и получили класс 3.1- вредных условий труда на рабочем месте. Результаты специальной оценки труда на предприятии (класс 3.1) и хронометражного наблюдения совпали [3].

Измерения уровня шума проводились в трёх точках при работе конвейера и на фоновом режиме, результаты представлены в таблице 2. Средние значения шума при работе оборудования составили 87,4; 90,4 и 86,3 дБА, а фоновое 79,7; 79,5; 79,8 дБА в зависимости от точки измерения. Эквивалентный уровень звука за восьмичасовую смену, рассчитанный по методике МИ Ш.ИНТ-02.01.2018, оказался равным **87,3 дБА** [4].

Таблица 2

Результаты измерения уровня шума на рабочем месте

Операция	Продолжительность, мин	Эквивалентный уровень
Шум при работе конвейера, дБА	369	88,4
Фоновый шум цеха, дБА	123	79,7
Эквивалентный уровень за 8 часовой раб. день	492	87,3

Результат рассчитанного показателя шума сравнили с Приказом Минтруда России N817н приложением №4 и получили класс 3.2- вредных условий труда на рабочем месте. Результаты специальной оценки труда на предприятии (83 дБА, класс 3.1) и проведенных расчетов не совпали.

Выводы

Выявленное расхождение может быть связано с изменением режима работы оборудования, увеличением производительности линии или износом звукоизолирующих элементов. Несмотря на то, что работодатель обеспечивает оператора противошумными вкладышами в соответствии с Едиными типовыми нормами, класс условий труда 3.2 требует более строгих мер по снижению шума и установления повышенных компенсаций.

В результате расчетов было выявлено, что шум на рабочем месте превышает нормативные значения. Для его снижения можно провести такие мероприятия как:

- Звукоизолирующие кожухи
- Акустические экраны и выгородки
- Звукопоглощающие облицовки потолка и стен
- Штучные звукопоглотители

- Звукоизолированные кабины

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Федеральный закон "О специальной оценке условий труда" от 28.12.2013 N 426-ФЗ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_156555
2. Бочкари. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bochkari.ru>
3. Приказ Минтруда России от 21.11.2023 N 817н «Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_463282
4. МИ Ш.ИНТ-02.01-2018 «Эквивалентный уровень звука. Методика измерений эквивалентного уровня звука (параметров шума) для целей специальной оценки условий труда». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293731/4293731361.pdf>

ASSESSMENT OF WORKING CONDITIONS OF A FILLING LINE OPERATOR AT A BREWERY

Kozlova Victoria Alekseevna, Loman Valentin Alekseevich

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Karl Marx Ave,
tel. (913) 005-48-19.

Kozlova V.A., e-mail vika.kozlova2225@gmail.com

Address for correspondence: **Kozlova Victoria Alekseevna**, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, 20 Karla Marksa Ave., Novosibirsk, 630073, Russia, tel. (913)005-48-19.

Annotation: This paper presents the results of an assessment of working conditions for a food product bottling line operator, using the example of LLC "Bochkarevsky Brewery". To evaluate the actual impact of production factors on the worker's body, a time-and-motion study and instrumental measurement of the equivalent noise level at the workplace were conducted. It was established that the calculated values for the severity of the labor process indicators correspond to class 3.1, which aligns with the data from the special assessment of working conditions (class 3.1). However, the calculated noise level, class 3.2, exceeds the previously established class 3.1. Several different options for measures to reduce noise exposure are provided. The relevance of the work was considered during its execution.

Keywords: working conditions, special assessment, noise, conveyor line, labor process heaviness, filling line operator, time-motion study, equivalent sound level.

АНАЛИЗ ОПАСНОСТЕЙ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ВЫБРОСОВ

*Макаренко Маргарита Ивановна, студентка 4 курса, руководитель
к.т.н. доцент Коробенков А. Д.*

*Новосибирский государственный технический университет, Россия,
630073, г. Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20*

Макаренко М.И., email makarenkor@yandex.ru

Аннотация: В статье рассматриваются системы автоматического контроля выбросов (САКВ) на дымовых трубах промышленных предприятий и анализируются опасности при их техническом обслуживании. Приведен обзор состава оборудования (газоанализаторы, пылемеры, пробоотборные зонды) и регламента работ. Выявлено, что существующие проекты производства работ и инструкции по охране труда не учитывают специфику всех выполняемых работ. Обоснована необходимость разработки дополнительных организационных и технических решений для снижения профессиональных рисков.

Ключевые слова: Системы автоматического контроля выбросов, САКВ, работы на высоте, гравиметрический метод, охрана труда, профессиональные риски, дымовые трубы, техническое обслуживание.

Введение

В соответствии с Федеральным законом № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» объекты I категории негативного воздействия должны быть оснащены системами автоматического контроля выбросов (САКВ) загрязняющих веществ. Основная часть оборудования САКВ монтируется непосредственно на дымовых трубах и газоходах на высоте, достигающей 100 м и более [1].

Техническое обслуживание этого оборудования включает такие операции, как замена фильтров пробоотборных зондов, очистка оптики пылемеров, проверка ультразвуковых датчиков расхода, а также градуировка анализаторов пыли гравиметрическим методом, требующая ручного отбора пробы из газохода [2]. Все эти операции выполняются персоналом на высоте, часто в стесненных условиях обслуживающих площадок (ширина не более 1,5 м, ограждение 1,1 м), что создает высокие профессиональные риски.

Методика и состав оборудования

Типовой состав САКВ включает экстрактивный газоанализатор FTIRGAS 22 (ИК-Фурье спектроскопия), оптический измеритель концентрации (анализатор) пыли, ультразвуковой или напорный измеритель скорости потока, датчики температуры и давления, обогреваемый пробоотборный зонд, обогреваемую пробоотборную линию, блок подготовки проб (системы продувки

и осушки), контроллер и автоматизированное рабочее место оператора (АРМ). Внешний вид и компоновка оборудования представлены на рис.1 [2].

Процедура гравиметрической градуировки (определение поправочного коэффициента для канала взвешенных частиц) состоит из нескольких этапов:

1. Подготовка фильтров (взвешивание в лаборатории).
2. Подъем персонала на высоту (до 100 м) с оборудованием.
3. Отбор пробы дымового газа через фильтр в течение 20–30 мин синхронно с показаниями автоматического пылемера.
4. Извлечение фильтра, маркировка, доставка в лабораторию.
5. Повторное взвешивание и расчет коэффициента.



Рис. 1. Типовой состав САКВ

Результаты и обсуждение

Процесс широкомасштабного внедрения САКВ на дымовых трубах промышленных предприятий на настоящий момент только начался, опыта технического обслуживания таких систем мало, поэтому типовых решений по выполнению требований охраны труда при данных работах пока не разработано.

Анализ условий выполнения технического обслуживания САКВ показал, что самым значимым профессиональным риском является падение с высоты работника (или инструмента, груза), так как работы ведутся на отметках более 5 м (часто до 100 м). Обслуживающие площадки на дымовых трубах имеют ограниченные размеры (ширина не более 1–1,5 м), что затрудняет маневрирование и применение полноценных страховочных систем.

При замене фильтра пробоотборного зонда и при отборе пробы гравиметрическим методом у специалиста увеличивается риск потери равновесия. Также при гравиметрической градуировке требуется подъем (и возможно падение) тяжелого груза на отметку до 100 м, что повышает уровень риска выполнения работ. Дополнительнымиотягчающими факторами выступают неблагоприятные погодные условия на высоте (ветер, гололед,

низкие температуры), поскольку законодательные требования по поддержанию бесперебойной работы САКВ не позволяют полностью исключить проведение работ при таких условиях.

Данные специальной оценки условий труда отсутствуют вообще или содержат оценки, не учитывающие специфику работ по техническому обслуживанию САКВ, поэтому требуется оценка тяжести труда и разработка мероприятий по ее снижению.

Применяемые проекты производства работ и инструкции по охране труда часто не учитывают специфику операций по ТО САКВ. В них отсутствуют указания о конкретных точках закрепления страховочных систем, не всегда описаны схемы безопасной работы с длинномерным оборудованием (пробоотборная штанга до 2,7 м). При определенных операциях работники могут получить ожоги или электротравму, что также должно рассматриваться в указанной документации по охране труда.

Кроме того, анализ требований «Правил по охране труда при работе на высоте» (Приказ Минтруда № 782н) [3] показывает, что в конкретных условиях необходима проверка соответствия рабочих мест на дымовых трубах требованиям к защитным ограждениям (высота ограждения менее 1,1 м или отсутствие сплошного ограждения). В таких случаях требуется применение страховочных систем повышенной надежности.

Таким образом, ТО САКВ относится к работам с высокой степенью профессионального риска, причем одной из наиболее опасных операций является гравиметрическая градуировка, требующая длительного нахождения персонала у точки отбора на высоте, а также многократных подъемов на площадку обслуживания работников и тяжелого груза.

Выводы

Техническое обслуживание САКВ на дымовых трубах относится к работам с высокой степенью профессионального риска из-за сочетания высотного фактора, стесненных условий и необходимости выполнения тонких манипуляций (замена фильтров, отбор проб).

В работе выявлены наиболее опасные операции, а также факторы, требующие учета и разработки мер защиты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 N 7-ФЗ (в ред. Федерального закона от 04.08.2023 N449-ФЗ).
2. ООО «Евротехлаб». Комплекс постоянного контроля выбросов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://evrotechlab.ru/equipment/kompleks-postojannogo-kontrolja-vybrossov/> (дата обращения: 02.04.2026).
3. Приказ Минтруда России от 16.11.2020 №728н «Об утверждении Правил по охране труда при работе на высоте» (с изменениями на 20.12.2024).

ANALYSIS OF HAZARDS DURING MAINTENANCE OF AUTOMATIC EMISSION CONTROL SYSTEM AT HEIGHT

4th-year student: Margarita Makarenko

Supervisor: Ph.D., Associate Professor A.D. Korobnikov

Novosibirsk State Technical University, Russia, 630073, Novosibirsk, Karl Marx Ave., 20

Makarenko M.I., email makarenckor@yandex.ru

Annotation: This article examines automatic emission control systems (AECS) installed in industrial smokestacks and analyzes the hazards associated with their maintenance. An overview of the equipment (gas analyzers, dust meters, sampling probes) and operating procedures is provided. It is found that existing work plans and occupational safety instructions do not address the specifics of all work performed. The need to develop additional organizational and technical solutions to reduce occupational risks is substantiated.

Keywords: Automatic emission control systems, AECS, work at height, gravimetric method, occupational safety, professional risks, chimneys, maintenance.

УДК 331.453

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА, А ТАКЖЕ МЕХАНИЗМОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

*Мельников Роман Дмитриевич, магистрант; Ридель Александр
Викторович*

*Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г.
Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20*

Мельников Р.Д., email roman.m27.09@gmail.com

Ридель А.В., e-mail ridel@corp.nstu.ru

*Адрес для корреспонденции: Мельников Роман Дмитриевич, Новосибирский
государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр.
Карла Маркса, 20, тел. (913)005-48-19*

Аннотация: Представлен комплексный анализ влияния синтезированных наночастиц на здоровье человека и состояние окружающей среды, а также сравнительно-правовому анализу регулирования оборота наноматериалов. В работе систематизированы современные данные о токсикологических эффектах наиболее распространённых типов наночастиц, а именно: диоксида титана (TiO₂), диоксида кремния (SiO₂) и углеродных нанотрубок (УНТ).

Ключевые слова: Наночастицы, TiO₂, SiO₂, УНТ, токсическое действие, особенности биораспределения, миграция наночастиц, законодательные базы.

Введение

Актуальность исследования обусловлена стремительным ростом производства и потребления наноматериалов в различных отраслях промышленности, медицине и товарах повседневного спроса, что приводит к увеличению антропогенной нагрузки на экосистемы и требует пересмотра существующих нормативов безопасности.

В ходе литературного обзора были проанализированы основные пути проникновения наночастиц в организм (ингаляционный, пероральный, дермальный), механизмы их токсического действия (окислительный стресс, цито- и генотоксичность, воспалительные реакции), а также особенности биораспределения и накопления в органах-мишенях (лёгкие, головной мозг, печень, почки, сердечно-сосудистая система). Особое внимание уделено зависимости токсичности от физико-химических свойств наночастиц: размера, формы, кристаллической модификации, площади поверхности и поверхностного заряда.

Установлено, что наименее изученными аспектами остаются долгосрочные эффекты хронического воздействия малых доз наночастиц и их поведение в окружающей среде. В связи с этим, в рамках диссертационного исследования планируется изучить пути миграции наночастиц в природных средах (водные экосистемы, почва), процессы их трансформации и способность к переносу по трофическим цепям.

Результаты и обсуждение

В ходе анализа научной литературы, посвящённой токсикологии наночастиц я систематизировал ключевые параметры их воздействия на биологические системы.

Пути поступления и распределение. Были установлены основные пути попадания различных наночастиц в организм: ингаляционный, пероральный, инъекционный и, в меньшей степени, дермальный. Ряд исследований показывает что наночастицы преодолевают биологические барьеры и накапливаться в органах-мишенях. Например, пероральное введение мышам 40-нм SiO_2 в концентрациях 100 и 300 мг/кг/сутки приводило к накоплению частиц кремния в почках, что сопровождалось повышением уровня креатинина, мочевины и маркеров фиброза, указывая на развитие хронической почечной патологии. Для TiO_2 показано, что доза 2,25 мг/кг массы тела в сутки при пероральном поступлении считается безопасной для животных, однако более высокие дозы (от 0,324 до 2592 мг/кг) вызывали у подопытных мышей потерю аппетита, вялость и тремор.

Зависимость токсичности от физико-химических свойств. В ходе анализа было выявлено, что в основном влияет не масса потребляемых наночастиц а совокупность индивидуальных параметров: размер, форма, площадь поверхности. В одной из работ показано, что при одинаковой массовой дозе частиц SiO_2 диаметром 16,4 нм эффект цитотоксичности был заметнее, чем при использовании частиц диаметром 60,4 нм, это происходит из-за разницы в удельных площадях поверхности. Для УНТ важнейшим параметром является

размер нанотрубок. Длинные, волокнистые УНТ вызывают воспаление легких и фиброз, что схоже с асбестовым эффектом. Короткие УНТ оказывают лишь умеренное воздействие.

Механизмы токсичности и экологические аспекты. Самым опасным эффектом наночастиц был признан окислительный стресс, ведущий к повреждению ДНК и разрыву клеточных мембран. Но несмотря на то что данных о том как он вызывается большими дозировками много, никто до сих пор не изучил как влияют небольшие концентрации в долгосрочном периоде. Экологический аспект так же остается важнейшим параметром ведь около 66 000 тонн искусственных наноматериалов ежегодно попадают в поверхностные воды. В США зафиксирован сброс около 103,8 тонн нано диоксида титана в год со сточными водами. Это указывает на необходимость контроля наночастиц в природных средах и учета трофического переноса.

В ходе исследования я структурировал для наглядности следующую таблицу:

Параметр	TiO ₂	SiO ₂	УНТ
Основной путь поступления	Ингаляционный, пероральный (пищевая добавка E171)	Пероральный, ингаляционный	Ингаляционный, инъекционный (в медицине)
Ключевой механизм токсичности	Окислительный стресс, фотокаталитическая активность (анатаз)	Зависит от размера; окислительный стресс	Воспаление, фиброз, схожесть с асбестом
Условно безопасная доза (перорально)	2,25 мг/кг/сут (для животных)	Данные противоречивы	Не установлена
Органы накопления	Печень, селезенка, лёгкие, головной мозг	Почки, печень, лёгкие	Лёгкие, плевра, лимфоузлы
Долгосрочный риск	Низкий для краткосрочного контакта; требует изучения при хроническом воздействии	Высокий риск фиброза почек и почечной недостаточности	Высокий риск онкологии (мезотелиома) при вдыхании длинных волокон

Выводы

Анализ данных показал, что наночастицы TiO₂ и SiO₂ не являются биологически инертными. Хотя TiO₂ считается относительно безопасным при краткосрочном контакте, длительное пероральное поступление малых доз ассоциировано с риском повреждения слизистой кишечника, почек и печени.

Ключевым параметром, определяющим токсичность, является площадь поверхности и форма частиц. Монодисперсные частицы SiO₂ диаметром < 20 нм и длинные волокна УНТ (> 5 мкм) представляют наибольшую угрозу, провоцируя фиброз и генотоксичность.

Экологические риски связаны с колоссальным объемом эмиссии (десятки тысяч тонн в год) и способностью наночастиц мигрировать по трофическим цепям от воды к почве и растениям.

Существующие нормативы (ПДК) не учитывают наноразмерные эффекты и специфику биораспределения, что требует разработки новых протоколов оценки риска на полном жизненном цикле продукции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Baranowska-Wójcik, E. Effects of Titanium Dioxide Nanoparticles Exposure on Human Health—a Review [Electronic resource] / E. Baranowska-Wójcik, D. Sz wajgier, P. Oleszczuk, A. Winiarska-Mieczan // Biological Trace Element Research. — 2019. — Access mode: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12011-019-01706-6>. — Title from screen.

2. Shabbir, S. Toxicological Consequences of Titanium Dioxide Nanoparticles (TiO₂NPs) and Their Jeopardy to Human Population [Electronic resource] / S. Shabbir, M. Fakhar-e-Alam Kulyar, Z.A. Bhutta, P. Boruah, M. Asif // BioNanoScience. — 2021. — Access mode: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12668-021-00836-3>. — Title from screen.

3. Shi, H. Titanium dioxide nanoparticles: a review of current toxicological data [Electronic resource] / H. Shi, R. Magaye, V. Castranova, J. Zhao // Particle and Fibre Toxicology. — 2013. — Access mode: <https://link.springer.com/article/10.1186/1743-8977-10-15>. — Title from screen.

4. Weir, A. Titanium Dioxide Nanoparticles in Food and Personal Care Products [Electronic resource] / A. Weir, P. Westerhoff, L. Fabricius, K. Hristovski, N. von Goetz // Environmental Science & Technology. — 2012. — Access mode: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es204168d>. — Title from screen.

5. Murugadoss, S. Toxicology of silica nanoparticles: an update [Electronic resource] / S. Murugadoss, D. Lison, L. Godderis, S. Van Den Brule, J. Mast, F. Brassinne, N. Sebaihi, P.H. Hoet // Archives of Toxicology. — 2017. — Access mode: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00204-017-1993-y>. — Title from screen.

6. Hoet, P.H.M. Nanoparticles – known and unknown health risks [Electronic resource] / P.H.M. Hoet, I. Brüske-Hohlfeld, O.V. Salata // Journal of Nanobiotechnology. — 2004. — Access mode: <https://link.springer.com/article/10.1186/1477-3155-2-12>. — Title from screen.

RESEARCH INTO THE IMPACT OF NANOMATERIALS ON HUMAN HEALTH, AS WELL AS THEIR DISTRIBUTION MECHANISMS IN THE ENVIRONMENT

Melnikov Roman Dmitrievich, graduate student; Ridel Aleksandr Viktorovich
Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Karl Marx Ave

Melnikov R.D., e-mail roman.m27.09@gmail.com

Ridel A.V., e-mail ridel@corp.nstu.ru

Address for correspondence: **Melnikov Roman Dmitrievich**, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, 20 Karla Marksa Ave., Novosibirsk, 630073, Russia, tel. (913)005-48-19.

Annotation: A comprehensive analysis of the impact of synthesized nanoparticles on human health and the environment is presented, along with a comparative legal analysis of the regulation of nanomaterial circulation. The paper systematizes current data on the toxicological effects of the most common types of nanoparticles, namely titanium dioxide (TiO₂), silicon dioxide (SiO₂), and carbon nanotubes (CNTs).

Keywords: Nanoparticles, TiO₂, SiO₂, CNTs, toxic effects, biodistribution characteristics, nanoparticle migration, legislative frameworks.

УДК 331.453

ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА РОССИЙСКИХ СКЛАДАХ: РИСКИ, БАРЬЕРЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Прокофьев Павел Романович¹, Поляков Юрий Олегович к.т.н., доцент

¹Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия
г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)005-48-19

Прокофьев П. Р. email prokofev.2021@stud.nstu.ru

Поляков Ю. О. email yu.polyakov@corp.nstu.ru

Адрес для корреспонденции: **Прокофьев Павел Романович**, Новосибирский государственный технический университет 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)005-48-19

Аннотация: В статье рассматриваются основные проблемы и риски внедрения технологий искусственного интеллекта на российских складах. Анализируются технологические, организационные и экономические барьеры, вопросы безопасности, защиты данных и человеческого фактора. Приведены примеры российских компаний с неудачным внедрением ИИ, которые позволяют оценить реальные препятствия на пути развития «умных складов» в России.

Ключевые слова: искусственный интеллект, склад, проблемы внедрения, риски, барьеры, безопасность, цифровизация, Россия.

Введение

В последние годы интерес российских компаний к внедрению искусственного интеллекта (ИИ) на складах заметно вырос. ИИ применяют для видеоаналитики, предиктивного контроля техники безопасности, оптимизации потоков грузов и автоматизации логистических процессов [1].

В Российской Федерации внедрение ИИ в складской логистике происходит неравномерно. Наиболее активно технологии применяются крупными компаниями электронной коммерции и ритейла, такими как Wildberries, Ozon и X5 Group [2].

Применение искусственного интеллекта требует анализа факторов, сдерживающих его использование и оценки влияния на эффективность складской деятельности. Несмотря на высокий потенциал технологий ИИ, их применение на российских складах ограничивается рядом рисков и барьеров, что делает необходимым комплексное изучение существующих проблем и условий их преодоления.

Теория

Искусственный интеллект представляет собой совокупность технологий, которые позволяют автоматизировать процесс анализа данных, прогнозирования и принятия решений. На складах ИИ выполняет широкий спектр задач, таких как:

1. Прогнозирование спроса и управление запасами;
2. Оптимизация маршрутов перемещения грузов;
3. Контроль качества маркировки и упаковки;
4. Управление роботизированными транспортными средствами и манипуляторами, выполняющими операции перемещения и комплектации грузов;
5. Анализ эффективности операций и распределение персонала;
6. Решение широкого спектра логистических задач.

Результаты и обсуждения

Внедрение ИИ в реальной российской складской среде сталкивается с рядом проблем, которые могут ограничить эффективность этих технологий.

Первым и наиболее очевидным барьером является техническая инфраструктура. Многие склады в России построены десятилетия назад и не имеют современных сетей передачи данных, необходимых для работы ИИ в реальном времени. Камеры видеонаблюдения часто устаревшие, сенсоры движения и RFID-метки отсутствуют, интернет-подключение нестабильное. В таких условиях системы ИИ теряют часть функционала, и эффективность автоматического контроля снижается.

Второй проблемой выступает человеческий фактор и низкий уровень цифровой грамотности персонала. Рынок труда в России испытывает нехватку

специалистов в области анализа данных, программирования и цифровой логистики, что затрудняет масштабирование проектов. Дополнительно возникает проблема сопротивления персонала складов изменениям, часто сотрудники не готовы взаимодействовать с интеллектуальными системами, игнорируют рекомендации ИИ, или рассматривают его как «надзирателя», а так же испытывают страх сокращения рабочих мест. Это снижает доверие к технологии и препятствует полной автоматизации контроля.

Третьим барьером является высокая стоимость внедрения и обслуживания систем искусственного интеллекта. Российские компании сталкиваются с дороговизной лицензионного программного обеспечения (ПО), оборудования и обслуживания, особенно если речь идёт о крупном складе с сотнями камер и сенсоров. Инвестиции в ИИ требуют значительных ресурсов, а экономический эффект от внедрения не всегда очевиден на начальном этапе. Расходы становятся сдерживающим фактором, и многие предприятия откладывают внедрение на неопределённый срок или выбирают точечные пилотные решения, ориентированные на конкретные задачи, а не на комплексную автоматизацию.

Помимо барьеров существуют ещё и риски, связанные с использованием искусственного интеллекта. В первую очередь это операционные риски, которые возникают в случае некорректной работы алгоритмов. Даже незначительная ошибка в системе управления запасами может привести к серьёзным последствиям, включая дефицит товаров или избыточные запасы.

Кроме того, внедрение ИИ сопряжено с рисками безопасности и конфиденциальности данных. Системы собирают большое количество информации о сотрудниках, логистических процессах, включая коммерчески чувствительные данные, что создаёт угрозы утечек и нарушений законодательства о персональных данных. В российской практике наблюдаются случаи, когда недостаточная защита данных приводила к штрафам и блокировкам систем.

Основные риски и барьеры внедрения ИИ на российских складах представлены в таблице 1, что позволяет наглядно оценить факторы, сдерживающие внедрение технологий.

Таблица 1- Основные риски и барьеры внедрения ИИ на складах России

Барьер/риски	Описание	Последствия
Техническая инфраструктура	Слабые сети, устаревшие камеры, отсутствие сенсоров	Снижение эффективности ИИ, ошибки в мониторинге
Человеческий фактор	Низкая цифровая грамотность, сопротивление персонала	Игнорирование предупреждений, низкая эффективность внедрения
Высокая стоимость	Дорогое ПО, оборудование, поддержка	Задержка внедрения, отказ от проектов
Безопасность данных	Риск утечек данных, нарушение законодательства о персональных данных	Финансовые (штрафы) и репутационные потери, блокировка систем
Ограниченность кадров	Недостаток специалистов по ИИ	Неправильная настройка и эксплуатация

Законодательные ограничения	Недостаток регуляции для ИИ в логистике	Юридические риски при автоматизации процессов
-----------------------------	---	---

Анализ данных, представленных в таблице 1, показывает, что проблемы внедрения ИИ носят комплексный характер. Невозможно устранить один барьер, не затронув другие: например, повышение качества данных требует инвестиций, а внедрение новых систем невозможно без подготовленного персонала.

Российские кейсы демонстрируют, что многие компании внедряют ИИ частично, ограничиваясь лишь видеоаналитикой или отдельными роботизированными линиями. Например, на складе компании «РосЛогистика» система мониторинга движения техники установлена только на центральных коридорах склада, что снизило общий эффект и не позволило полностью сократить число нарушений [2].

Другой пример – компания «Intekey», которая пыталась внедрить мониторинг рабочих зон и предиктивную аналитику для предотвращения травматизма, столкнулась с сопротивлением сотрудников: часть персонала игнорировала предупреждения, а данные с датчиков движения погрузчиков поступали с задержкой из-за устаревшей сети [2]. В результате это привело к необходимости частичного возвращения к традиционным методам контроля.

Ниже в таблице 2 приведены примеры преодоления барьеров внедрения искусственного интеллекта на российских складах.

Таблица 2

Примеры преодоления барьеров внедрения ИИ на складах России

Компания	Проблема	Решение	Результат
Wildberries	Сложность масштабирования и перегрузка ИТ-систем	Алгоритмы распределения заказов, автоматизация сортировки	Быстрая обработка заказов, точность, повышение пропускной способности
Ozon	Дорогая интеграция ИИ	Постепенная роботизация, прогнозирование спроса	Увеличение производ-ти до 20-30%, точное прогнозирование
КРОК	Старые камеры, сопротивление персонала	Модернизация сети, тренинги по работе с ИИ	Снижение нарушений на 60%, рост доверия к ИИ
РосЛогистика	Ограничение зоны мониторинга	Расширение сенсорного покрытия и обучение персонала	Улучшение охвата, снижение инцидентов и столкновений техники

Как видно из таблицы 2, в первую очередь ИИ внедряется на складах крупных компаний, таких как Ozon, Wildberries, тогда как более мелкие логистические операторы внедряют технологии постепенно из-за ограничений ресурсов, инфраструктуры и кадрового дефицита.

Структура поэтапного внедрения ИИ на складах с учётом рисков и барьеров можно представить в виде схемы, представленной на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема внедрения ИИ на складах с учётом рисков и барьеров

Перспективы развития искусственного интеллекта на российских складах связаны с постепенным переходом от пилотных проектов к комплексной автоматизации складов и повышению уровня безопасности. Ожидается рост инвестиций в цифровые технологии, развитие отечественных решений и формирование экосистем данных.

Дополнительным фактором развития является государственная поддержка цифровизации и импортозамещения технологий. В условиях внешнеэкономических ограничений российские компании вынуждены развивать собственные решения, что может стимулировать инновации.

Выводы

Таким образом, внедрение искусственного интеллекта на российских складах представляет собой сложный, многоэтапный процесс, сопровождающийся рядом существенных трудностей. К основным сдерживающим факторам относятся технические ограничения, связанные с качеством данных и уровнем цифровой инфраструктуры, высокая стоимость внедрения, а также организационные и кадровые проблемы, включая дефицит квалифицированных специалистов, сопротивление персонала и необходимость перестройки бизнес-процессов. Дополнительные риски формируются в области информационной безопасности и устойчивости работы систем.

Вместе с тем анализ показывает, что данные ограничения могут быть преодолены при реализации комплексного подхода, предполагающего модернизацию инфраструктуры, интеграцию интеллектуальных решений с существующими системами управления и переподготовку кадров, что снижает риски и повышает эффективность внедрения, позволяя ИИ стать ключевым фактором широкого внедрения систем искусственного интеллекта на складах в Российской Федерации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кузнецов И. П. Искусственный интеллект в управлении складом / Экономика и производство. – 2022. – №4. – С. 98 – 105.
2. Цифровизация логистики в России: реальность, проблемы и ближайшие перспективы [Электронный ресурс] / И. С. Пустохина, Д. М. Пустохин // Логистика: электронный научный журнал. – 2019 № 11 – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41456349>

PROBLEMS OF IMPLEMENTING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN RUSSIAN WAREHOUSES: RISKS, BARRIERS, AND PROSPECTS

Prokofiev Pavel Romanovich¹, Polyakov Yuri Olegovich, PhD, Associate Professor

¹Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia Novosibirsk, 20 Karl Marx Ave, tel. (913)005-48-19

Prokofiev P. R., e-mail prokofev.2021@stud.nstu.ru

Polyakov Y. O., e-mail yu.polyakov@corp.nstu.ru

Address for correspondence: *Prokofiev Pavel Romanovich*, Novosibirsk State Technical University 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Karl Marx Ave., tel. (913)005-48-19

Annotation: The article discusses the main challenges and risks of implementing artificial intelligence technologies in Russian warehouses. It analyzes technological, organizational, and economic barriers, as well as security, data protection, and human factors. The article provides examples of Russian companies that have failed to implement AI successfully, allowing readers to assess the real obstacles to the development of smart warehouses in Russia.

Keywords: artificial intelligence, warehouse, implementation issues, risks, barriers, security, digitalization, Russia.

МЕТОД ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ НА ОСНОВЕ МАТРИЧНОГО ПОДХОДА И СИСТЕМЫ ЭЛМЕРИ

*Рыбкина Екатерина Андреевна; Леган Марина Валерьевна, к.б.н.,
доцент каф. БТ*

Новосибирский Государственный Технический Университет, 630073, Россия, г.
Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)005-48-19

Рыбкина Е.А., email ribka2004@bk.ru

Леган М.В., email m.legan@corp.nstu.ru

Адрес для корреспонденции: Новосибирский Государственный Технический
Университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел.
(913)005-48-19

Аннотация: Был разработан гибридный метод оценки профессиональных рисков, который сочетает в себе матричный метод и систему наблюдения Элмери с помощью предложенного поправочного коэффициента, количественно определяющего долю так называемых небезопасных действий сотрудников. Гибридный подход позволяет преодолеть субъективизм классического матричного анализа и выполнить динамический пересчет карт рисков на основе результатов поведенческого аудита. Экспериментальная проверка подтвердила, что этот метод повышает объективность идентификации опасностей и позволяет оперативно выявлять области с высоким риском получения травм. Разработанный алгоритм не требует сложного программного обеспечения и доступен для быстрого внедрения в системы управления охраной труда различных отраслей промышленности.

Ключевые слова: оценка профессиональных рисков, матричный метод, система Элмери, человеческий фактор, индекс безопасности, безопасное поведение, корректирующий коэффициент.

Введение

Оценка профессиональных рисков наряду с СОУТ является обязательной процедурой для работодателей, которая законодательно закреплена как процедура для предприятий всех форм собственности (ст. 214, ст.218 ТК РФ). Современная нормативная база, включая Рекомендации по выбору методов оценки уровней профессиональных рисков (утв. Приказом Минтруда № 926), позволяет работодателю самостоятельно выбирать методики оценки, но обязывает выявлять опасности и анализировать риски [1,2]. Вопрос оценки рисков для предприятий является не только обязательным, позволяя расширить поле безопасности персонала, но и актуальным, так как в отличие от СОУТ, которую нужно провести в течение 12 месяцев с начала штатного технологического процесса, оценка рисков должна пройти до его начала.

В последние годы наблюдается ужесточение требований к качеству оценки рисков. Это обуславливает практическую востребованность в методах, которые, при их систематическом проведении способны дать более объективную и детализированную картину уровня безопасности на конкретном рабочем месте.

Методы, основанные только на объективных или на субъективных наблюдениях, не способны в полной мере оценить риск. Учет человеческого фактора (ЧФ) при оценке профессиональных рисков - это ключевой аспект в современной охране труда, так как по данным Ростехнадзора, до 90-95% аварий и несчастных случаев происходят по вине самого человека, а не из-за отказа оборудования [5]. Классический матричный метод точно описывает опасности, связанные с оборудованием, но не учитывает поведение работника.

В связи с вышесказанным, целью исследования стала разработка гибридного подхода, сочетающего в себе простоту матричного анализа с глубиной статистических наблюдений.

Разработка авторского метода оценки профессиональных рисков

Анализируя существующие подходы к оценке рисков, мы пришли к выводу, что наиболее распространенными инструментами их идентификации являются: *матричный метод*, который основан на комбинации вероятности и тяжести последствий; *система Элмери* - метод наблюдений, позволяющий рассчитать индекс безопасности по ключевым критериям (порядок, безопасное поведение, промышленная гигиена и прочие).

Однако данные методики обладают рядом ограничений: матричный метод основывается на субъективном восприятии экспертов, а система Элмери не может отразить кумулятивный эффект воздействия или скрытые организационные риски. Таким образом, мы пришли к логичному решению – рассмотреть и актуализировать методику оценки путем синтеза системы Элмери и матричного подхода.

Суть метода заключается в том, чтобы использовать индекс Элмери не как самостоятельный итоговый показатель, а как модификатор вероятности опасного события в матрице.

Шаг 1. Разложение индекса Элмери

В чек-листе Элмери есть блок “Безопасное поведение”, в него входят пункты:

- Использование СИЗ;
- Принятие риска (работник перемещается в опасную зону, не отключая блокировку);
- Эргономика и рабочая поза;
- Скорость и внимательность.

Например, было проведено 100 наблюдений за смену, и мы получили следующие результаты:

- Соответствий (безопасных действий): 65
- Несоответствий (опасных действий): 35

Соответственно, индекс поведения равен $i_{\text{пов}} = 65\%$

Т.е. работники совершают безопасные действия в 65% случаев.

Шаг 2. Конвертация в коэффициент человеческого фактора

Для внедрения в матрицу нам нужен повышающий коэффициент вероятности $K_{\text{чф}}$:

$$K_{\text{чф}} = 1 + \frac{100 - i_{\text{пов}}}{100} = 1 + \frac{100 - 65}{100} = 1,35$$

Если работники в 35% случаев совершают опасные действия, то вероятность наступления негативного события по вине персонала возрастает на 35% относительно технической вероятности.

Шаг 3. Корректировка матричной оценки

Эксперт оценивает техническую вероятность $P_{\text{тех}}$ по стандартной шкале матрицы (от 1 до 5).

Далее мы получаем итоговую вероятность по формуле:

$$P_{\text{итог}} = P_{\text{тех}} \cdot P_{\text{чф}}$$

Пример

Риск “Работы с ручным электроинструментом” на предприятии оцениваем как маловероятный (Вероятность = 2) и средний (Тяжесть = 3). Ячейка окрашена в желтый цвет, следовательно, это средний риск (рис.1).

	Тяжесть				
Вероятность	Незначительный	Малый	Средний	Высокий	Крайне высокий
Практически исключено	1	2	3	4	5
Маловероятно	2	4	6	8	10
Возможно	3	6	9	12	15
Вероятно	4	8	12	16	20
Характерно	5	10	15	20	25

Рис.1 - матрица события 5×5

Индекс Элмери: $i_{\text{пов}} = 21\%$. Считаем коэффициент: $K_{\text{чф}} = 1,79$

Итоговая вероятность: $P_{\text{итог}} = 2 \cdot 1,79 \approx 4$

	Тяжесть				
Вероятность	Незначительный	Малый	Средний	Высокий	Крайне высокий
Практически исключено	1	2	3	4	5
Маловероятно	2	4	6	8	10
Возможно	3	6	9	12	15
Вероятно	4	8	12	16	20
Характерно	5	10	15	20	25

Рис. 2 - изменение риска с учетом коэффициента ЧФ

Таким образом, мы видим, что, при снижении показателя безопасного поведения по шкале Элмери до 21%, происходит вертикальное передвижение риска в матрице. Событие, которое ранее считалось маловероятным, переходит

в разряд событий с *большой вероятностью* из-за человеческого фактора. Например, систематическим пренебрежением защитных мер и правил или снижением внимания и скорости реакции на рабочем месте.

Полученные результаты демонстрируют, что использование статичной матрицы дает систематическое занижение уровня риска примерно на 15-35% в зависимости от индекса Элмери. На примере операции “Работа с ручным электроинструментом” при базовой матричной оценке “средний риск” применение корректирующего коэффициента привело к миграции риска в категорию “высокий”.

Этот переход важен с точки зрения управления охраной труда. Если стандартный матричный метод допускает отсрочку мероприятий по снижению риска, то гибридный с учетом «человеческого фактора» указывает на необходимость вмешательства [2].

Вывод

Таким образом, дополнительный параметр $K_{\text{чф}}$ позволяет корректировать риски и трансформировать стандартную матрицу в динамическую систему раннего предупреждения. Гибридный метод создает объективную основу для принятия управленческих решений, особенно в части усиления и корректировки поведения персонала, например, усиление контроля, инструктажей использование тренингов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Трудовой Кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197-ФЗ (ред. от 28.12.2025)
2. Приказ Минтруда России от 28.12.2021 № 926 “Об утверждении Рекомендаций по выбору методов оценки уровней профессиональных рисков и по снижению уровней таких рисков”
3. Барская С.М., Коробов А.В. Учет человеческого фактора при оценке профессиональных рисков//Безопасность труда в промышленности. - 2026 - №1. - С. 34-39
4. Муртонен М. Оценка рисков на рабочем месте: практическое пособие / пер. с англ. - 2007 - 63 с.
5. Ростехнадзор назвал причину 90% аварий в промышленности [Электронный ресурс] // РИА Новости - 13.12.2019 - Режим доступа: <https://ria.ru/20191213/1562356581.html>

A METHOD FOR ASSESSING PROFESSIONAL RISKS BASED ON THE MATRIX APPROACH AND THE ELMERI SYSTEM

Rybkina Ekaterina Andreevna; PhD, Associate Professor BT Legan Marina Valerievna

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marx Avenue, 20, phone (913)005-48-19

Rybkina E.A., email ribka2004@bk.ru

Legan M.V., email m.legan@corp.nstu.ru

Address for correspondence: Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marks Avenue, 20, phone (913)005-48-19

Abstract: A hybrid method for assessing occupational risks has been developed, which combines the matrix method and the Elmeri observation system using a proposed correction factor that quantifies the proportion of so-called unsafe employee actions. The hybrid approach overcomes the subjectivity of classical matrix analysis and allows for dynamic recalculation of risk maps based on the results of behavioral audits. Experimental validation has confirmed that this method enhances the objectivity of hazard identification and enables the rapid identification of high-risk areas. The developed algorithm does not require complex software and is available for quick implementation in occupational safety management systems of various industries.

Keywords: occupational risk assessment, matrix method, Elmeri system, human factor, safety index, safe behavior, correction coefficient.

УДК 658.382

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПО «СЕВЕР» И РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ЕЁ УЛУЧШЕНИЮ

*Сатпаков Ерасыл Бауржанович¹, студент; Цыганков Дмитрий
Анатольевич¹, к. т. н., доцент кафедры ИПЭ*

¹Новосибирский государственный технический университет, 630073
Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, + 7 383 315-29-05

Сатпаков Е. Б., e-mail erasyl2004103@gmail.com

Цыганков Д. А., e-mail tsygankov@corp.nstu.ru

*Адрес для корреспонденции: Сатпаков Ерасыл Бауржанович,
Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия,
г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, + 7 383 315-29-05*

Аннотация: Современная пожарная безопасность промышленного предприятия перестала быть исключительно вопросом наличия огнетушителей и пожарных выходов. В настоящий момент это сложная система, сочетающая в себе строительство, инженерию, право, цифровые технологии, человеческий фактор и государственное управление.

Целью исследования является разработка предложений по совершенствованию системы обеспечения пожарной безопасности ПО «Север», обеспечивающей защиту здоровья работников предприятия и его имущества.

Для достижения поставленной цели решена задача, связанная с изучением действующих технических регламентов и локальных нормативных актов ПО «Север», определяющих организацию и функционирование системы пожарной безопасности предприятия. Это позволило выявить недостатки мероприятий,

действующих в этой области, а также установить направления повышения их полноты и эффективности.

Ключевые слова: пожарная безопасность, профилактические мероприятия, технический регламент, локальный нормативный акт, задымление, эвакуация.

Введение

Пожары относятся к одной из наиболее распространённых категорий техногенных происшествий, характеризующихся высокой сложностью профилактики возникновения и ликвидации последствий [1]. Согласно статистическим данным, в России существует тенденция общего снижения количества техногенных пожаров, однако материальные потери от каждого случая заметно растут. Это является главной причиной усовершенствования системы обеспечения пожарной безопасности (ПБ) промышленного предприятия [2].

Для достижения поставленной цели был решён ряд конкретных задач: проанализировано фактическое состояние ПБ на предприятии; выявлены достоинства и недостатки существующих подходов в области ПБ на предприятии; определены направления и разработаны предложения по улучшению ПБ.

Результаты и обсуждение

В результате проделанной работы было выяснено, что ПО «Север» уделяет большое внимание обеспечению ПБ, поскольку финансирование мероприятий в 2025 г. выросло в 4,5 раза и составило 10,6 млн р. по сравнению с 2,4 млн р. в 2024 г. При этом было установлено, что большинство выявленных нарушений устраняется в срок, однако системные проблемы сохраняются.

Исходя из анализа данных локальных нормативных документов, можно выделить следующие основные достоинства в области ПБ на предприятии (табл. 1).

Таблица 1

Основные достоинства ПБ в ПО «Север»

Показатель	Результат
Финансирование	Рост в 4,5 р. (основные средства затрачены на АПС и СОУЭ)
Устранение нарушений	Устранение всех выявленных в 2025 г. нарушений
Работа с персоналом	Проведение бесед, инструктажей, а также организация 14 тренировок по эвакуации из производственных зданий и помещений
Противопожарное водоснабжение	Выявлено рабочее состояние, проверка 2 р. в год

Примечание: АПС – автоматическая пожарная сигнализация; СОУЭ - системы оповещения и управления эвакуацией.

Наряду с выделением достоинств были выявлены основные недостатки в области ПБ на предприятии (табл. 2).

Таблица 2

Основные недостатки ПБ в ПО «Север»

Показатель	Результат
Пути эвакуации	Выявлено 238 нарушений (не все эвакуационные выходы оснащены освещением и не оборудованы противопожарными дверьми)
Первичные средства пожаротушения	Выявлено 82 нарушения (53 неисправных огнетушителя, а 29 не прошли ежегодный осмотр)
Противопожарное водоснабжение	Выявлено 40 нарушений (28 гидрантов не очищено от снега, 12 некомплектных пожарных шкафов)
АПС и оповещение	Выявлено 11 ложных срабатываний
Выполнение предписаний ГПН	Выполнено примерно 50-70 % (сроки 2026 г.)

Согласно определённым направлениям работы по улучшению ПБ на предприятии были разработаны следующие предложения.

1. Обеспечение эвакуационных выходов аварийным освещением.

Проблема состоит в том, что не все эвакуационные выходы на предприятии оснащены аварийным (резервным) освещением. В случае отключения основного электропитания или сильного задымления люди могут не найти выход, что приведёт к панике, травмам или их гибели.

Предложение заключается в том, чтобы оснастить каждый эвакуационный выход светильниками аварийного освещения, работающими от автономных источников питания (аккумуляторов). При этом светильники должны размещаться: непосредственно над дверью выхода; вдоль маршрута эвакуации (на полу, стенах или поручнях) с шагом не более 10 м; на указателях «Выход» (знак должен быть подсвечен или выполнен с применением покрытия из люминофора).

В качестве конкретных мероприятий рекомендуется: провести ревизию всех эвакуационных выходов и составить перечень тех, где нет освещения; закупить и установить светодиодные светильники со встроенными аккумуляторами (время автономной работы от 1 до 3 ч); назначить ответственного за ежемесячную проверку работоспособности аварийного освещения с записью в журнал.

Ожидаемый результат заключается в том, что люди смогут безопасно покинуть здание даже при полном отключении электричества или в густом дыму.

2. Модернизация АПС и СОУЭ.

Проблема заключается в том, что оборудование АПС в некоторых зданиях ПО «Север» устарело. Кроме того, система оповещения работает не во всех

помещениях, что противоречит требованиям. Это приводит к ложным срабатываниям (11 случаев в 2025 г.) и задержке оповещения людей при реальном пожаре, что представляет значительную опасность.

Предложение состоит в том, чтобы провести поэтапную замену устаревших пожарных извещателей и контрольных приборов на современные адресно-аналоговые системы, а также расширить зону охвата СОУЭ.

Для решения этой задачи необходимо: заменить все дымовые и тепловые извещатели, отработавшие нормативный срок, на новые - адресные. Адресная система точно укажет место возгорания (здание и номер помещения); в помещениях, где нет оповещения, установить звуковые (сирены) и световые («Выход») оповещатели; настроить систему так, чтобы сигнал о пожаре автоматически передавался в специализированную пожарную спасательную часть № 2; увеличить штат группы обслуживания АПС с 3 до 5 чел. В соответствии с требованиями лицензии.

Ожидаемый результат заключается в снижении количества ложных срабатываний, точном определении места пожара и своевременном оповещении всех людей, находящихся в здании.

3. Установка противопожарных дверей во всех требуемых помещениях.

Проблема состоит в том, что не все пожароопасные помещения и эвакуационные пролёты в ПО «Север» оборудованы противопожарными дверями. Это означает, что в случае пожара огонь и дым будут беспрепятственно распространяться по коридорам и лестничным клеткам, отрезая людям пути к спасению и позволяя огню быстро охватывать большие площади.

Предложение заключается в составлении перечня помещений, в которых установка противопожарных дверей обязательна (электрощитовые, складские помещения с легко воспламеняющимися жидкостями, серверные и выходы на лестничные клетки), а также оснащении их дверями с нормируемым пределом огнестойкости.

Для решения этой задачи необходимо: провести аудит всех помещений и дверных проёмов; составить список помещений и лестничных пролётов, в которых двери отсутствуют или установлены двери без огнезащиты; закупить и установить сертифицированные противопожарные двери с доводчиками и уплотнителями; на дверях разместить таблички с классом огнестойкости и указанием направления открывания.

Ожидаемый результат будет заключаться в локализации пожара в пределах одного помещения на 30–60 мин (в зависимости от класса огнестойкости материала двери). Это время позволит людям эвакуироваться, а пожарным — прибыть и потушить огонь, не дав ему распространиться на соседние цеха и коридоры.

Выводы

1. В результате проделанной работы выяснилось, что состояние ПБ в ПО «Север» можно охарактеризовать как рабочее, но требующее проведения усовершенствований.

2. Предприятие увеличивает финансирование в области ПБ, выявленные нарушения исправляются, работники регулярно обучаются, а также проводятся их тренировки по эвакуации при пожаре.

3. Несмотря на проводимую работу в ПО «Север» продолжает существовать нехватка аварийного освещения, некорректная работа АПС и СОУЭ, а также недостаточное количество противопожарных дверей.

4. Внедрение предлагаемых рекомендаций повысит уровень ПБ ПО «Север» и создаст комфортные условия труда работников предприятия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пожары и взрывы – ЧС техногенного характера – Главное управление МЧС России по Кемеровской области – Кузбассу [Электронный ресурс]/ - Режим доступа: <https://42.mchs.gov.ru/deyatelnost/poleznaya-informaciya/rekomendacii-naseleniyu/chs-tehnogennogo-haraktera/pozhary-i-vzryvy>

2. МЧС: количество пожаров снизилось [Электронный ресурс]/Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий - Режим доступа: <https://mchs.gov.ru/deyatelnost/press-centr/novosti/4359846>

FIRE SAFETY ANALYSIS AT THE «SEVER» PRODUCTION ASSOCIATION AND DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS FOR ITS IMPROVEMENT

Satpakov Erasyl Baurzhanovich¹, student

Tsygankov Dmitriy Anatol'evich¹, PhD, Associate Professor of IPE department

¹Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marks Avenue, 20, + 7 383 315-29-05

Satpakov E. B., e-mail erasyl2004103@gmail.com

Tsygankov D. A., e-mail tsygankov@corp.nstu.ru

Address for correspondence: *Satpakov E. B.*, Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marks Avenue, 20, + 7 383 315-29-05

Abstract: Modern fire safety at industrial enterprises is no longer simply a matter of fire extinguishers and fire exits. It now represents a complex system that combines construction, engineering, law, digital technologies, human factors, and public administration.

The purpose of this study is to develop proposals for improving the fire safety system at PO «Sever», ensuring the protection of the enterprise's employees and property.

To achieve this goal, a study of the current technical regulations and local regulations of PO «Sever», which govern the organization and operation of the enterprise's fire safety system, was completed. This allowed us to identify deficiencies in current measures in this area and identify areas for improving their comprehensiveness and effectiveness.

Keywords: fire safety, preventive measures, technical regulations, local regulations, smoke, evacuation.

УДК 331.45

**АНАЛИЗ ВРЕДНЫХ И ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ
ФАКТОРОВ НА УЧАСТКЕ ПРЕССОВАНИЯ-ВУЛКАНИЗАЦИИ
РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ АО «НОВОСИБИРСКИЙ
ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ЗАВОД»**

*Трунова Ольга Александровна; Белоусова Наталья Сергеевна, к.т.н.,
научный руководитель*

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г.
Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (951)167-92-57

Трунова О.А.: e-mail trunova.2022@stud.nstu.ru

Белоусова Н.С.: e-mail nata.bel@kinetics.nsc.ru

Адрес для корреспонденции: Трунова Ольга Александровна,
Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия,
г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (951)167-92-57

Аннотация: В ходе работы проведена идентификация и оценка вредных и опасных производственных факторов на участке прессования-вулканизации формовых резинотехнических изделий. Проведен анализ технологического процесса по этапам с выделением ключевых рисков. Выполнено сравнение фактических концентраций химических веществ с гигиеническими нормативами. Предложены меры по снижению выявленных негативных факторов.

Ключевые слова: вредные производственные факторы, опасные производственные факторы, прессование-вулканизация, условия труда, травматизм, средства индивидуальной защиты.

Введение

АО «Новосибирский приборостроительный завод» - один из крупнейших производителей стрелковой и наблюдательной оптики в России.

В его составе работает цех переработки пластмасс и резинотехнических изделий, где методом прессования изготавливаются формовые резинотехнические изделия (уплотнения, манжеты, втулки).

Процесс прессовки изделий, будучи ключевым в производстве резинотехнических изделий, сопряжен с комплексом вредных и опасных факторов. При этом безопасность персонала обеспечивается за счет создания допустимых условий труда, что достигается применением технических средств (виброизоляция, шумоглушители, вентиляция), эргономичной организацией рабочих мест и использованием средств индивидуальной защиты.

Теория

Основные производственные операции и сопряжённые с ними риски осуществляются непосредственно на пресс-вулканизационном оборудовании. В связи с этим в рамках исследования потенциальных угроз и рисков, связанных с оборудованием на каждой стадии процесса прессовки, были идентифицированы следующие опасности.

На первом этапе (подготовка пресса и пресс-форм) при работе на гидравлическом прессе (рис. 1) существует комплекс рисков: риск ожогов от контакта с нагретыми поверхностями оборудования и оснастки; воздействие паров и аэрозолей смазочно-разделительных составов на органы дыхания и кожные покровы работника.

На втором этапе (закладка заготовок и закрытие пресса) ключевые опасности связаны с активацией силового оборудования (рис. 1) и манипуляциями возле него: угроза раздавливания и тяжелого травмирования от движущейся плиты; воздействие шума, источником которого является работа гидравлической системы и механических узлов.



Рис. 5. Гидравлический пресс

В третьем этапе (процесс прессования-вулканизации), для которого используется гидравлический пресс (рис. 1), на персонал оказывается интенсивное воздействие физико-химических факторов: тепловое излучение от разогретых плит и кожуха пресса; выделение в воздух рабочей зоны летучих продуктов вулканизации резиновых смесей.

На заключительном этапе (выгрузка форм и изделий), при работе с гидравлическим прессом (рис. 1) сохраняются следующие опасности: риск ожогов при извлечении горячих пресс-форм и готовых изделий; значительные статические и динамические нагрузки на опорно-двигательный аппарат работника при переносе тяжелых форм.

Кроме того, использование гидравлического разъемника (рис. 2) создает дополнительные риски: разлет деталей; разрыв инструмента; зажим и травма рук.



Рис. 6. Гидравлический разъемник

Важно отметить, что условия труда на производстве формируются под влиянием взаимосвязанных факторов окружающей среды. Например, достаточное освещение обеспечивает высокую точность выполняемых операций. Не менее значимым фактором является чистота воздушной среды, которая достигается за счет эффективной вентиляции, удаляющей вредные газы, пары и пыль. Также поддержание шума в установленных санитарных нормативах является критически важным для поддержания концентрации работников. И комфортный температурный режим позволяет поддерживать нормальное физиологическое состояние работников, влияя на их производительность и самочувствие на протяжении всей рабочей смены.

Что касается воздействия конкретных вредных веществ, то в процентном соотношении работники прессовки, в основном, получают следующие травмы (рис. 3):

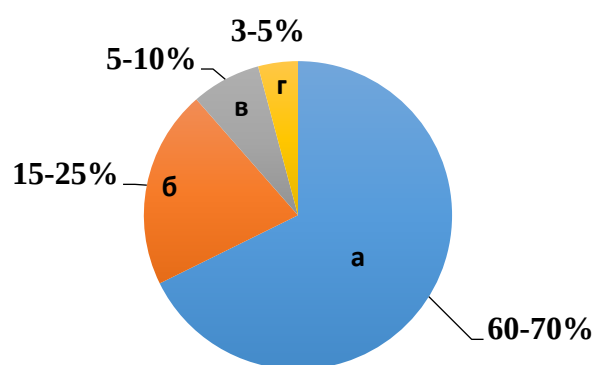


Рис. 7. Статистика производственных травм: а - ампутация пальцев, кистей (захват рукой в рабочей зоне во время хода пресса); б - переломы кистей рук, ушибы (удар подвижными частями пресса или падение заготовки); в - травмы от отлета детали или осколков; г - прочие (включая смертельные случаи)

В процессе вулканизации изделий в воздух рабочей зоны выделяются вредные вещества, которые представляют опасность для здоровья. К ним относятся испарения от резины и добавок, представлены в таблице 1.

Таблица 2

Фактические и нормативные значения измеряемых параметров

Наименование вещества (рабочей зоны), показатели (массовая концентрация вредных веществ)	Фактическое значение	ПДК	Класс условий труда
Оксид углерода, мг/м ³	0,1	20	2
Формальдегид, мг/м ³	<0,3	0,5	2
Фенол (гидроксибензол), мг/м ³	<0,18	1/0,3	2
Диоксид азота, мг/м ³	0,1	2	2
Комбинация веществ (оксид углерода; формальдегид; диоксид азота)	0,65	1	2
Комбинация веществ (оксид углерода; диоксид азота)	0,65	1	2

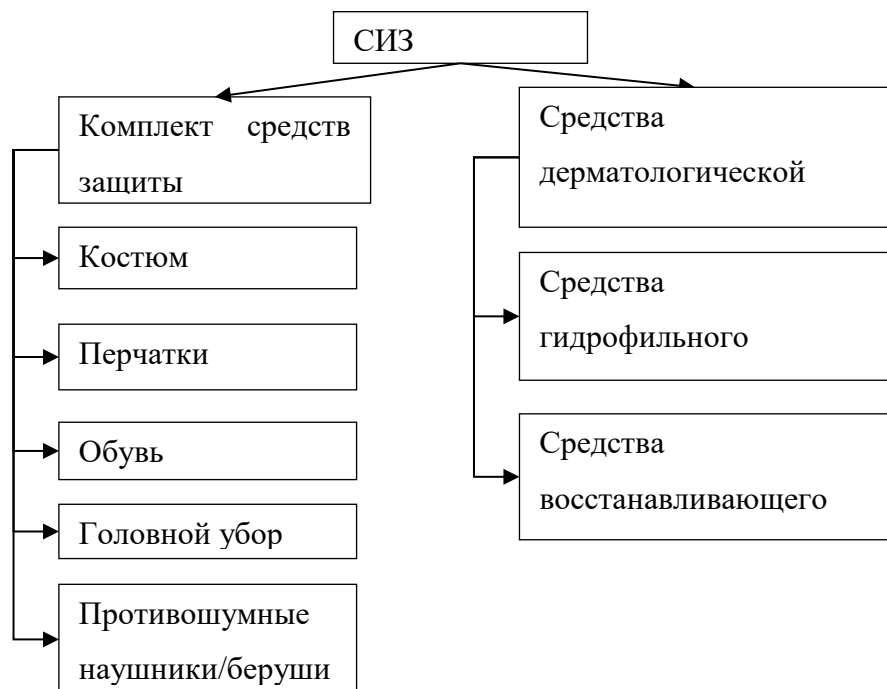
Комбинация веществ (оксид углерода; фенол (гидроксибензол); диоксид азота)	0,65	1	2
Комбинация веществ (формальдегид; фенол (гидроксибензол))	0	1	2
Комбинация веществ (формальдегид; диоксид азота)	0,65	1	2

Фактические значения данных вредных веществ не превышают ПДК, однако их долгосрочное вдыхание может вызвать у работников раздражение дыхательных путей и кожи, аллергические реакции, нарушения работы нервной системы и в долгосрочной перспективе может привести к профессиональным заболеваниям. Для предотвращения негативного воздействия необходимо контролировать их концентрацию и соблюдать нормы безопасности.

Безопасность является ключевым аспектом анализа рабочего места.

Основные меры по обеспечению безопасности на предприятии:

1. Использование средств индивидуальной защиты (СИЗ):



2. Регулярные инструктажи по безопасным методам работы.

3. Проведение регулярных оценок рисков для выявления потенциально опасных ситуаций.

Выводы

В результате анализа условий труда в цехе переработки пластмасс и резинотехнических изделий на АО «Новосибирский приборостроительный завод» были выявлены: основные вредные факторы (шум, тепловое излучение, оксид углерода, формальдегид, фенол, диоксид азота); концентрация вредных химических веществ находится в допустимых пределах, но при длительной работе может вызвать профзаболевание.

Таким образом, для обеспечения оптимальных условий труда рабочих на участке прессования необходимо внедрить комплекс мер, направленных на снижение воздействия вредных факторов (шума, химических веществ, теплового излучения и рисков травматизма).

Помимо использования СИЗ и проведения инструктажей, ключевое значение будет иметь техническое переоснащение участка: улучшение вентиляции, установка шумопоглощающих конструкций, модернизация оборудования, а также оптимизация рабочих мест для снижения физических нагрузок.

Такой комплексный подход позволит системно снизить уровни воздействия каждого идентифицированного вредного фактора. В результате будет не только достигнуто соответствие условий труда установленным нормативам, но и значительно уменьшится риск возникновения профессиональных заболеваний и производственного травматизма. Созданная таким образом безопасная и комфортная рабочая среда будет способствовать сохранению здоровья работников, поддержанию их высокой концентрации и, как следствие, стабильному качеству выпускаемой продукции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Федеральный закон от 28.12.2013 № 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда». – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_156555/ (дата обращения: 17.10.2025).

2. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – Введ. 2016-03-01. – М.: Стандартинформ, 2016. – 21 с.

3. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 28.01.2021. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_378702/ (дата обращения: 22.10.2025).

4. Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. Утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 29.07.2005. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2005. – 142 с.

ANALYSIS OF HARMFUL AND DANGEROUS PRODUCTION FACTORS AT THE SITE OF PRESSING AND VULCANIZATION OF RUBBER PRODUCTS

**Trunova Olga Aleksandrovna; Belousova Natalia Sergeevna, Candidate of
Technical Sciences, Supervisor**

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marx Ave., 20, тел. (951)167-92-57

Trunova O.A.: e-mail trunova.2022@stud.nstu.ru

Belousova N.S.: e-mail nata.bel@kinetics.nsc.ru

Correspondence address: Trunova Olga Aleksandrovna,
Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marx Ave., 20, тел. (951)167-92-57

Abstract: In the course of the work, the identification and assessment of harmful and dangerous production factors at the site of pressing and vulcanization of molded rubber products was carried out. The analysis of the technological process by stages with the identification of key risks is carried out. The actual concentrations of chemicals were compared with hygienic standards. Measures to reduce the identified negative factors are proposed.

Keywords: harmful production factors, dangerous production factors, pressing-vulcanization, working conditions, injury, personal protective equipment

УДК 331.45

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

*Тюрина Алена Витальевна; Милевский Константин Евгеньевич,
к.т.н., доцент*

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)005-48-19

Тюрина А.В., e-mail: nsk.ta@mail.ru

Милевский К.Е., e-mail: milevskij@corp.nstu.ru

Адрес для корреспонденции: Тюрина Алёна Витальевна, Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, (913)005-48-19

Аннотация: В статье проведен анализ производственного травматизма на предприятиях по изготовлению распределительных устройств (РСУ), комплектных трансформаторных подстанций (КТП) и низковольтных щитового оборудования. На основе данных Ростехнадзора и анализа статистики за 2024–2025 гг. выявлены основные виды нарушений безопасности: механические травмы при обработке металла и сборке, поражение электрическим током при испытаниях. Приведены зарубежные данные (IPAF, Texas Mutual) о снижении травматизма в электротехническом секторе за счет автоматизации и усиления контроля.

Ключевые слова: Производство КТП, электротехническая продукция, производственный травматизм, электробезопасность, охрана труда, механические травмы, статистика.

Введение

Производство распределительных устройств (РСУ), комплектных трансформаторных подстанций (КТП) и низковольтных щитов относится к категории работ с повышенными производственными рисками. Технологический процесс включает несколько опасных этапов: обработку металла (резка, гибка, сварка), сборку электротехнических узлов, монтаж токоведущих шин, пусконаладочные испытания под напряжением. Дополнительные риски создает использование грузоподъемных механизмов при перемещении тяжелых трансформаторов и корпусов.

В период 2024–2025 гг. проблема производственного травматизма в электротехнической промышленности остается актуальной как в Российской Федерации, так и за рубежом. При этом международный опыт демонстрирует возможность существенного снижения травматизма за счет автоматизации и усиления надзорных мер.

Результаты и обсуждение

1. Российская статистика производственного травматизма в электротехнической промышленности

Анализ данных Ростехнадзора и Минтруда РФ за 2024–2025 гг. позволяет выделить основные виды травм, характерные для производства электротехнической продукции.

В таблице 1 представлены наиболее распространенные виды производственного травматизма на предприятиях электротехнической отрасли.

Таблица 1

Вид травмы	Доля от общего числа	Характерные операции
Механические травмы (порезы, ушибы, ампутации)	45%	Обработка металла, сборка шин, работа с ручным инструментом
Поражение электрическим током	25%	Испытания готовых изделий под напряжением, наладка
Травмы при падении с высоты	15%	Обслуживание высоких стеллажей, монтаж крупногабаритных изделий
Травмы от движущихся частей оборудования	10%	Работа на гибочных и отрезных станках
Прочие	5%	—

Анализ материалов расследований Ростехнадзора позволяет выделить наиболее распространенные организационные нарушения, приводящие к несчастным случаям на производстве электротехнической продукции:

1. Неудовлетворительная организация производства работ (отсутствие или формальное проведение инструктажей, допуск к работе без проверки знаний)
2. Нарушение требований безопасности при работе с электрооборудованием (отсутствие защитного заземления, работа без снятия напряжения)
3. Неисправность или отсутствие средств индивидуальной защиты (диэлектрических перчаток, защитных очков, спецобуви)
4. Нарушение правил эксплуатации грузоподъемных механизмов (подъем грузов без строповки, превышение грузоподъемности)

2. Технические нарушения при производстве электротехнической продукции

Анализ проверок контролирующих органов позволяет выделить наиболее распространенные технические нарушения, допускаемые непосредственно на этапах производства:

1. Отсутствие или неисправность защитного заземления испытательных стендов и оборудования
2. Неудовлетворительное состояние ограждений движущихся частей станков
3. Нарушение сроков поверки контрольно-измерительных приборов и средств защиты
4. Отсутствие блокировок на ограждениях испытательных стендов
5. Применение некалиброванного инструмента при монтаже электротехнических соединений

3. Международный опыт: статистика.

Международные источники показывают положительную динамику снижения производственного травматизма в электротехнической отрасли при условии внедрения системных мер безопасности.

Данные Texas Mutual (США, 2025 год). Согласно отчету страховой компании Texas Mutual, в 2025 году зафиксировано снижение тяжелого производственного травматизма на 13% по сравнению с 2024 годом. Наиболее значительное снижение серьезных травм продемонстрировали электромонтажные компании — на 67%. Это второй год подряд, когда в строительном секторе (включая электромонтаж) наблюдается устойчивое снижение числа страховых случаев.

Ключевые выводы Texas Mutual:

- Наиболее частые типы серьезных травм в промышленности: удары предметами, защемления между механизмами, падения.
- Традиционные промышленные сектора демонстрируют улучшение показателей безопасности, в то время как риски смещаются в сферу услуг.

Данные IPAF (Global Safety Report 2025). Международная федерация подъемных работ (IPAF) опубликовала Глобальный отчет по безопасности 2025 года, основанный на анализе аварийности за 2015–2024 гг.

Основные результаты отчета IPAF за 2024 год:

- Снижение числа смертельных случаев на 26% (со 135 в 2023 году до 100 в 2024-м).
- Снижение числа сообщений о тяжелых инцидентах на 15% (с 201 до 170).
- Электротехнический сектор составил 13% всех инцидентов с подъемным оборудованием — наряду с лесным хозяйством и уступая только строительству (37%).

4. Сравнительный анализ и рекомендации

Сравнение российских и международных данных приведено в таблице 2 и позволяет сделать следующие выводы.

Таблица 2

Показатель	Россия	Международные данные (IPAF / Texas Mutual)
Динамика травматизма	Стабильно высокий уровень	Снижение на 13–67% в отдельных секторах
Основные причины	Организационные нарушения, человеческий фактор	Ошибки планирования, недостаток обучения
Электротехнический сектор	25% электротравм в структуре	13% инцидентов с подъемным оборудованием
Роль автоматизации	Низкая	Ключевой фактор снижения (электромонтаж -67%)

Ключевое различие заключается в системном подходе к безопасности: международный опыт показывает, что инвестиции в автоматизацию, регулярное обучение и культуру безопасности дают измеримый результат даже в высокорисковых секторах.

Вывод

Проведенный анализ производственного травматизма при изготовлении электротехнической продукции за период 2024–2025 гг. позволяет сделать следующие выводы:

1. Наибольшую опасность при производстве РСУ и КТП представляют механические травмы при обработке металла (до 45% от всех случаев) и поражение электрическим током при испытаниях (до 25% случаев).

2. Основной причиной несчастных случаев (80–90%) является человеческий фактор и организационные недостатки: неудовлетворительное проведение инструктажей, допуск без проверки знаний, отсутствие контроля.

3. В числе технических нарушений преобладают: отсутствие или неисправность заземления испытательных стендов, неудовлетворительное состояние ограждений оборудования, отсутствие блокировок.

4. Международный опыт (Texas Mutual, IPAF) демонстрирует возможность снижения травматизма в электротехническом секторе на 67% при условии системного подхода: автоматизации процессов, регулярного обучения персонала (особенно со стажем менее 2 лет) и усиления контроля за соблюдением требований безопасности.

Для снижения уровня травматизма при производстве электротехнической продукции рекомендуется: внедрить автоматизированные линии обработки металла для снижения ручного труда; усилить контроль за состоянием заземления испытательных стендов; обеспечить обязательное использование сертифицированных СИЗ; проводить ежеквартальные внеплановые инструктажи для работников со стажем до 2 лет; установить дополнительные ограждения и блокировки на грузоподъемных механизмах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. Анализ травматизма с летальным исходом на поднадзорных Ростехнадзору энергетических объектах за период 2020–2024 года и формирование рекомендаций по его снижению [Электронный ресурс] // Северо-Западное управление Ростехнадзора. – Режим доступа: http://szap.gosnadzor.ru/activity/energonadzor/nesc_sluch/ (дата обращения: 30.03.2026).

2. Журнал «ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение». Динамика производственного травматизма в электроэнергетике в 2024 году [Электронный ресурс] / Совместно с Ассоциацией «ЭРА России» и Управлением государственного энергетического надзора Ростехнадзора. – 2025. – Режим доступа: <https://eepir.ru/article/dinamika-proizvodstvennogo-travmatizma-v-nbsp-2024-nbsp-godu/> (дата обращения: 30.03.2026).

3. **Texas Mutual Insurance Company.** Safety Alert: January 2026 [Электронный ресурс]. – 28.01.2026. – Режим доступа: <https://www.texasmutual.com/blog/posts/2026/01/january-safety-alert> (дата обращения: 30.03.2026).

4. **IPAF (International Powered Access Federation).** IPAF Global Safety Report 2025: A 26% decrease in powered access fatalities in 2024 [Электронный ресурс]. – 22.07.2025. – Режим доступа: <https://www.ipaf.org/en-gb/news/ipaf-global-safety-report-2025-26-decrease-powered-access-fatalities-2024-ipaf-accident> (дата обращения: 30.03.2026).

ANALYSIS OF SAFETY VIOLATIONS DURING ASSEMBLY OF COMPLETE TRANSFORMER SUBSTATIONS

*Tyurina Alena Vitalievna; Milevsky Konstantin Evgenievich, Cand. Sc.
(Engineering), Associate Professor*

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Karl
Marx Ave., tel. (913)005-48-19

Tyurina A.V., e-mail: nsk.ta@mail.ru

Milevsky K.E., e-mail: milevskij@corp.nstu.ru

Address for correspondence: Tyurina Alena Vitalievna, Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Karl Marx Ave., tel. (913)005-48-19

Abstract: This article analyzes occupational injuries in the manufacture of electrical products (RD, CTS, switchgear) based on data from regulatory authorities for 2024–2025. The main causes of accidents are identified: mechanical injuries, electric shock during testing, and lifting operation injuries. International experience in injury reduction through automation is presented. Recommendations for injury prevention are proposed.

Keywords: Complete transformer substations manufacturing, electrical products, occupational injuries, electrical safety, labor protection, mechanical injuries, statistical analysis.

УДК 331.45

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВОЗГОРАНИЙ НА НЕФТЕХРАНИЛИЩАХ

Тюшникова Дарья Александровна¹, магистрант; Белоусова Наталья Сергеевна¹, доцент, к.т.н., научный руководитель

¹ Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)005-48-19

Тюшникова Д. А., e-mail tyushnikova.2021@stud.nstu.ru

Белоусова Н. С., e-mail nata.bel@kinetics.nsc.ru

Адрес для корреспонденции: **Тюшникова Дарья Александровна**, Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)005-48-19

Аннотация: Пожарная безопасность на любом производственном предприятии занимает одно из ключевых мест, поскольку от ее эффективности напрямую зависят как стабильность и непрерывность технологических процессов, так и здоровье сотрудников, сохранность материальных ценностей и экологическое благополучие прилегающих территорий. Особое значение и актуальность данная проблема приобретает в условиях функционирования объектов нефтегазового комплекса, где потенциальные риски возникновения возгораний многократно возрастают в силу специфики обращающихся веществ — легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, а также их паров. В данной работе рассмотрены основные причины пожаров в резервуарных парках и факторы, способствующие их возникновению, а также профилактические меры и технические решения, направленные на предупреждение подобных аварийных ситуаций и минимизацию их возможных последствий.

Ключевые слова: нефтехранилища, пожары, легковоспламеняющиеся жидкости.

Введение

Нефтехранилища относятся к опасным объектам, поскольку на их территории осуществляется прием, хранение, и отпуск больших объемов легковоспламеняющихся и горючих жидкостей. Даже незначительные нарушения технологического регламента или конструктивные дефекты оборудования способны привести к аварийным разливам, загазованности территорий и последующему воспламенению паровоздушных смесей. Пожары в резервуарных парках отличаются высокой интенсивностью, быстрым распространением огня на соседние емкости и сложностью их тушения, что нередко сопровождается серьезными материальными потерями и угрозой для персонала.

Целью работы является анализ основных причин возникновения возгораний в нефтехранилищах.

Теория. Виды нефтехранилищ и поражающие факторы пожара

Нефтехранилища представляют собой специализированные промышленные объекты, основная функция которых заключается в приеме, долговременном хранении, учете и последующей выдаче нефти и продуктов ее переработки. В техническом отношении данные объекты представляют собой комплекс инженерных сооружений, ключевым элементом которого являются резервуары – специальные емкости для хранения нефтепродуктов.

В зависимости от расположения относительно уровня земли или водной поверхности все резервуары, используемые для хранения нефтепродуктов, делятся на несколько видов, представленных на рисунке 1. К первой категории относятся подводные резервуары, которые размещаются ниже поверхности воды, чаще всего около мест добычи нефти. Вторую категорию составляют подземные резервуары – емкости, которые полностью заглублены в грунт. Третья категория включает полуподземные резервуары, у которых лишь нижняя часть корпуса находится под землей, в то время как верхняя – выступает над поверхностью. Четвертый вид – резервуары, целиком располагающиеся на поверхности земли. Наземные и подземные резервуары получили наиболее широкое распространение [1, 2].

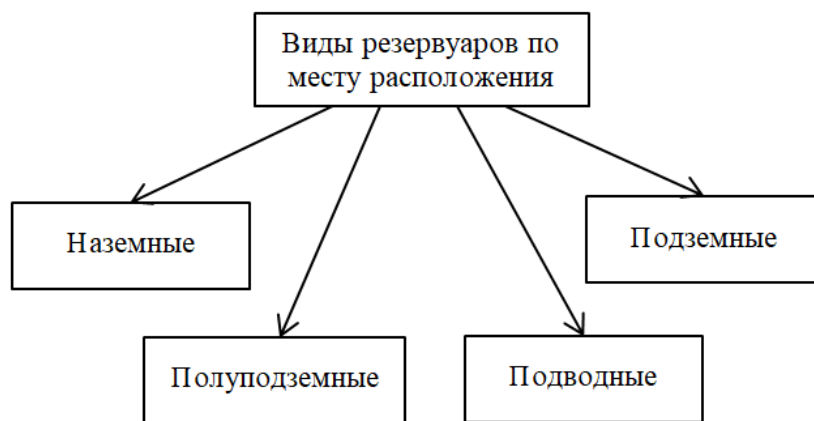


Рисунок 1 – Виды резервуаров по месту расположения

По типу конструкции резервуары делятся на:

1. Вертикальные стальные:

- с плавающей крышкой (для нефти и автомобильных бензинов);
- со стационарной крышей без понтона (для нефти, автомобильных и авиационных бензинов, топлива для реактивных двигателей, нефтяных битумов, отработанных нефтепродуктов и нефтепродуктов аварийного сброса).
- со стационарной крышей с понтоном (для нефти, автомобильных бензинов, дизельного топлива) [2, 3].

2. Горизонтальные стальные.

На одном промышленном объекте может одновременно применяться несколько разновидностей резервуаров. Типы емкостей и их необходимое количество определяются рядом факторов: физико-химическими свойствами хранимого продукта, его предполагаемым объемом, особенностями эксплуатации и другими условиями. Но вне зависимости от типа все они обладают потенциальной пожарной опасностью, поскольку содержат либо легковоспламеняющиеся жидкости (к примеру, бензин), либо горючие вещества (например, мазуты). Под пожаром понимается неконтролируемое горение вне специального очага, которое сопровождается повреждением и уничтожением материальных объектов, и создает угрозу для жизни и здоровья людей [2, 4].

Выделяют несколько ключевых поражающих факторов, действующих при пожаре. К ним прежде всего относят открытое пламя и разлетающиеся искры, а также значительное повышение температуры. Кроме того, серьезную опасность представляют последствия механических повреждений и разрушений, такие как падающие осколки и фрагменты оборудования или сооружений. Не менее важным фактором является повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения. Наконец, в случае если пожар сопровождается взрывом, к поражающим элементам добавляется ударная волна, способная вызывать разрушения на значительном удалении от эпицентра [2, 5].

Результаты обсуждения

На сайте Ростехнадзора в открытом доступе представлены «уроки, извлеченные из аварии» по всем авариям, произошедшим на предприятиях нефтегазового комплекса в России с 2014 по 2023 год. В них указаны причины

каждой аварии, произошедшей за этот период. По изученным файлам построена диаграмма, на которой наглядно показано распределение аварий в парках резервуаров нефтепродуктов по годам (рисунок 2). Из этого можно сделать вывод, что каждый год в России в среднем происходит 4 подобные аварии [6].

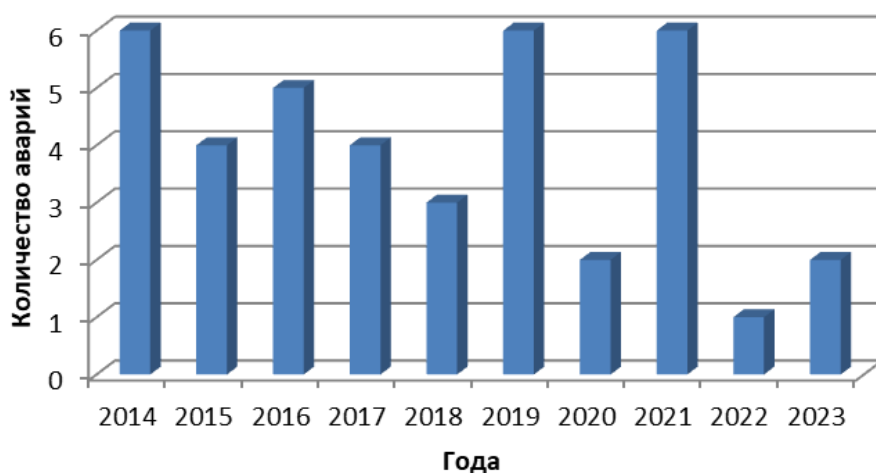


Рисунок 2 – Количество пожаров в парках резервуаров

Можно отметить, что большинство аварий возникли при подготовке и проведении работ по зачистке или ремонту резервуаров.

Также были проанализированы причины пожаров (рисунок 3) [6].



Рисунок 3 – Причины пожаров в парке резервуаров нефтепродуктов

Из диаграммы, представленной на рисунке 3, видно, что основными причинами пожаров в парках резервуаров нефтепродуктов являются:

1. Нарушение правил проведения огневых/газоопасных работ (проведение огневых работ на неотключенном трубопроводе; проведение газоопасных работ (вскрытие люков) в темное время суток; монтаж оборудования без наряда-допуска на газоопасные работы и т.д.);

2. Применение невзрывозащищенного оборудования;

3. Статическое электричество (отсутствие заземления пробоотборника; отсутствие заземления автоцистерны при сливе; нарушение контура заземления и т.д.);

4. Самовозгорание пирофорных отложений.

Пожарная безопасность на предприятии обеспечивается комплексом мер. Необходим постоянный производственный контроль за соблюдением требований безопасности и состоянием охраны труда.

Наличие и корректная работа датчиков, систем оповещения и пожаротушения тоже являются неотъемлемой частью обеспечения безопасности на предприятии. В том числе возможно применение меток на инструментах (система сканирования), что исключает случайное применение оборудования, дающего искру на территории нефтебазы.

Регулярные проверки также должны включать контроль целостности заземляющего контура и наличия пирофорных отложений внутри резервуаров. Так как данные отложения воспламеняются при контакте с кислородом, технологическим решением является замена воздуха в надтопливном пространстве резервуара на негорючий газ (азот). Также возможна дезактивация таких отложений: очистка прогретым паром, заполнение резервуаров реагентами (водные растворы гидроксида натрия, пероксида водорода и перманганата калия) [7].

Вывод

Проведённый анализ показал, что проблема обеспечения пожарной безопасности в резервуарных парках нефтепродуктов сохраняет актуальность ввиду наличия аварий, ежегодно регистрируемых на объектах нефтегазового комплекса России.

Почти половина всех аварий вызвана нарушением правил безопасности при проведении огневых, газоопасных работ (отсутствие нарядов-допусков, применение открытого огня). Также немаловажными причинами являются: применение невзрывозащищенного оборудования, статическое электричество и наличие пирофорных отложений в резервуарах.

Таким образом, снижение риска возникновения пожаров в резервуарных парках достигается только при условии комплексного подхода, сочетающего техническую оснащённость, строгий производственный контроль и высокий уровень дисциплины персонала.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Виды резервуаров для хранения нефтепродуктов / [Электронный ресурс] // РЕМСТРОЙМАШ. Производственное объединение : [сайт]. — URL: <https://www.npommz.ru/blog/vidy-rezervuarov-dlya-khraneniya-nefti?ysclid=mhltzole56754377797> (дата обращения: 02.04.2026).
2. Тюшникова Д. А. Анализ причин возникновения пожаров на нефтехранилищах / Д. А. Тюшникова ; науч. рук. Н. С. Белоусова. - Текст : непосредственный // Наука. Технологии. Инновации : сб. науч. тр. 19 Всерос. науч. конф. молодых ученых, Новосибирск, 8–12 дек. 2025 г. : в 9 ч. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2026. – Ч. 9. – С. 212–216. - 10 экз. - ISBN 978-5-7782-5573-9.
3. ГОСТ 31385-2023. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия : межгосударственный стандарт : изд. офиц. : утв. и введ. в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 июня 2023 г. N 462-ст : дата введ. 2023-08-01 / Закрытое акционерное общество "Центральный ордена Трудового Красного Знамени Научноисследовательский и проектный институт строительных металлоконструкций им. Н.П.Мельникова" (ЗАО "ЦНИИПСК им.Мельникова"), Общество с ограниченной ответственностью "ГлобалТэнкс Инжиниринг" (ООО "ГТИ"), Общество с ограниченной ответственностью "Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта" (ООО "НИИ Транснефть"). – Москва : Российский институт стандартизации, 2023. – 118 с. – Текст : непосредственный.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях : учебное пособие / Л. М. Клыков, Ю. О. Поляков, Н. С. Белоусова. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2021. – 168 с.
5. Расчет и проектирование систем и средств безопасности труда (общие положения): учебное пособие / А.В. Гуськов, К.Е. Милевский. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – 87 с.
6. Уроки, извлеченные из аварий 2014 – 2023 год / [Электронный ресурс] // Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору : [сайт]. — URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/index.php> (дата обращения: 02.04.2026).
7. Храмцова Л.А., Леонтьева М.А., Байдюк Ю.А., Насырова Э.С., Ахтямов Р.Г. Предупреждение возгорания пирогорных отложений в стальных резервуарах // БРНИ. 2019. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/preduprezhdenie-vozhgoraniya-pirofornyh-otlozheniy-v-stalnyh-rezervuarah> (дата обращения: 08.04.2026).

INVESTIGATION OF THE CAUSES OF FIRES AT OIL STORAGE FACILITIES

Tyushnikova Darya Alexandrovna¹, Master's student; Belousova Natalya Sergeyevna¹, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Supervisor

¹ Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marx Ave., 20, tel. (913)005-48-19

Tyushnikova D.A., e-mail: tyushnikova.2021@stud.nstu.ru

Belousova N.S., e-mail: nata.bel@kinetics.nsc.ru

Correspondence address: **Tyushnikova Daria Alexandrovna**, Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marx Ave., 20, tel. (913)005-48-19

Abstract: Fire safety occupies one of the key positions at any industrial enterprise, since the stability and continuity of technological processes, as well as the health of employees, the safety of material assets, and the environmental well-being of adjacent territories, directly depend on its effectiveness. This issue becomes particularly significant and relevant in the context of operating oil and gas facilities, where the potential risks of fires increase many times over due to the specific nature of the substances handled — flammable and combustible liquids, as well as their vapors. This paper examines the main causes of fires in tank farms and the factors contributing to their occurrence, as well as preventive measures and technical solutions aimed at preventing such emergency situations and minimizing their possible consequences.

Keywords: oil storage facilities, fires, flammable liquids.

УДК 536.46

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ: МОДЕРНИЗАЦИЯ ОБУЧЕНИЯ

**Федотова Анна Алексеевна, Гуськов Анатолий Васильевич, д.т.н,
доцент**

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия,
г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)005-48-19

Федотова А.А., email fedotova.2021@stud.nstu.ru

Гуськов А.В., email a.guskov@corp.nstu.ru

Адрес для корреспонденции: **Федотова Анна Алексеевна**, Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)005-48-19

Аннотация: Проведен анализ структурных сдвигов в причинах несчастных случаев с тяжелыми последствиями за 2019–2024 годы, в результате которого выявлены проблемные зоны принципов формирования и поддержания

культуры безопасности, требующие модернизации. Приведены факторы низкой эффективности существующей модели подготовки работников. Предложены перспективные направления совершенствования обучения.

Ключевые слова: охрана труда, культура безопасности, принципы формирования, обучение по охране труда, несчастные случаи.

Введение

Существует девять принципов формирования и поддержания культуры безопасности [1], через призму которых можно оценить состояние организации труда на производстве. Эффективность реализации этих принципов в реальных условиях может быть оценена через анализ структурных сдвигов в причинах производственного травматизма за период с 2019 по 2024 год [2].

Таблица 1

Удельный вес причин несчастных случаев с тяжелыми последствиями

Причина	2019 год	2024 год
Неудовлетворительная организация работ и нарушение трудовой дисциплины	42,9 %	30,4 %
Нарушение или несовершенство технологического процесса	6,1 %	11,3 %
Недостатки в организации и проведении подготовки работников по охране труда	3,5 %	4,6 %
Транспортные происшествия	13,8 %	15 %
Технические недостатки	8,5 %	8,5 %
Неудовлетворительная организация рабочих мест	2,7 %	2 %
Прочие причины	23,6 %	28,2 %

В результате анализа сдвигов удельного веса несчастных случаев с тяжелыми последствиями за 2019 - 2024 годы (таблица 1) [2] была проведена оценка реализации каждого из девяти принципов формирования культуры безопасности. В результате данной оценки были идентифицированы следующие проблемные зоны, требующие первоочередной модернизации [3]:

1. Система обучения и поддержания квалификации (принцип 2).
2. Соблюдение технологических регламентов (принцип 4).
3. Формирование личной ответственности (принцип 3).
4. Система мотивации (принцип 9).

Из полученных выводов следует, что приоритетной проблемной зоной является система обучения и поддержания квалификации работников.

Ключевыми факторами низкой эффективности существующей модели подготовки выступают: смена ценностных ориентиров (с «выполни любой ценой» на безопасность, прозрачность, диалог и осмысленность требований) и когнитивных моделей восприятия (потребность в визуализации и интерактивности вместо длительных лекций и текстовых инструкций) у нового поколения работников, а также унифицированный, шаблонный характер обучения.

Учебные материалы, как правило, не учитывают отраслевую и производственную специфику предприятия, особенности рабочих мест, а также ценностные установки и психологические особенности сотрудников

Исходя из вышесказанного, можно выделить следующие направления совершенствования методов организации обучения безопасности труда.

Способы модернизации обучения.

1. Изменение информационной составляющей учебных методик

1.1. Введение блока о трудовой дисциплине.

Как следует из данных таблицы 1, такие причины несчастных случаев, как «неудовлетворительная организация работ» и «нарушение трудовой дисциплины», занимают значительную долю в структуре производственного травматизма (30,4 % в 2024 году). Это свидетельствует о необходимости более глубокого и системного обсуждения вопросов трудовой дисциплины с работниками в рамках учебных программ.

Следовательно, одним из ключевых способов изменения информационной составляющей учебных методик является добавление специализированного блока о трудовой дисциплине, который может включать следующие темы:

1. Определение трудовой дисциплины и ее прямая связь с безопасностью труда.
2. Реальные примеры последствий нарушений дисциплины для работника, трудового коллектива и предприятия в целом.
3. Психологические причины нарушений (почему люди сознательно или неосознанно отступают от установленных требований).
4. Виды ответственности за нарушение трудовой дисциплины (дисциплинарная, материальная, административная, уголовная).
5. Практические инструменты формирования и поддержания дисциплины (например, право остановки опасной работы — Stop Work Authority, система взаимного контроля в бригаде).

Важно подчеркнуть, что данный блок должен представлять собой практико-ориентированный разговор о том, как конкретные нарушения становятся реальными травмами, с активным вовлечением самих работников в обсуждение и анализ ситуаций.

1.2. Добавление специфической (отраслевой и производственной) информации.

Проблема низкой эффективности системы обучения усугубляется также недостаточным уровнем поддержания квалификации сотрудников в области охраны труда, что является прямым следствием унификации учебных методик. Шаблонные инструкции и типовые программы не позволяют в полной мере отразить специфику деятельности конкретного предприятия, его технологических процессов и характерных профессиональных рисков.

Добавление большего объема информации, конкретизирующей отраслевую и производственную специфику, позволит:

- повысить квалификацию и углубить понимание сотрудниками реальных опасностей, сопровождающих деятельность предприятия;
- преодолеть проблему шаблонности инструкций и учебных материалов;

— повысить чувство личной ответственности работников, поскольку они начнут видеть в требованиях безопасности не абстрактные предписания, а инструменты защиты от конкретных, понятных им рисков.

2. Модернизация формы проведения обучения

2.1. Учет возрастных и когнитивных особенностей восприятия работников.

Цифровые устройства и информационные системы стали неотъемлемой частью повседневной жизни сотрудников, выходящих на рынок труда в последние 5–7 лет. Способы восприятия, обработки и запоминания информации у данной категории работников существенно отличаются от аналогичных процессов у более возрастных групп. Один и тот же формат учебных материалов (текстовый, аудиальный, визуальный, интерактивный) может быть высокоэффективен для одной возрастной группы и практически бесполезен для другой.

Следовательно, требуется адаптация форматов учебных материалов с учетом уровня технологического развития и активного внедрения компьютерных средств обучения. Это позволит:

— повысить вовлеченность и степень усвоения материала у современного поколения работников;

— постепенно интегрировать цифровые методы в процесс обучения возрастных сотрудников, повышая их общую технологическую грамотность и эффективность усвоения информации по всем направлениям безопасности.

2.2. Учет ценностных ориентиров и предпочтительных форм коммуникации.

Современные ценностные установки оказывают прямое влияние на психологический профиль и мотивационную сферу работников, что изменяет их реакцию на традиционные способы коммуникации и обучения. Если для сотрудников старшего поколения наиболее предпочтительным остается обучение в формате лекций с преобладанием теоретического материала, то для современного поколения характерен запрос на индивидуализированные формы коммуникации, интерактивные методы обучения, практико-ориентированные модули и возможность самостоятельного выбора траектории освоения материала.

Реализация предложенных мер запустит механизм самонастройки персонала: работники начнут самостоятельно переходить от модели «ликвидации последствий» к модели «предупреждения инцидентов». Это приведет к устойчивому снижению общего уровня производственного травматизма и повышению эффективности системы управления охраной труда в целом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Анализ производственного травматизма в России (в том числе со смертельным исходом / Акирова Ю. А., Елин А. М., Маженов С. А., Макеев А. И., Москвина М. С., Навальный В. В., Носоров П. А., Редченко Н. Б., Саченок Д.

А., Товстий М. А.; под общ. ред. к.т.н., доц. И. В. Цирина. — Москва, 2025 – 40с.: -Деп. в ФГБУ «ВНИИ труда» Минтруда России

2. Гуськов А.В. Управление производственной безопасностью: учебное пособие/ А.В. Гуськов, К.Е Милевский, Е.Ю. Потанина – Москва; Вологда: Инфра – Инженерия, 2025. – 288 с.: ил, табл.

3. Федотова А.А. Совершенствование культуры безопасности // НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ // Сборник научных трудов в 9 ч. / под редакцией Захаровой Е. В. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2026. - С. 216-219.

IMPROVING THE SAFETY CULTURE: MODERNIZING EDUCATION

Fedotova Anna Alekseevna, Guskov Anatoly Vasilyevich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor.

Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marx Ave., Novosibirsk, 630073, Russia, tel. (913)005-48-19

Fedotova A.A., email fedotova.2021@stud.nstu.ru

Guskov A.V., email a.guskov@corp.nstu.ru

Correspondence address: Fedotova Anna Alekseevna, Novosibirsk State Technical University , 20 Karl Marx Ave., Novosibirsk, 630073, Russia, tel. (913)005-48-19

Abstract: The analysis of structural shifts in the causes of accidents with severe consequences for 2019–2024 was carried out, as a result of which the problem areas of the principles of forming and maintaining a safety culture that require modernization were identified. The factors of low efficiency of the existing model of training employees are given. Perspective directions of improvement of training are proposed.

Keywords: occupational safety, safety culture, principles of formation, occupational safety training, and accidents..

УДК 331.45

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ И ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ

Чередов Алексей Русланович

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

Чередов А. Р., email: cheredov.aleksey01@gmail.com

Адрес для корреспонденции: Чередов Алексей Русланович, Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. +79143537535

Аннотация: Методология неразрушающего контроля массивных железобетонных конструкций и физические процессы их термического воздействия детально освещаются в представленном исследовании.

Стратегически значимые объекты гидроэнергетики рассматриваются через призму рисков, возникающих при эксплуатации крупногабаритного маслonaполненного оборудования, а национальная энергосистема выступает ключевым контекстом для оценки последствий возможных инцидентов. Новосибирская ГЭС послужила базой для изучения оперативно-тактических характеристик производственных зон, тогда как вопросы пожарной безопасности образуют центральную проблематику всей научной работы. Применение передовых диэлектрических материалов и огнезащитных покрытий с целью снижения риска возникновения и развития техногенных пожаров получает в работе подробное теоретическое обоснование. Математическому расчёту характеристик установок дымоудаления и автоматизированных систем пожарной сигнализации посвящён специальный раздел исследования. Предложенный комплексный подход позволяет существенно повысить уровень надёжности энергетических объектов и минимизировать вероятность каскадного развития аварийных ситуаций, угрожающих как персоналу, так и окружающей среде.

Ключевые слова: пожарная безопасность, гидроэлектростанция, объект энергетики, трансформаторное масло, противодымная вентиляция, высоковольтное оборудование, огнестойкость конструкций, техногенный риск.

Введение

Риски возникновения пожаров стоят на первом месте среди техногенных угроз по масштабу потенциальных последствий – и это закономерный результат того, что колоссальные энергетические мощности сосредоточены на относительно небольших территориях. Среди объектов энергетической инфраструктуры особую роль играют гидроэлектростанции: они не просто вырабатывают электроэнергию в базовом режиме, но и выполняют функцию оперативной балансировки частоты и нагрузки в энергосистемах [1]. Между тем вся современная техносфера – её промышленные структуры и социальные институты – выстроена таким образом, что критически зависит от бесперебойной работы энергетического сектора. Здания гидроэлектростанций отличаются разветвлённой сетью подземных и подводных коммуникаций, что само по себе существенно осложняет обеспечение пожарной безопасности. Однако главную угрозу формирует исключительно опасная комбинация условий: электроустановки сверхвысокого напряжения располагаются в непосредственном соседстве с огромными объёмами горючих диэлектрических и смазочных жидкостей, исчисляемых сотнями тонн. Именно это сочетание факторов определяет принципиальное своеобразие пожарных рисков на объектах гидроэнергетики.

Технологические риски и физико-химические аспекты деградации диэлектриков

Основой функционирования любой ГЭС является работа гидроагрегатов и трансформаторных групп, где масло выполняет функции изоляции и охлаждения. В процессе многолетней эксплуатации трансформаторное масло подвергается интенсивному старению под воздействием электрических полей, высоких

температур и растворенного кислорода. Химические процессы окисления приводят к образованию шлама и снижению диэлектрической прочности, но с точки зрения пожарной безопасности наиболее критичным фактором является снижение температуры вспышки. Исследования показывают, что в отработанных маслах температура вспышки может падать на тридцать и более процентов, фактически переводя жидкость из разряда пожароопасных в разряд легковоспламеняющихся [3].

На примере Новосибирской ГЭС, представляющей собой монументальное сооружение длиной более двухсот двадцати метров, можно оценить масштаб угрозы. Каждый из семи установленных гидроагрегатов требует для работы до тридцати четырех тонн масла. Суммарная масса горючих жидкостей в машинном зале превышает двести тонн, что при возникновении аварии с разгерметизацией системы превращает производственную зону в очаг колоссальной тепловой мощности [2]. Особую опасность представляет возможность образования масляного тумана при разрыве трубопроводов высокого давления, что ведет к мгновенному объемному возгоранию и взрывному росту давления в помещении.

Динамика пожаров в кабельных сетях и подземных коммуникациях

Развитая инфраструктура ГЭС включает в себя километры кабельных тоннелей и шахт, обеспечивающих связь между генераторами, щитами управления и открытыми распределительными устройствами. Плотность прокладки силовых линий в таких тоннелях достигает критических значений. Пожары в кабельных хозяйствах характеризуются стремительным линейным распространением пламени по изоляции, которая при горении выделяет плотный токсичный дым и хлористый водород, вызывающий коррозию металлоконструкций и релейной защиты. Опыт эксплуатации показывает, что разделение тоннелей противопожарными перегородками является необходимым, но недостаточным условием безопасности. Необходима герметизация всех кабельных проходок с использованием специальных интумесцентных составов, которые при нагреве расширяются в десятки раз, создавая надежный теплоизолирующий барьер.

Механика термического разрушения строительных конструкций

Одной из самых сложных проблем при ликвидации пожаров на энергообъектах является сохранение структурной целостности здания. Массивные железобетонные конструкции машзалов при воздействии температур выше восьмисот градусов претерпевают необратимые изменения. При достижении критических температур арматура утрачивает половину несущей способности – этот порог соответствует отметке в пятьсот градусов [4]. Каркас оголяется вследствие взрывного разрушения внешних слоёв бетонной конструкции. Подобный эффект обусловлен резким испарением влаги, аккумулированной в поровом пространстве материала: стремительный нагрев провоцирует её переход в газообразную фазу, что порождает избыточное давление внутри структуры. Параллельно в цементном камне запускаются процессы дегидратации, неизбежно влекущие за собой образование многочисленных трещин.

Обследование повреждённых огнём несущих элементов зданий осуществляется с помощью ультразвукового прозвучивания – метода, относящегося к категории неразрушающего контроля. Несущее ядро массивных стен и колонн гидроэлектростанций нередко остаётся работоспособным даже при значительных внешних разрушениях – к такому выводу приходят специалисты, выполняющие инженерные расчёты подобных сооружений. Это открывает возможность для применения торкретирования или армирования углеволокном без необходимости сноса повреждённых элементов. Чтобы установить, насколько глубоко распространились критические дефекты, инженеры сопоставляют скорости ультразвука в разных участках конструкции и на основе полученных данных формируют карту деградации бетона. Сама же причина замедления ультразвуковой волны кроется в микротрещинах, которые существенно снижают скорость её распространения в повреждённом материале.

Математическое обоснование систем противодымной вентиляции

Обеспечение безопасной эвакуации персонала и работы пожарных расчетов в условиях огромного объема машинного зала ГЭС невозможно без эффективной системы дымоудаления. Математическое моделирование процесса задымления базируется на расчете массового расхода продуктов горения, который зависит от расчетной площади очага пожара и периметра струи пламени. При высоте машинного зала более десяти метров формируется мощный конвективный поток, который переносит дым к потолочным перекрытиям. Система вентиляции должна быть рассчитана таким образом, чтобы скорость удаления дыма превышала скорость его накопления, поддерживая высоту незадымляемой зоны не менее чем в два с половиной метра от уровня пола.

Важнейшим параметром при расчете является температурный режим дымового слоя. Высокая температура продуктов горения требует применения специализированных вентиляторов в огнестойком исполнении, способных работать при четырехстах градусах в течение двух часов. Кроме того, необходимо учитывать эффект компенсации удаляемого объема воздуха. При отсутствии организованного притока наружного воздуха в нижнюю зону помещения в машзале создается разрежение, которое препятствует открытию эвакуационных дверей и снижает эффективность дымососов. Оптимальным решением является использование автоматизированных систем, которые синхронно открывают приточные клапаны и включают вытяжные агрегаты при срабатывании извещателей.

Профилактика и современные методы пожаротушения

Минимизация пожарных рисков на объектах энергетики требует перехода к использованию менее пожароопасных материалов. В последние годы в мировой практике наблюдается тенденция замены минеральных трансформаторных масел на синтетические эфиры или силиконовые жидкости, обладающие значительно более высокими температурами вспышки и самовоспламенения [5]. Несмотря на их более высокую стоимость, применение таких диэлектриков оправдано на наиболее ответственных узлах, расположенных внутри помещений.

Автоматические системы пожаротушения на ГЭС должны строиться по принципу эшелонированной защиты. Для трансформаторов и маслохозяйств наиболее эффективными остаются системы водяного тушения тонкораспыленной водой или дренчерные завесы, обеспечивающие быстрое охлаждение оборудования. В кабельных тоннелях и щитовых отделениях приоритет отдается газовым системам (хладоны, инертные газы), которые позволяют ликвидировать возгорание без повреждения чувствительной электроники. Инновационным направлением является внедрение систем мониторинга с использованием тепловизионных камер и оптоволоконных датчиков температуры, способных обнаружить перегрев контактов или кабелей на ранней стадии, задолго до появления открытого пламени.

Заключение

Проблема пожарной безопасности гидроэлектростанций является многогранной задачей, требующей интеграции знаний в области электротехники, химии полимеров, строительной механики и аэродинамики. Стратегическая значимость энергетических объектов в сочетании с большим количеством легковоспламеняющихся веществ требует непрерывного улучшения противопожарных систем – к такому выводу приводит детальное изучение данной проблематики. С экономической и социальной точки зрения целесообразность укрепления мер пожарной защиты в энергетике не вызывает сомнений: расходы на поддержание современных защитных систем в рабочем состоянии несопоставимо меньше тех средств, которые потребуются для устранения последствий даже небольшой аварии. Приоритетными векторами в данной сфере следует считать переход на негорючие диэлектрические материалы, внедрение автоматизированного контроля за тепловым состоянием оборудования, а также использование передовых математических инструментов при разработке систем дымоотведения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пожарная безопасность объектов энергетики // CORE. – 2017. [Электронный ресурс].
2. Защита трансформаторных подстанций от пожара. Масляный силовой трансформатор: технологии и установки пожаротушения // ПОЖНЕФТЕХИМ. – 2020. [Электронный ресурс].
3. Fire Resistant Transformer Oil Primer // Soltex, Inc. – 2024. [Электронный ресурс].
4. Abdelmelek N., Lublóy É. Effects of Elevated Temperatures on the Properties of Heavy-Weight Concrete Used for Nuclear Buildings // BME OMIKK Repozitorium. – 2021.
5. XIAMETER™ 561 Silicone Transformer Liquid Technical Guide // Dow. – 2023. [Электронный ресурс].

THE RELEVANCE OF FIRE SAFETY PROBLEM AT HYDROELECTRIC POWER PLANTS AND ENERGY FACILITIES

Cheredov Aleksey Ruslanovich

Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marx Ave., Novosibirsk,
630073, Russia

Cheredov A. R., email: cheredov.aleksey01@gmail.com

Abstract: The methodology of non-destructive testing of massive reinforced concrete structures and the physical processes of their thermal exposure are discussed in detail in the presented study. Strategically important hydropower facilities are examined through the prism of risks arising from the operation of large-scale oil-filled equipment, and the national energy system serves as a key context for assessing the consequences of potential incidents. The Novosibirsk Hydroelectric Power Plant served as a basis for studying the operational and tactical characteristics of production zones, while fire safety issues form the central problematic of the entire scientific work. The application of advanced dielectric materials and fire-retardant coatings to reduce the risk of the occurrence and development of technogenic fires receives detailed theoretical justification in the paper. A special section of the study is devoted to the mathematical calculation of the characteristics of smoke exhaust installations and automated fire alarm systems. The proposed comprehensive approach significantly increases the reliability level of energy facilities and minimizes the probability of a cascading development of emergency situations that threaten both personnel and the environment.

Keywords: fire safety, hydroelectric power plant, energy facility, transformer oil, smoke ventilation, high-voltage equipment, fire resistance of structures, technological risk.

ВЛИЯНИЕ ВОДОПОДГОТОВКИ НА ОТЛОЖЕНИЯ НАРУЖНЫХ И ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА ПАРОВОГО КОТЛА

Чумакова Анна Васильевна, магистрант; Гуськов Анатолий Васильевич, д.т.н., доцент

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

Чумакова А.В., e-mail a.chumakova.2020@stud.nstu.ru

Гуськов А.В., e-mail a.guskov@corp.nstu.ru

Адрес для корреспонденции: **Чумакова Анна Васильевна**,
Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (914)872-01-35

Аннотация: В данной статье анализируется важнейшая роль качества подготовки воды в обеспечении надежности и долговечности паровых котлов. Исследование основано на анализе физико-химических характеристик природной воды и её примесей, что позволяет прояснить механизмы образования накипи на внутренних поверхностях нагрева и развития коррозионных процессов как изнутри, так и снаружи труб. Рассмотрены актуальные методы водоочистки: механическая фильтрация, ионный обмен (умягчение), мембранные технологии (обратный осмос) и термическая деаэрация. Особое внимание уделяется последствиям недостаточной или отсутствующей водоподготовки, таким как перегрев металла, снижение КПД, коррозионное растрескивание и аварийные остановки.

Ключевые слова: Паровой котел, водоподготовка, накипеобразование, коррозия, жесткость воды, поверхности нагрева, катионирование, обратный осмос, деаэрация, теплопередача.

Введение

Стабильное и безопасное функционирование паровых котлов напрямую зависит от состояния их теплообменных элементов. В процессе эксплуатации трубный материал подвергается комплексному воздействию: с одной стороны, высоким температурам и давлению, а с другой – химически агрессивной среде. Эффективная работа котла обеспечивается при отсутствии внутренних отложений на его нагревательных поверхностях, а также при минимизации коррозии металла. Эти задачи достигаются путем организации оптимального водного режима, который включает в себя соответствующую подготовку питательной и подпиточной воды, а также ее обработку непосредственно в котле.

Свойства и особенности природной воды

Природная вода в своем составе содержит:

- твердые частицы, такие как песок, глина и растительные остатки;
- различные соли, щелочи и кислоты;

- разнообразные газы.

Эти вещества попадают в воду на всех этапах ее природного круговорота. Содержание и тип примесей в природной воде варьируются в зависимости от времени года. Весной преобладают механические загрязнения, летом же увеличивается концентрация солей. Сырая вода, поступающая в котлы, включает механические частицы, растворенные соли (в частности, соединения кальция и магния, определяющие жесткость), а также агрессивные газы. Среди ключевых параметров, характеризующих качество воды, выделяют общее солесодержание, растворимость солей, жесткость, содержание газов, кислотность, щелочность и прочие.

Без предварительной очистки эти компоненты становятся причиной двух взаимосвязанных проблем: образования трудноустраняемых отложений (накипи) и развития коррозионных процессов. Влияние водоподготовки на состояние теплообменных поверхностей следует рассматривать через призму двух основных явлений: формирования накипи и коррозии. Каждый этап водоочистки направлен на нейтрализацию специфических факторов, провоцирующих эти проблемы.

Примеси и их эффект на работу котла

Вода, не прошедшая предварительную обработку, непригодна для использования в паровых и водогрейных котлах. Наличие примесей в питательной воде приводит к явлениям, осложняющим работу котла:

- механические примеси могут оседать в трубах нагревательных поверхностей в виде осадка и грязи, вызывая перегрев и засорение труб;
- химические примеси в процессе эксплуатации котла образуют на внутренних стенках слой накипи, который проводит тепло в 80–700 раз хуже стали. Это снижает эффективность теплообмена, приводит к перерасходу топлива на 5–8%, а слой накипи толщиной около 1 мм вызывает существенное повышение температуры внешней стенки трубы, что чревато перегревом и разрывом труб;
- растворенные в воде газы (O_2 , CO_2) инициируют коррозию внутренних теплообменных поверхностей, причем интенсивность коррозии возрастает с увеличением давления и температуры.

Обработка питательной воды для котельных установок

В процессе химической водоподготовки вода проходит поэтапную обработку в различных устройствах, включающую следующие стадии:

- осветление — отстаивание и фильтрация для избавления от механических частиц и органических включений.
- умягчение — устранение солей жесткости (кальция и магния) с их замещением на хорошо растворимые соединения натрия.
- деаэрация (дегазация) — нагрев воды (например, в деаэраторах) для выведения растворенных газов.

Состав оборудования для водоподготовки определяется проектной документацией, базируясь на технических требованиях, изложенных в паспорте котла и руководстве по эксплуатации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кручко, А. И. В помощь специалистам, ответственным за безопасную эксплуатацию котельных с установленными в них паровыми котлами с давлением пара не более 0,07 МПа водогрейными котлами с температурой нагрева воды не выше 115 °С. практ. Пособие : учебное пособие / А. И. Кручко, Д. И. Крицкий. — Минск : ГИПК «ГАЗ-ИНСТИТУТ, 2024. — 104 с. — ISBN 978-985-7284-15-3.

2. Володин, г. И. Оператор котельной : учебное пособие для спо / г. И. Володин. — 6-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2026. — 252 с. — isbn 978-5-507-54582-7.

3. Кулагина, т. А. Технологические процессы и загрязняющие выбросы : учебное пособие / т. А. Кулагина, и. В. Андруняк. — Красноярск : сфу, 2019. — 206 с. — isbn 978-5-7638-4024-7. — текст : электронный // лань : электронно-библиотечная система. — url: <https://e.lanbook.com/book/157562> (дата обращения: 16.03.2026). — режим доступа: для авториз. Пользователей.

INFLUENCE OF WATER TREATMENT ON DEPOSITS ON EXTERNAL AND INTERNAL HEATING SURFACES OF A STEAM BOILER

***Chumakova Anna Vasilievna, Master's student; Guskov Anatoly Vasilievich,
Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor***

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20
Karl Marx Ave, tel. (914)872-01-35

Chumakova A.V., e-mail a.chumakova.2020@stud.nstu.ru

Guskov A.V., e-mail a.guskov@corp.nstu.ru

Address for correspondence: **Anna Vasilievna Chumakova**, Novosibirsk
State Technical University, Novosibirsk, 20 Karl Marx Ave., Novosibirsk,
630073, Russia, Tel. (914)872-01-35.

Abstract: This article analyzes the critical role of water treatment quality in ensuring the reliability and longevity of steam boilers. The study is based on an analysis of the physicochemical characteristics of natural water and its impurities, which helps elucidate the mechanisms of scale formation on internal heating surfaces and the development of corrosion processes both inside and outside the pipes. Current water treatment methods are considered: mechanical filtration, ion exchange (softening), membrane technologies (reverse osmosis), and thermal deaeration. Particular attention is paid to the consequences of inadequate or absent water treatment, such as metal overheating, reduced efficiency, stress corrosion cracking, and emergency shutdowns.

Keywords: Steam boiler, water treatment, scale formation, corrosion, water hardness, heating surfaces, cation exchange, reverse osmosis, deaeration, heat transfer.

**АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ТРУДА СЛЕСАРЯ ПО РЕМОНТУ
КОТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ООО
«ТЕПЛОЭНЕРГОРЕМОНТ», Г. ПРОКОПЬЕВСК)**

Шакирова Лилия Рашитовна, Ломан Валентин Алексеевич

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г.

Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

Шакирова Л.Р., e-mail shakirova.2004@internet.ru

Ломан В.А., e-mail loman@corp.nstu.ru

Аннотация: В статье представлены результаты специальной оценки условий труда слесарей по ремонту котельного оборудования на примере ООО «Теплоэнергоремонт» (г. Прокопьевск, Кемеровская область). Выполнен хронометраж рабочего дня, проведены измерения параметров микроклимата и уровня шума в котельных №5 и №66. Установлено, что итоговый класс условий труда по тяжести трудового процесса и шуму соответствует классу 3.2 (вредный второй степени), а микроклимат является допустимым (класс 2). Результаты исследования совпадают с данными специальной оценки условий труда, предоставленными предприятием. Предложены мероприятия по улучшению условий труда.

Ключевые слова: условия труда, специальная оценка условий труда, слесарь по ремонту котельного оборудования, тяжесть трудового процесса, шум, микроклимат, котельная.

Введение

Современное развитие цивилизации предъявляет высокие требования к системам теплоснабжения, где ключевую роль играют котельные установки. Котельная – сложная технологическая система, преобразующая химическую энергию топлива в тепловую. Различают индивидуальные, многоквартирные и квартальные котельные. Для районной котельной, обеспечивающей теплом жилой массив, бесперебойность работы оборудования является критическим фактором, поскольку для жителей важны безопасность и стабильность теплоснабжения. Поэтому особое значение приобретает наличие квалифицированного персонала, особенно слесарей по ремонту котельного оборудования.

Федеральный закон № 426 – ФЗ «О специальной оценки условий труда» [1] обязывает работодателя проводить оценку условий труда на каждом рабочем месте. По причине своей трудовой деятельности слесарь по ремонту котельного оборудования непроизвольно подвергается воздействию сразу нескольких опасных и производственных факторов. Самое сильное воздействие оказывает влияние шума и тяжесть трудового процесса.

Цель исследования: Анализ условий труда слесаря по ремонту котельного оборудования на предприятии ООО «ТЭР», сравнить результаты анализа с результатами специальной оценки условий труда (СОУТ), предоставленными предприятием, предложить мероприятия по улучшению условий труда.

Материалы и методы

Объект исследования – ООО «Теплоэнергоремонт» г. Прокопьевск, Кемеровская область, осуществляющее с 2019 выработку и транспортировку тепла. На балансе предприятия – 28 котельных, 9 ЦПТ, 473 км теплосетей. Отопление от котельных получают 108845 человек. Подробно рассмотрен цех №8 (Котельные №5 и №66), отапливающий 165 жилых домов и 63 учреждения. На каждой котельной работают по 4 дежурных слесаря, их задача – контроль параметров, предотвращение сбоев, устранение неисправностей для обеспечения бесперебойной работы оборудования, и участие в ликвидации аварий.

В соответствии с приказом Минтруда РФ №817н [2], тяжесть трудового процесса оценивалась по хронометражному наблюдению (таблица №1), где зафиксированы все операции, выполняемые слесарем за рабочую смену, продолжительность, масса перемещаемых грузов, расстояния, количество наклонов. Опираясь на приказ [2], оценивались и микроклиматические условия, измерения (таблица №2) которых проводились с помощью прибора «Метеоскоп-М+»,

Замеры уровня шума проводились в котельных, насосных залах и слесарных мастерских – помещения, где слесарь наибольшую часть рабочего времени. Для проведения замеров использовался импульсный шумомер «МЕГИОН 92135», расчет эквивалентного уровня звука ведется по методике МИ Ш.ИНТ – 02.01-2018 «Эквивалентный уровень звука. Методика измерений эквивалентного уровня звука (параметров шума) для целей специальной оценки условий труда» [3].

Результаты и обсуждения

Таблица 1

Результаты расчета показателей тяжести трудового процесса

Показатель тяжести	Результаты расчета	Приложение 13 Методики 817N	Класс условий труда
1. Динамическая нагрузка, более 5 м	12239	Не более 24000	1
2. Масса поднимаемого и перемещаемого груза, кг			
2.1 Суммарная масса за каждый час смены (с пола)	22	Не более 100	1
2.2 При чередовании с другой работой	40	Более 35	3.2
3. Стереотипные рабочие движения	3566	Не более 10000	1
4. Статическая нагрузка (2 руками)	106210	Не более 140000	3.1
5. Рабочая поза	Стоя до 60%, неудобная поза до 30%	Периодическое, до 25% времени смены, нахождение в неудобном и (или)	3.1

		фиксированном положении. Нахождение в положении "стоя" до 60% времени рабочего дня (смены).	
6. Наклоны корпуса	До 100	51-100	2
7. Перемещение в пространстве	До 3 км	До 4 км	1
Итоговый класс условий труда			3.2

По результатам СОУТ, представленными предприятием и результатам расчета, класс условий труда совпадают – 3.2.

Таблица 2

Результаты измерений параметров микроклимата

	Котельная № 66			Котельная № 5		
	Насосный зал	Котельный зал	Слесарная мастерская	Насосный зал	Котельный зал	Слесарная мастерская
Температура, °С	26,0	24,1	24,9	26,5	28,9	27,5
Относительная влажность, %	41	38	40	39	39	40
Скорость движения воздуха, м/с	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03
ТНС-индекс	20,4	16,9	18,7	19,5	22,1	20,8

Итоговый класс условий труда по результатам измерений параметров микроклимата на рабочем месте слесаря в котельной №5 и №66 является 2 – допустимым. Сравнивая результаты измерений с результатами СОУТ ООО «ТЭР», где микроклимат в котельных имеет класс условий труда допустимый, наблюдения совпали.

Таблица 3

Результаты измерений и расчета шума

Операция	Котельная №66	Котельная №5
Эквивалентный уровень шума за смену (12ч), дБА	92,7	94,8
Норматив ПДУ, дБА	80	80
Превышение, дБА	12,7	14,8
Класс условий труда	3.2	3.2

Согласно результатам измерений, фактический уровень шума на рабочих местах слесарей Котельной № 66 и Котельной №5 ниже норматива, указанного в приложении 4 Приказа Минтруда №817н [2] , на 2,6 дБА и 0,2 дБА, данное отклонение позволяет отнести условия труда по фактору шума к классу 3.2 – вредные условия. В результатах СОУТ ООО «ТЭР» эквивалентный уровень шума равен 80 дБА, класс условий труда – 3.2, различий не выявлено.

Рекомендации по улучшению условий труда

1. Применение средств индивидуальной защиты (противошумные наушники)
2. Установка шумопоглощающих экранов в насосных залах и слесарных мастерских

3. Введение дополнительных регламентированных перерывов для снижения статической нагрузки
4. Проведение повторных замеров шума после внедрения мероприятий

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Федеральный закон от 28.12.2013 № 426-ФЗ (ред. от 24.07.2023) «О специальной оценке условий труда» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_156555/ - Загл. с экрана.
2. Приказ Минтруда России от 21.11.2023 N 817н «Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению». [Электронный ресурс] URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_463282/ - Загл. с экрана.
3. МИ Ш.ИИТ-02.01-2018 «Эквивалентный уровень звука. Методика измерений эквивалентного уровня звука (параметров шума) для целей специальной оценки условий труда». [Электронный ресурс] URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293731/4293731361.pdf>

ANALYSIS OF WORKING CONDITIONS OF A BOILER EQUIPMENT REPAIR FITTER (CASE STUDY OF TEPLOENERGOREMONT LLC, PROKOPYEVSK)

Shakirova Liliya Rashitovna, Loman Valentin Alekseevich

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Karl Marx Ave., tel. +7 (383) 346-17-88

Shakirova L.R., e-mail shakirova.2004@internet.ru

Loman V.A., e-mail loman@corp.nstu.ru

Abstract: The article presents the results of a special assessment of working conditions for boiler equipment repair fitters at Teploenergoremont LLC (Prokopyevsk, Kemerovo region). A time study of the working day was carried out, and microclimate parameters and noise levels were measured in boiler houses No. 5 and No. 66. It was found that the final class of working conditions for the severity of the labor process and noise corresponds to class 3.2 (hazardous, second degree), while the microclimate is acceptable (class 2). The research results coincide with the SAWC data provided by the enterprise. Measures to improve working conditions are proposed.

Keywords: working conditions, special assessment of working conditions, boiler equipment repair fitter, severity of labor process, noise, microclimate, boiler house

УДК 504.05

**ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОЛИГОНА ЗАХОРОНЕНИЯ ОПАСНЫХ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ**

*Безрукова Дарья Алексеевна, студент; Немущенко Дмитрий
Андреевич, старший преподаватель*

Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

Безрукова Д.А., e-mail: bobababa80@gmail.com

Немущенко Д.А., e-mail: nemuschenko@corp.nstu.ru

Адрес для корреспонденции: Немущенко Дмитрий Андреевич,
Новосибирский государственный технический университет, кафедра ИПЭ.
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20.

Аннотация: Рассмотрены основные источники загрязнения атмосферы при строительстве полигонов захоронения опасных отходов, проанализированы нормативно-правовая база и существующие методики оценки воздействия на атмосферный воздух. Определена технологическая последовательность строительства, включающая подготовительный этап, основной период, земляные и бетонные работы.

Ключевые слова: атмосферный воздух, полигон захоронения отходов, опасные промышленные отходы, оценка воздействия на окружающую среду, рассеивание примесей.

В связи с ускоряющейся урбанизацией и увеличением объёмов накопления опасных промышленных отходов, создание и эксплуатация полигонов для их захоронения выступают в качестве вынужденного, но неотъемлемого звена инфраструктуры обращения с отходами. В то же время такие объекты служат мощными источниками загрязнения окружающей среды, в особенности атмосферы. Основное воздействие на атмосферный воздух приходится на период строительства. На этапе строительства доминирующими и наиболее опасными факторами являются выбросы от двигателей строительной техники (NO_x , CO, сажа, бензапирен) и интенсивное пылеобразование. Работа бульдозеров, экскаваторов и самосвалов сопровождается поступлением в приземный слой атмосферы мелкодисперсной пыли (PM_{2.5}, PM₁₀), которая способна адсорбировать токсичные компоненты грунта и переноситься на жилую застройку. Эти выбросы негативно сказываются на качестве воздуха, здоровье местного населения и экосистемах близлежащих территорий. Поэтому оценки выбросов от строительной техники и пыли, а также обоснование эффективных

пылеподавляющих мероприятий является актуальной практической задачей [1, 2].

Целью работы является проведение оценки воздействия на атмосферный воздух при строительстве и эксплуатации полигона промышленных отходов и разработка рекомендаций по минимизации негативных последствий.

Нормативно-методическая база для оценки воздействия дорожно-строительных машин на атмосферный воздух включает два основных документа:

1) «Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчётов загрязнения атмосферного воздуха». Документ устанавливает алгоритм пересчета параметров транспортного потока (интенсивность, состав, скорость) в массовые выбросы. Методика обязательна при разработке нормативов допустимых выбросов для городов. Она использует усредненные удельные показатели для разных категорий транспорта (легковые, грузовые, автобусы) с учётом типа двигателя, экологического класса и условий движения [3].

2) Расчётные инструкции (методики) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ автотранспортными средствами и дорожно-строительными машинами в атмосферный воздух. Документ регламентирует расчёт выбросов от эксплуатируемых машин на основе категории техники, типа и расхода топлива, времени работы в различных режимах (холостой ход, нагрузка) и экологического класса двигателя [4].

Для оценки воздействия на атмосферный воздух была определена технологическая последовательность строительства полигона промышленных отходов. Весь процесс разделен на четыре этапа: подготовительный, основной период, земляные и бетонные работы.

На подготовительном этапе выполняются расчистка и планировка территории, устройство подъездных путей и временных бытовых помещений. Основной период включает возведение всех запланированных объектов. Земляные и бетонные работы проводятся на каждом из них, но с разной степенью участия.

Всего на площадке строятся шесть объектов. Для трёх ангаров, административного здания и очистных сооружений предусмотрен полный цикл: земляные работы (разработка котлованов, планировка оснований), бетонные работы (устройство фундаментов, заливка полов) и устройство временных дорог укладкой железобетонных плит. Для парковки выполняются только земляные работы – планировка и уплотнение грунта без последующего асфальтирования. Для гаража и сторожевого поста проводятся земляные и бетонные работы. Описание технологического процесса позволяет для каждого этапа и каждого объекта идентифицировать конкретные источники загрязнения: выбросы от работающей строительной техники (бульдозеров, экскаваторов, самосвалов, катков) и интенсивное пыление при перемещении грунта и сыпучих материалов.

Дальнейшее исследование предполагает расчёт машино-часов работы строительной техники, расчёт валовых и максимальных разовых выбросов по двум нормативным методикам (сводных расчётов и инвентаризации). Кроме

этого моделирование рассеивания загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы с помощью программного комплекса «ЭРА», сравнение прогнозных концентраций с ПДК, установление размеров санитарно-защитной зоны, разработку на этой основе рекомендаций по снижению воздействия на атмосферный воздух при строительстве полигона.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Fan W, Jiang W, Chen J, Yang F, Qian J, Ye H. Exhaust emission inventory of typical construction machinery and its contribution to atmospheric pollutants in Chengdu, China // J. Environ. Sci. (China). – 2023. – № 125. – P. 761-773. – doi: 10.1016/j.jes.2022.02.018.

2. Мухаметшина Р.М., Падемирова Р.М. Оценка экологического ущерба от загрязнения атмосферы вредными выбросами при использовании дорожно-строительных машин // Технические науки. – 2015. – № 8-2(17). – С. 102-103.

3. Приказ Минприроды России от 27.11.2019 № 804 "Об утверждении методики определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха" [Электронный ресурс] // Зарегистрирован в минюсте 24.12.2019 № 56957. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201912260052?ysclid=mp9yua dq8g480390447>

4. Методика Минтранса России "Расчетная инструкция (методика) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ автотранспортными средствами в атмосферный воздух" от 07.12.2006 [Электронный ресурс] // утвержд. 17-11-2006. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293832/4293832725.pdf?ysclid=mp9z1chtx8972537641>

ASSESSMENT OF ATMOSPHERIC AIR IMPACT DURING THE CONSTRUCTION OF A POLYGENE DUMP FOR HAZARDOUS INDUSTRIAL WASTE

Bezrukova Daria Alekseevna, student;

Nemuschenko Dmitry Andreevich, senior lecturer

Novosibirsk state technical university, 630073, Russia, Novosibirsk, pr. K. Marks, 20

Bezrukova D.A., e-mail: bobababa80@gmail.com

Nemuschenko D.A., e-mail: nemuschenko@corp.nstu.ru

Address for correspondence: Nemuschenko Dmitry Andreevich,

Novosibirsk state technical university.

630073, Russia, Novosibirsk, pr. K. Marks, 20.

Annotation: In the theoretical part of the work, the main sources of atmospheric pollution during the construction of landfills are considered, the regulatory and legal framework and existing methods for assessing the impact on atmospheric air are

analyzed. The technological sequence of construction is determined, including the preparatory stage, the main period, and earthworks and concrete works.

Keywords: atmospheric air, waste landfill, hazardous industrial waste, environmental impact assessment, dispersion of impurities.

УДК 547.9:579.66:663.1

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОМАССЫ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ РОДА *CHLORELLA* ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ

*Беляева Александра Олеговна*¹, магистрант; *Болтенков Вадим Владимирович*², н.с.; *Громов Николай Владимирович*^{1,2}, к.х.н., в.н.с.

¹ Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

² Институт катализа им. Борескова СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр.
Академика Лаврентьева, 5

Громов Н.В., e-mail: gromov@catalysis.ru

Болтенков В.В., e-mail: vadim_boltenkov@catalysis.ru

Адрес для корреспонденции: Громов Николай Владимирович,
Новосибирский государственный технический университет,
кафедра инженерных проблем экологии (ИПЭ).
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20.

Аннотация: В работе рассмотрены перспективы использования микроводорослей для получения ценных компонентов: крахмала, белков, липидов. Проведено исследование параметров прироста биомассы и её состав для 15 штаммов микроводорослей. Наибольшую антиоксидантную активность продемонстрировал экстракт из штамма *Parachlorella kessleri* IC-11, в составе биомассы которого было идентифицировано 47 метаболитов, относящихся к классам углеводов, аминокислот, органических кислот, липидов и других соединений, в том числе, обладающих доказанной антиоксидантной активностью.

Ключевые слова: крахмал, микроводоросли, липиды, антиоксидантная активность.

1. Введение

Микроводоросли известны своим богатым питательным составом и биологически активными соединениями, включая белки, полисахариды, липиды, полиненасыщенные жирные кислоты, витамины, пигменты и ферменты. [1]. Микроводоросли являются экологичным источником сырья для производства биоразлагаемого термопластичного крахмала [2]. Предварительные

исследования демонстрируют, что крахмал из микроводорослей способен заменить традиционные источники в биотехнологической промышленности, возможно, с меньшим негативным влиянием на окружающую среду [3]. К другим преимуществам микроводорослей относятся их видовое разнообразие, способность использовать недорогие питательные вещества для роста, отсутствие конкуренции за землю с сельскохозяйственными культурами [4].

Одним из наиболее важных направлений использования микроводорослей является получение липидов, сырья для получения топлив, в частности биодизеля и авиационного керосина. Урожайность липидов для микроводорослей достигает 50 г/м² [2]. Процессы синтеза липидов микроводорослями сильно зависят от стрессовых факторов. Ключевыми из них являются дефицит азота и фосфора. Также существенное влияние оказывают высокая соленость среды, температура и изменения режима и интенсивности освещения. Выделенные липиды в дальнейшем могут быть переработаны каталитическими методами переэтерификации, с получением глицерина и эфиров жирных кислот (биодизель) [5, 6], и деоксигенации /крекинга/ изомеризации с получением набора углеводородов керосинового ряда [7].

Следующими важными продуктами, источником которых могут стать микроводоросли, являются углеводы, в том числе и крахмал. Хотя крахмал составляет треть рациона человека, значительная часть (около трети мирового производства) используется в непродовольственных отраслях, например, для производства биоразлагаемых каучуков и пластмасс [8]. Помимо получения новых материалов, углеводы могут стать источником высококачественного авиационного топлива, при реализации процесса STO (sugar-to-olefins). На первом этапе данного процесса сахара ферментируют до спиртов [7].

Микроводоросли вызывают все больший интерес в косметической индустрии благодаря высокому содержанию антиоксидантов, витаминов и полиненасыщенных жирных кислот, которые обладают антивозрастным, противовоспалительным и фотозащитным действием. Рекомбинантные белки из микроводорослей используются в фармацевтике, питании и кормовой промышленности. Микроводоросли также незаменимы в биохимических исследованиях для изучения метаболических путей [9, 10]. В последнее время микроводоросли используются в качестве ингредиента при разработке пищевых продуктов, полезных для здоровья, таких как биологически активные добавки. Кроме того, белковые добавки из микроводорослей могут быть особенно полезны для пожилых людей и тех, кто регулярно занимается спортом, так как способствует восстановлению мышц, поддерживает иммунную функцию и оказывает потенциальное нейропротекторное действие [1].

Использование микроорганизмов, включая микроводоросли, для производства ценных продуктов и биотоплива рассматривается как важное направление на пути к достижению углеродной нейтральности экономики к 2050 году. Благодаря использованию методов экстракции и принципов экономики замкнутого цикла продукты на основе микроводорослей могут удовлетворить

растущий потребительский спрос на экологически чистую продукцию, способствуя при этом устойчивому развитию [5].

2. Методика исследования

В работе были исследованы 15 штаммов микроводорослей: *Scenedesmus obliquus* (VCA-64), *Scotiellopsis terrestris* (VCA-78), *Micractinium thermotolerans* (VCA-93), *Coccomyxa subellipsoidea* (VCA-107), *Chromochloris zofingiensis* (VCA-139), *Elliptocchloris cf. subsphaerica* (VCA-193), *Parachlorella kessleri* (IPPAS C-9, IPPAS C-15, IC-11), *Neochloris aquatic* (A1136), *Chlorella vulgaris* Beijer (IPPAS 36, IPPAS 98, IC-35, IC-98, IC-102).

Определение содержания углеводов в биомассе микроводорослей проводили спектрофотометрическим методом в окрашенном комплексе экстрагированных сахаров с раствором антрацена (9,10-дигидро-9-оксоантрацен) [11]. Содержание белков в биомассе микроводорослей определяли по методу Бредфорда, описанному в [12]. Определение содержания липидов в сухой биомассе микроводорослей проводили гравиметрическим методом. Из биомассы микроводорослей липиды экстрагировали смесью хлороформ/метанол (2:1 об.%/об.%).

Для всех штаммов микроводорослей была определена антиоксидантная активность их водно-метанольного экстракта по взаимодействию с DPPH (2,2'-дифенил-1-пикрилгидразил), согласно методике, адаптированной из [13]. Антиоксидантную активность оценивали по показателю $IC_{50\text{сух}}$, т.е. концентрации полумаксимального подавления DPPH, рассчитанной на сухую массу образца микроводорослей (сколько необходимо взять сухой биомассы чтобы на 50 % обесцветить раствор DPPH, формула 1).

$IC_{50\text{сух}}$ [мг_{сух}/мл_{DPPH}] (концентрация полумаксимального подавления, рассчитанная на сухую массу образца микроводорослей):

$$IC_{50\text{сух}} = \frac{C_{\text{обр.}} \times V_{\text{обр.}}}{V_{\text{DPPH}}} \quad (1)$$

где: $C_{\text{обр.}}$ – отношение навески образца биомассы исследуемой микроводоросли к экстрагенту.

$V_{\text{обр.}}$ – объем экстракта биомассы микроводорослей, необходимый для 50% снижения поглощения раствора DPPH ($DPPH_{\%}=50\%$).

V_{DPPH} – объем раствора DPPH

Методика изучения внутриклеточных метаболитов была основана на извлечении метаболитов из биомассы микроводорослей и определении их качественного и количественного состава методом ГХ-МС.

3. Результаты и обсуждение

Установлено, что наибольшей продуктивностью по биомассе обладал штамм *Chlorella vulgaris*. IPPAS-98. Содержание углеводов варьировалось в диапазоне 13,2-21,6 масс.%. Наибольшее содержание углеводов обнаружено в составе биомассы штаммов *Parachlorella kessleri* IPPAS C-15 ($21,4 \pm 1,6$ масс.%) и IC-11 ($21,6 \pm 1,3$ масс.%).

Наибольшее содержание белков в составе биомассы продемонстрировали штаммы *Chlorella vulgaris* Beij. IC-35 ($41,7 \pm 3,1$ масс.%) и IC-98 ($41,3 \pm 3,5$ масс.%).

Наибольшее содержание липидов в составе биомассы продемонстрировали штаммы *Chlorella vulgaris* Beij. IPPAS-36 ($46,5 \pm 4,0$ масс.%) и *Coccomyxa subellipsoidea* VCA-107 ($47,8 \pm 3,7$ масс.%).

Водно-метанольный экстракт, полученный из штамма *Parachlorella kessleri* IC-11, продемонстрировал наибольшую антиоксидантную активность ($IC_{50_{cyx}} = 1,51 \pm 0,09$ г/л). Сопоставимо высокой антиоксидантной активностью обладали штаммы *Coccomyxa subellipsoidea* VCA-107Ch ($IC_{50_{cyx}} = 1,59 \pm 0,09$ г/л) и *Parachlorella kessleri* IPPAS C-9 ($IC_{50_{cyx}} = 1,54 \pm 0,02$ г/л) и IPPAS C-15 ($IC_{50_{cyx}} = 1,62 \pm 0,07$ г/л).

4. Выводы

В работе были определены параметры культивирования и объёмы накопления целевых продуктов для 15 штаммов микроводорослей. Установлено, что наибольшей продуктивностью по биомассе обладал штамм *Chlorella vulgaris*. IPPAS-98. Наибольшее содержание углеводов обнаружено в составе биомассы штаммов *Parachlorella kessleri* IPPAS C-15 ($21,4 \pm 1,6$ масс.%) и IC-11 ($21,6 \pm 1,3$ масс.%). Наибольшее содержание белков в составе биомассы продемонстрировали штаммы *Chlorella vulgaris* Beij. IC-35 ($41,7 \pm 3,1$ масс.%) и IC-98 ($41,3 \pm 3,5$ масс.%). Наибольшее содержание липидов в составе биомассы продемонстрировали штаммы *Chlorella vulgaris* Beij. IPPAS-36 ($46,5 \pm 4,0$ масс.%) и *Coccomyxa subellipsoidea* VCA-107 ($47,8 \pm 3,7$ масс.%).

Все штаммы анализировались на их антиоксидантную активность. Водно-метанольный экстракт, полученный из штамма *Parachlorella kessleri* IC-11, продемонстрировал наибольшую антиоксидантную активность ($IC_{50_{cyx}} = 1,51 \pm 0,09$ г/л). В составе биомассы данного штамма было идентифицировано 47 метаболитов, относящихся к классам углеводов, аминокислот, органических кислот, липидов и других соединений, в том числе, обладающих доказанной антиоксидантной активностью: фитол (246 мкг/л), неофитадиен (752 мкг/л), линолевая кислот (1043 мкг/л), линоленовая кислота (295 мкг/л), янтарная кислота (363 мкг/л), мио-инозитол (2918 мкг/л).

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РНФ № 25-23-20221

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. A Review of the Sustainability, Chemical Composition, Bioactive Compounds, Antioxidant and Antidiabetic Activity, Neuroprotective Properties, and Health Benefits of Microalgae / M. Dimopoulou, A. Kolonas, D. Stagos, O. Gortzi // Biomass. – 2025. – Vol. 5, N 11. – P. 1- 23. – doi: org/10.3390/biomass5010011
2. Microalgae—novel highly efficient starch producers / I. Brányiková, B. Maršáľková, J. Doucha, T. Brányik, K. Bišová, V. Zachleder, M. Vítová //

Biotechnology and Bioengineering. – 2010. - Vol. 108, N 4. – P. 766-776. – doi:org/10.1002/bit.23016.

3. Screening and optimization of starch from marine microalgae isolated from Penang sea water Malaysia / R. N. Ramli, U. Utra, S. Hena, C. K. Lee // Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. - 2023. - Vol. 51, N 1. – P. 102758. – doi: org/10.1016/j.bcab.2023.102758.

4. Comparative analysis of microalgae metabolism on BBM and municipal wastewater during salt induced lipid accumulation / Ksenia N. Sorokina, Yuliya V. Samoylova, V. N. Parmon // Bioresource Technology Reports. - 2020. - Vol. 11, N 1. – P. 100548. – doi: org/10.1016/j.biteb.2020.100548

5. N. Chinjoo. A. Golzary. Microalgae: revolutionizing skin repair and enhancement // Biotechnology Reports. – 2025. - Vol. 47 – P. e00911. – doi: org/10.1016/j.btre.2025.e00911

6. V.C. Akubude, K.N. Nwaigwe, E. Production of biodiesel from microalgae via nanocatalyzed transesterification process: A review // Materials Science for Energy Technologies. - 2019. - Vol. 2, N 2. – P. 216-225. – doi: org/10.1016/j.mset.2018.12.006

7. H. Lin, C. Ma, J. Liu. Preparation of Biojet Fuel: Recent Progress in the Hydrogenation of Microalgae Oil // Chemistry. - 2025. - Vol. 7, N 5. – P. 166. – doi: org/10.3390/chemistry7050166.

8. From raw microalgae to bioplastics: Conversion of *Chlorella vulgaris* starch granules into thermoplastic starch / A. Six, D. Dauvillée, C. Lancelon-Pin, A. Dimitriades Lemaire, A. Compadre, C. Dubreuil, P. Alvarez, J. F. Sassi, Y. Li-Beisson, J.-L. Putaux, N. Le Moigne, G. Fleury // Carbohydrate Polymers. – 2024. - Vol. 342, N 1. – P. 122342. - doi: org/10.1016/j.carbpol.2024.122342.

9. Chinjoo, A. Golzary. Microalgae: revolutionizing skin repair and enhancement // Biotechnology Reports. – Vol. 47. – 2025. – P. e00911. – doi: org/10.1016/j.btre.2025.e00911

10. L. Pereira, J. Cotas, A. Valado. Antioxidants from microalgae and their potential impact on human well-being // Exploration of Drug Science. – 2024. - Vol.2. – P. 292-321. - doi: org/10.37349/eds.2024.00048.

11. Direct Conversion of Microalgae Biomass to Formic Acid under an Air Atmosphere with Soluble and Solid Mo–V–P Heteropoly Acid Catalysts / Gromov N. V. · Medvedeva T. B. · Sorokina K. N. · Samoylova Y. V. // ACS Sustainable Chemistry & Engineering. – 2020. – DOI: 10.1021/acssuschemeng.0c06364

12. Antioxidant activity of *Haematococcus pluvialis* cells grown in continuous culture as a function of their carotenoid and fatty acid content / M. C. Cerón, M. C. García-Malea, J. Rivas, F. G. Acien, J. M. Fernandez, E. Del Río, M. G. Guerrero, E. Molina // Appl Microbiol Biotechnol. - 2007. - Vol. 74, N 5. – P. 1112-9. – doi: 10.1007/s00253-006-0743-5.

13. Rapid Screening of Microalgae as Potential Sources of Natural Antioxidants / N. Wang, H. Pei, W. Xiang, T. Li, S. Lin, J. Wu, Z. Chen, H. Wu, C. Li, H. Wu // Foods. – 2023. – Vol. 12. N. 14. – P. 2652. – doi: 10.3390/foods12142652.

PROSPECTS FOR USING BIOMASS OF MICROALGAE OF THE GENUS *Chlorella* TO OBTAIN VALUABLE COMPONENTS

Belyaeva Alexandra Olegovna¹, master's student; **Boltenkov Vadim Vladimirovich**²,
Gromov Nikolai Vladimirovich^{1,2}, Candidate of Chemical Sciences

¹Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marx Ave., 20.

²Institute of Catalysis named after Boreskova SB RAS, 5 Akademika Lavrentieva Ave., Novosibirsk, 630090, Russia

Gromov N.V., e-mail: gromov@catalysis.ru

Boltenkov V.V., e-mail: vadim_boltenkov@catalysis.ru

Address for correspondence: **Gromov Nikolai Vladimirovich**, Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marx Ave., Novosibirsk, 630073, Russia.

Annotation: In this work, the prospects of using microalgae for obtaining valuable components, such as starch, proteins, and lipids, were investigated. The parameters of biomass growth and its composition were studied for 15 microalgae strains. The extract from the *Parachlorella kessleri* IC-11 strain demonstrated the highest antioxidant activity, and 47 metabolites belonging to the classes of carbohydrates, amino acids, organic acids, lipids, and other compounds with proven antioxidant activity were identified in its biomass.

Keywords: Starch, microalgae, lipids, and antioxidant activity.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОПЫТНОЙ УСТАНОВКИ ОЧИСТКИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ УГОЛЬНОЙ КОТЕЛЬНОЙ ОТ ОКСИДОВ АЗОТА, СЕРЫ И УГЛЕРОДА

*Ворожбянский Константин Николаевич¹, студент; Немущенко
Дмитрий Андреевич¹, старший преподаватель; Стрижичковский
Александр Владиславович², ведущий инженер*

¹Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

²ООО «Завод вентиляционного оборудования «Альтерна»,
630032, г. Новосибирск, мкр. Горский, д. 64, офис 226

Ворожбянский К.Н., e-mail: vorozhbyanskiy.kostya@mail.ru

Немущенко Д.А., e-mail: nemuschenko@corp.nstu.ru

Стрижичковский А.В., e-mail: saw@zvo-alterna.ru

Адрес для корреспонденции: Немущенко Дмитрий Андреевич,
Новосибирский государственный технический университет, кафедра ИПЭ.
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20.

Аннотация: Работа посвящена исследованию режимов работы опытной установки мокрой очистки отходящих газов угольной котельной от оксидов азота (NO_x), серы (SO_2) и углерода (CO_2). Актуальность темы обусловлена необходимостью снижения негативного воздействия теплоэнергетики на окружающую среду и ужесточением нормативов предельно допустимых выбросов. Целью работы является экспериментальное определение эффективности применения установки мокрого пылеулавливания для удаления газообразных примесей. Разработанные рекомендации позволяют использовать установку оригинальной конструкции, в том числе, для абсорбции некоторых токсичных газов.

Ключевые слова: очистка отходящих газов; угольная котельная; оксиды азота; диоксид серы; оксид углерода; мокрое пылеулавливание; абсорбция; экологическая безопасность.

1. Введение

При работе угольной котельной в дымовых газах образуются оксиды азота (NO_x), диоксид серы (SO_2), оксид углерода (CO) и другие токсичные газы, требующие эффективной очистки [1, 2]. В качестве перспективного оборудования для решения этой задачи рассматривается абсорбер с пенным слоем – аппарат, в котором создается высокоразвитая поверхность контакта между газом и жидкостью, что значительно интенсифицирует массообменные процессы.

2. Цель и задачи

Целью данной работы является определение эффективности работы полномасштабной опытной установки мокрого пылеулавливания по очистке от токсичных газов – оксидов азота, серы и углерода. Опытная установка представляет собой мультивихревой гидрофильтр (МВГ) производства «Завод вентиляционного оборудования «Альтерна», г. Новосибирск (рис. 1). МВГ предназначен для высокоэффективной очистки «мокрым» способом загрязненного воздуха от механических примесей, пыли, аэрозолей, паров и газовых примесей в составе локальных фильтровентиляционных систем, оснащенных дополнительно вентилятором, устройствами отбора загрязненного воздуха, подводящей и отводящей вентиляционной магистралями, системой подачи и отвода орошающей жидкости. Высокоэффективная очистка загрязненного воздуха от примесей происходит в результате его глубокого смешивания с орошающей жидкостью (промывкой), с последующим полным отделением капельной влаги из очищенного воздуха.

Основой МВГ является диспергирующая решетка особой конструкции. Загрязненный воздух проходит сквозь диспергирующую решетку снизу вверх, а орошающая жидкость свободным истечением подается на нее сверху. В результате их смешивания формируется турбулентный дисперсный газожидкостный («кипящий») слой, обеспечивающий высокоэффективную промывку воздуха за счет интенсивного смачивания пылевых частиц и/или растворения в орошающей жидкости газовых примесей.

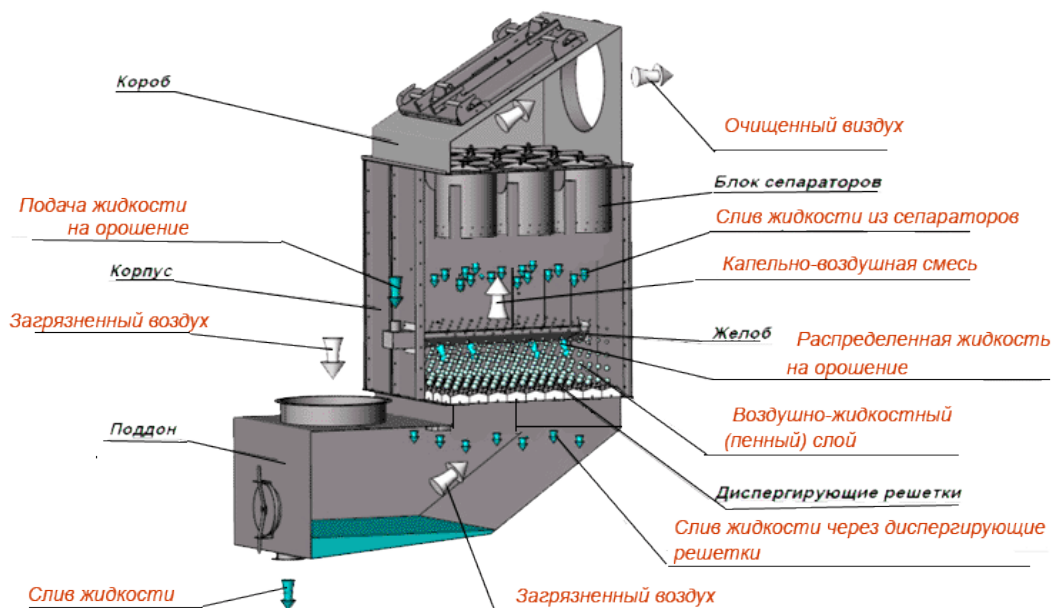


Рис. 8. Схема пылеуловителя МВГ

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- провести обзор инструментальных методов анализа концентраций газообразных веществ в потоке дымовых газов, образующихся при сжигании угольного топлива, – CO , CO_2 , SO_2 , оксиды азота, изучить методологию отбора проб;

- сделать сборку и монтаж полномасштабной опытной установки мокрого пылеулавливания в условиях производственного предприятия;
- организовать пост отбора проб отходящих газов котельной и после очистки, провести монтаж инженерных систем для опытной установки мокрого пылеулавливания;
- провести измерение параметров газопылевого потока комплектом аппаратуры Китой-2 (поля скоростей, температур, расходов);
- провести варьирование режимов абсорбционной очистки дымовых газов (состав абсорбента, относительные расходы дымовых газов и абсорбента);
- провести отбор проб дымовых газов до и после очистки в скруббере для определения концентраций оксида серы в поглотителе;
- провести измерение концентраций оксидов углерода с использованием автоматического газоанализатора;
- провести измерение концентраций оксидов азота методом индикаторных трубок;
- химическим методом в условиях лаборатории провести обработку проб для определения концентраций SO_2 ;
- провести обработку полученных результатов: рассчитать погрешности измерения, составить протоколы, рассчитать эффективность установки по удалению токсичных газов, дать рекомендации по повышению эффективности.

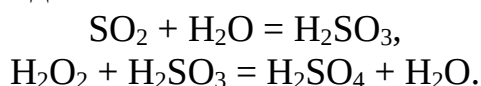
Источником дымовых газов являлась угольная котельная со слоевым сжиганием на колосниковой решётке, работающая на каменном угле Кузнецкого месторождения. К пылеуловителю МВГ подвели газопровод от системы газопроводов трубы котельной.

3.Методика исследования

Измерение параметров газопылевого потока проводили на основе методики ГОСТ 17.2.4.06-90 «Охрана природы. Атмосфера. Методы определения скорости и расхода газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения» и согласно инструкции комплекта аппаратуры Китой-2 [3, 4]. При отборе проб газов применяли пробоотборный зонд ПЗ БП «Атмосфера». Концентрации оксидов азота проводили методом индикаторных трубок по аналогии с МВИ-1-06 «Методика выполнения измерений содержания оксидов азота, оксида углерода и кислорода с использованием комплекта индикаторных трубок в организованных выбросах котельных, ТЭЦ и ГРЭС, работающих на природном газе» [5] с побуждением расхода ротаметрическим аспиратором. Оксиды углерода определяли автоматическим газосигнализатором GX-6000 согласно инструкции по эксплуатации с применением зонда.

Диоксид серы определяли отбором проб газов в поглотителе на основе склянки Дрекслея. Расход газа обеспечивался ротаметрическим аспиратором. При этом руководствовались методикой ПНДФ 13.1.3-97 «Методика выполнения измерений массовой концентрации диоксида серы в отходящих газах от котельных, ТЭЦ, ГРЭС и других топливосжигающих агрегатов» [6]. В

качестве поглотительного раствора выступал водный раствор пероксида водорода, химические взаимодействия можно описать следующими реакциями:



Количество образовавшейся серной кислоты пропорционально концентрации диоксида серы, содержащегося в дымовых газах. Концентрацию серной кислоты определяли титрованием раствором соли бария в присутствии индикатора торон-I.

4. Результаты и обсуждение

Результаты определения концентраций загрязняющих веществ и расчёт эффективности приведены соответственно в табл. 1 и 2.

Таблица 3

Концентрации загрязняющих веществ

Вид абсорбента	Концентрации ЗВ, мг/м ³		
	оксиды азота (NO _x)	диоксид серы (SO ₂)	диоксид углерода (CO ₂)
До очистки	0,5	5,42±1,08	32162,2
Вода	0	2,41±0,48	28465,4
Известковое молоко	0	1,86±0,37	12199,4

Таблица 4

Степень очистки при варьировании абсорбентов

Вид абсорбента	Степень очистки, %		
	оксиды азота (NO _x)	диоксид серы (SO ₂)	диоксид углерода (CO ₂)
Вода	100	55,5	11,5
Известковое молоко	100	65,7	62,1

Высокая эффективность удаления оксидов азота связана, в том числе, с низкой точностью метода индикаторных трубок – концентрации NO_x на выходе из установки ниже предела измерения. Известковое молоко является более эффективным абсорбентом исследованных газов (в 1,18 раза по SO₂ и в 5,4 раза по CO₂) в сравнении с водой.

5. Выводы

Результаты экспериментальных исследований показали, что установка мокрого пылеулавливания (МВГ) позволяет параллельно с выполнением своей основной функции также выделять из потока дымовых газов газообразные токсичные примеси, что имеет важное практическое значение для экологии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Нормативы удельных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котельных установок : учеб. пособие / О.Н. Брагина, А.Н. Чугаева, А.А. Иванова, Т.Н. Мячина, Н.В. Кумпан, О.А. Киселева. – Москва, 2013 – 31 с.

2. Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 тонн пара в час или менее 20 Гкал в час // Гос. комитет по ООС РФ, введен. 1999-07-09. – Москва, 1999. – 75 с.

3. ГСП. Комплект аппаратуры для измерений параметров газопылевых потоков КИТОЙ-2: Руководство по эксплуатации // Ангарское ОКБА. – 2007. – 41 с.

4. ГОСТ 17.2.4.06-90. Охрана природы. Атмосфера. Методы определения скорости и расхода газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения // введен 01.01.1991. – М., 1991. – 20 с.

5. МВИ-1-06. Методика выполнения измерений содержания оксидов азота, оксида углерода и кислорода с использованием комплекта индикаторных трубок в организованных выбросах котельных, ТЭЦ и ГРЭС, работающих на природном газе // введен 01.01.1991. – М., 1991. – 20 с.

6. ПНДФ 13.1.3-97. Методика выполнения измерений массовой концентрации диоксида серы в отходящих газах от котельных, ТЭЦ, ГРЭС и других топливосжигающих агрегатов // утвержд. ген. директором ООО «Мониторинг», 2006 г. – СПб, 2006. – 14 с.

STUDY OF OPERATING MODES OF A PILOT UNIT FOR CLEANING COAL-FIRED BOILER OUTLET GASES FROM NITROGEN, SULFUR AND CARBON OXIDES

*Vorozhbyanskiy Konstantin Nikolaevich¹, student;
Nemuschenko Dmitry Andreevich¹, senior lecturer;
Strizhichkovskij Aleksandr Vladislavovich², lead engineer*

¹Novosibirsk state technical university,

630073, Russia, Novosibirsk, pr. K. Marks, 20

²LLC "Alterna Ventilation Equipment Plant",

630032, Russia, Novosibirsk, Gorsky microdistrict, 64, of. 226

Vorozhbyanskiy K.N., e-mail: vorozhbyanskiy.kostya@mail.ru

Nemuschenko D.A., e-mail: nemuschenko@corp.nstu.ru

Strizhichkovskij A.V., e-mail: saw@zvo-alterna.ru

Address for correspondence: Nemuschenko Dmitry Andreevich, Novosibirsk state technical university, 630073, Russia, Novosibirsk, pr. K. Marks, 20.

Annotation: This work examines the operating modes of a pilot wet dust collection system for removing nitrogen oxides (NO_x), sulfur oxides (SO₂), and carbon oxides (CO₂) from coal-fired boiler exhaust gases. The relevance of this topic stems from the need to reduce the negative environmental impact of thermal power generation and the tightening of maximum permissible emission standards. The aim of this work is to experimentally determine the effectiveness of a wet dust collection system for removing gaseous impurities. The developed recommendations will allow the use of this uniquely designed system, including for the absorption of certain toxic gases.

Keywords: Exhaust gas cleaning, coal-fired boiler, nitrogen oxides, sulfur dioxide, carbon monoxide, wet dust collection, absorption, environmental safety.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ЗОЛЬКЕТАЛЯ ИЗ ГЛИЦЕРИНА И АЦЕТОНА В ПРИСУТСТВИИ КИСЛОТНО-АКТИВИРОВАННОГО МОНТМОРИЛЛОНИТА ВОЗДЕЙСТВИЕМ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Гоман Ангелина Рустамовна^{1,2}, студент; Панченко Валентина Николаевна^{1,2}, к.х.н., в.н.с. ИК СО РАН, доцент каф. ИПЭ

¹ Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

² Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 5

Панченко В.Н., e-mail: panchenko@catalysis.ru

Гоман А.Р., e-mail: goman.angelina@bk.ru

Адрес для корреспонденции: Гоман Ангелина Рустамовна, Новосибирский государственный технический университет, кафедра инженерных проблем экологии (ИПЭ).

630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел.+7(952) 001-70-79.

Аннотация: В работе показано, что применение СВЧ-излучения позволяет интенсифицировать реакцию получения золькеталя из глицерина и ацетона по сравнению с традиционным методом нагрева. В присутствии в качестве катализатора монтмориллонита (монт-Д), модифицированного 0.03-0.50 моль/л HCl, селективностью по золькеталю достигала 90-95%. С увеличением концентрации HCl возрастал выход золькеталя в следствие роста поверхностной кислотности монт-Д. Максимальный выход 83% наблюдается в присутствии образца, обработанного 0.50 М HCl.

Ключевые слова: Золькеталь, глицерин, ацетон, HCl/монтмориллонит, СВЧ-излучение.

1. Введение

В последние годы наблюдается растущий интерес к разработке химических продуктов на основе глицерина, доступного и нетоксичного вещества. Глицерин уже используется для синтеза акролеина, эпихлоргидрина, пропиленгликолей и других соединений. Одним из наиболее перспективных направлений использование глицерина является его применение в реакции ацетализации с ацетоном для получения золькеталя (2,2-диметил-4-гидроксиметил-1,3-диоксолана) (рис. 1). Золькеталь широко используется в качестве нетоксичного растворителя для смол, красок, полимеров, а также как добавка к биотопливу.

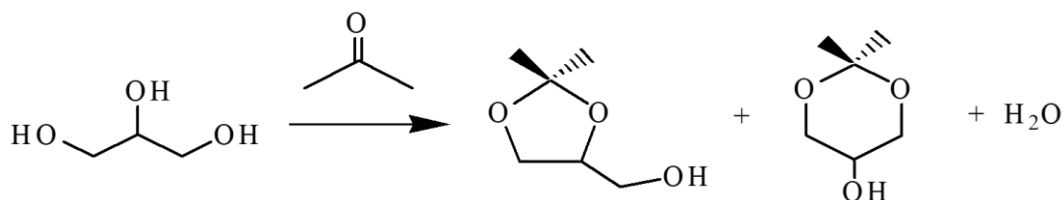


Рис. 1. Схема синтеза золькетеля из глицерина и ацетона

Традиционно реакцию ацетализации глицерина ацетоном проводят в присутствии кислотных катализаторов, таких как катионообменные смолы, цеолиты и оксиды. Также в качестве катализаторов могут быть использованы природные глины (коалин, монтмориллонит). В литературе показано, что модифицирование монтмориллонита кислотами позволяет регулировать скорость реакции. В их присутствии выход золькетеля может достигать 94% при температуре 25-50 °С.

Одной из основных проблем применения кислотно-активированных глин и других гетерогенных катализаторов является блокировка их активных центров молекулами воды, образующимися в ходе реакции. Это приводит к резкому снижению скорости реакции в первые 15 минут, что существенно ограничивает эффективность процесса. Адсорбция образующихся молекул воды на активных центрах катализатора препятствует получению золькетеля в высоких выходах, что делает удаление воды критически важным фактором для смещения равновесия в сторону продуктов.

Одним из способов решения данной проблемы может стать проведение реакции в условиях СВЧ-воздействия. Этот метод позволяет эффективно вытеснять образующуюся воду из пор катализатора, сохраняя при этом активные кислотные центры, что значительно улучшает массо- и теплообмен.

Целью работы было изучение влияния СВЧ-излучения на реакции этерификации глицерина ацетоном в присутствии глины, модифицированной соляной кислотой (HCl) в концентрациях от 0.03 до 0.50 моль/л (HCl/монт-Д). А также сравнение эффективности СВЧ-излучения по сравнению с традиционным термическим нагревом.

2. Методика экспериментального исследования

В работе использовали глицерин (99.5 %, Sigma-Aldrich), ацетон (99.5%, Sigma-Aldrich), метанол (Acros Organics), соляную кислоту (36.7 %, х.ч.) и бентонитовую глину в натриевой форме Даш-Салахлинского месторождения (Россия), содержащую 95% монтмориллонита (монт-Д).

Синтез золькетеля в условиях СВЧ-нагрева проводили в СВЧ реакторе с использованием микроволновой системы "PreeKem Nova 2S". Синтез золькетеля в условиях термического нагрева проводили в двухгорлой колбе, снабжённой обратным холодильником и магнитной мешалкой. Реакцию проводили в присутствии метанола (1 мл метанола на 1 г глицерина) для гомогенизации системы. Мольное соотношение ацетон/глицерин = 3.07, загрузка катализатора 2.5 масс.% (в расчете на массу глицерина), температура реакции 40 °С. Продукты реакции анализировались методом ГХ-анализа на хроматографе Agilent 7820 с пламенно-ионизационным детектором и капиллярной колонкой HP-5 (25 м).

3. Результаты и обсуждение

Катализаторы были получены обработкой монтмориллонита водными растворами 0.03-0.50 М HCl/монт-Д. Согласно данным химического анализа обработка глины кислотой приводит к увеличению поверхностной кислотности в следствии замещения межслоевых катионов на протоны и ионов алюминия с образованием кислых Si-(OH)-Al групп. Это согласуется с данными РФА анализа, указывающий на увеличение межслоевого расстояния. Обработка монтмориллонита кислотой приводит к росту поверхностной кислотности, на что указывают данные ИК-спектроскопии и метод массового титрования. Поверхностная кислотность возрастает с ростом концентрации кислоты.

Каталитические свойства HCl/монт-Д образцов были изучены в реакции ацетализации глицерина ацетоном под воздействием СВЧ-излучения (рис. 1). Согласно данным ГХ анализа основными продуктами реакции были золькеталь (C₅, 4-гидроксиметил-2,2-ди-метил-1,3-диоксолан) и его шестичленный изомер (C₆, 2,2-диметил-1,3-диоксанол-5). Типичные кинетические кривые расходования глицерина и накопления продуктов реакции C₅ и C₆ в присутствии 0.25М HCl/монт-Д показаны на рисунке 2А. Хорошо видно, что за 10 мин в реакционной смеси образуется как C₅, так и C₆. Однако через 20 минут наблюдается снижение содержания C₆ из-за его изомеризации в C₅, что согласуется с механизмом реакции. Конверсия глицерина резко снижается примерно через 10 мин вследствие блокировки активных центров образующимися молекулами воды (рис. 2Б).

Как видно из рисунка 2Б конверсия глицерина возрастает с ростом поверхностной кислотности, изменение которой достигалось увеличением концентрации HCl.

Проведено сравнение каталитических свойств HCl/монт-Д образцов в реакции синтеза золькеталья из глицерина и ацетона в условиях термического нагрева (ТН) и СВЧ-воздействия. Как видно из данных, показанных на рис. 2В, в присутствии всех HCl/монт-Д образцов конверсия глицерина выше в случае проведения реакции в условиях СВЧ-воздействия. Стоит отметить, что с увеличением поверхностной кислотности HCl/монт-Д образцов различие их каталитических свойств в условиях ТН и СВЧ-воздействия снижается (рис. 2В).

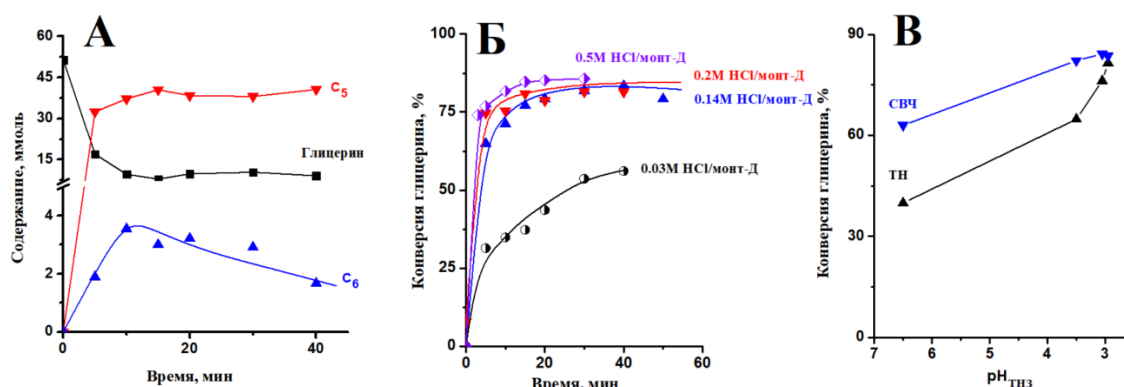


Рис. 2. (А) Кинетические кривые расходования глицерина и накопления продуктов реакции C₅ и C₆ в реакции синтеза золькеталья из глицерина и ацетона в условиях СВЧ-воздействия в присутствии 0.25М HCl/монт-Д. (Б) Кинетические кривые конверсии глицерина в реакции

синтеза золькетала в присутствии HCl/монт-Д образцов в условиях СВЧ-воздействия. (В)
Корреляция между поверхностной кислотностью HCl/монт-Д образцов и конверсией
глицерина за 30 мин в реакции синтеза золькетала в условиях ТН и СВЧ-воздействия

Такое явление можно объяснить несколькими факторами: во-первых, высокими значениями коэффициентов поглощения катализатора, реагентов и продуктов реакции, что способствует интенсификации процессов тепло- и массопереноса; во-вторых, измеренные коэффициенты диэлектрических потерь указывают на то, что с увеличением количества вымытого алюминия снижается коэффициент поглощения СВЧ-энергии образцов; в-третьих, СВЧ-воздействие на реакционную массу способствует частичному удалению воды с активных центров благодаря нагреванию поверхности катализатора и, таким образом, освобождению активных центров для последующих превращений.

INTENSIFICATION OF THE PROCESS OF OBTAINING SOLKETAL FROM GLYCEROL AND ACETONE IN THE PRESENCE OF ACID- ACTIVATED MONTMORILLONITE UNDER MICROWAVE IRRADIATION

Goman Angelina Rustamovna^{1,2}, student; **Panchenko Valentina Nikolaevna^{1,2}**,
Candidate of Chemical Sciences

¹Novosibirsk State Technical University,
630073, Russia, Novosibirsk, K. Marks Ave., 20

²Institute of Catalysis named after. G. K. Boreskova of Siberian Branch Russian
Academy of Sciences (SB RAS),
630090, Russia, Novosibirsk, Acad. Lavrentiev Ave., 5

Panchenko V.N., e-mail: panchenko@catalysis.ru

Goman A.R., e-mail: goman.angelina@bk.ru

Address for correspondence: **Goman Angelina Rustamovna**,

Novosibirsk State Technical University,
630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marx Ave., 20, tel. (952)001-70-79.

Annotation:

Herein, for the first time, the effect of microwave irradiation on the catalytic properties of natural clay (Dash-Salakhinskoye deposit, mont-D) modified with aqueous solutions of 0.03-0.5 mol/L hydrochloric acid (HCl/mont-D) in the synthesis of solketal from glycerol and acetone was studied. It was shown that acid treatment of mont-D leads to a decrease in the sodium content in the clay due to its substitution with protons and the leaching of aluminum cations from the structure. Changes in the chemical composition affect the acid-base properties of HCl/mont-D samples. An increase in the HCl concentration promotes an increase in surface acidity and a decrease in optical basicity, calculated using the method proposed by Duffy. The obtained correlations were in good agreement with the amount of aluminum leached from the clay structure by the acid.

The catalytic properties of HCl/mont-D samples were studied in the synthesis of solketal from glycerol and acetone in a methanol solution at an acetone/glycerol molar ratio of 3.07, an HCl/mont-D catalyst concentration of 2.5 wt.% (based on the weight of glycerol),

and a temperature of 40 °C. It was shown that the reaction rate and solketal selectivity increase with increasing HCl concentration due to the increase in the surface acidity of HCl/mont-D. The highest solketal yield of 83% was achieved using the montmorillonite sample treated with 0.50 M HCl. A comparison of the productivity of HCl/mont-D samples in this reaction under microwave and thermal heating conditions was performed. It was found that the solketal yield in the reaction under MW-irradiation is higher than in the process with conventional thermal heating. With increasing surface acidity of HCl/mont-D, the difference in the reaction rates and solketal selectivity decreases, which can be explained by a decrease in the aluminum content in the sample. Thus, MW-irradiation not only reduced the reaction time but also improved energy efficiency and product yield under milder conditions.

Keywords: Solketal, glycerin, acetone, HCl/montmorillonite, microwave synthesis.

УДК 54-44:54.058

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СБОРА И ОРГАНИЗАЦИИ ХРАНЕНИЯ ОТХОДОВ СТРАТЕГИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫХ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ ВТОРИЧНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ

*Гончаренко Олеся Игоревна, студентка; Александров Виктор
Юрьевич, к.х.н., доцент*

Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия. г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20.

Гончаренко О.И., e-mail: goncarenkooles07@gmail.com

Александров В.Ю., e-mail: alexandrov48victor@yandex.ru

Адрес для корреспонденции: Александров Виктор Юрьевич,
Новосибирский государственный технический университет,
кафедра инженерных проблем экологии (ИПЭ)
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20.

Аннотация: Увеличение объёмов потребления стратегически значимых металлов для изготовления наукоемких изделий сопровождается ростом количества отходов, содержащих данные компоненты. К числу наиболее перспективных источников вторичного сырья относятся отработанные литий-ионные аккумуляторы, отходы электронных плат и ртутьсодержащие изделия, обладающие одновременно высоким ресурсным потенциалом и повышенной экологической опасностью.

В работе рассматривается разработка системы сбора и организации хранения указанных видов отходов на территории Новосибирской области. Проведён анализ их физико-химических свойств, компонентного состава и опасных характеристик. Предложена структурная схема обращения с отходами, включающая этапы раздельного сбора, временного накопления и размещения на специализированном объекте хранения.

Особое внимание уделено обеспечению экологической безопасности, включая предотвращение утечек токсичных веществ, снижение пожароопасности и

минимизацию негативного воздействия на окружающую среду. Предложенные решения направлены на повышение эффективности вовлечения стратегически значимых металлов во вторичный оборот.

Ключевые слова: Стратегические металлы, вторичное сырьё, литий-ионные аккумуляторы, электронные отходы, ртутьсодержащие отходы, полигонное хранение, экологическая безопасность.

1. Введение

В современных условиях развития промышленности и энергетики наблюдается устойчивый рост потребления стратегически значимых металлов, таких как литий, кобальт, никель и редкоземельные элементы. Данные материалы широко используются в производстве аккумуляторов, электронной техники и оборудования для возобновляемой энергетики.

Одновременно с увеличением объёмов их использования возрастает количество отходов, содержащих указанные металлы. Значительная часть таких отходов не контролируется на предмет экологической безопасности и может попадать на полигоны твёрдых коммунальных отходов (ТКО) без предварительной подготовки, что приводит к утрате ценных вторичных ресурсов и формированию экологических рисков.

Особую опасность представляют отходы, содержащие токсичные и химически активные компоненты. Литий-ионные аккумуляторы характеризуются наличием органических электролитов и склонностью к самовозгоранию. В ближайшей перспективе прогнозируется значительный рост использования этих аккумуляторов в электромобилях и следовательно рост таких отходов. Электронные платы содержат тяжёлые и драгоценные металлы, а также полимерные материалы, способные выделять опасные вещества при разрушении. Ртутьсодержащие отходы относятся к I классу опасности и представляют угрозу вследствие высокой токсичности ртути и её способности к биоаккумуляции.

Для Новосибирской области (НСО), являющейся крупным промышленным регионом, характерно формирование значительных объёмов подобных отходов. Отсутствие развитой системы их отдельного сбора и специализированного хранения приводит к увеличению экологической нагрузки. В связи с этим разработка эффективной системы обращения с отходами стратегически значимых металлов является актуальной научно-практической задачей. Источником образования таких отходов могут быть многочисленные организации НСО, которые финансируются из бюджета области (система высшего и среднего образования, детские учреждения, органы государственного управления области, суды, прокуратуры).

2. Система сбора и хранения отходов

Для организации сбора отходов предлагается использовать контейнера для временного хранения и транспортирования ртутьсодержащих отходов (рис. 1). Контейнер предназначен для сбора в него отработанных люминесцентных ламп на месте их образования и транспортировки на предприятия демеркуризации (рис. 1а). Типовые контейнера для сбора ТКО (рис. 1б), а крупные отходы

(аккумуляторы) размещать на стеллажах. Для долгосрочного, экологически безопасного хранения отходов предлагается использовать типовой ангар размерами 7х14 м (рис. 1в). Для размещения ангара рекомендуется использовать участок земли вблизи законсервированного хвостового хозяйства Новосибирского завода химконцентратов, на котором ограничена хозяйственная деятельность. (рис. 2).



Рис. 1. Способы организации отходов: а) контейнеры для временного хранения и транспортирования ртутьсодержащих отходов; б) типовые контейнеры для ТКО; в) типовой ангар для хранения отходов

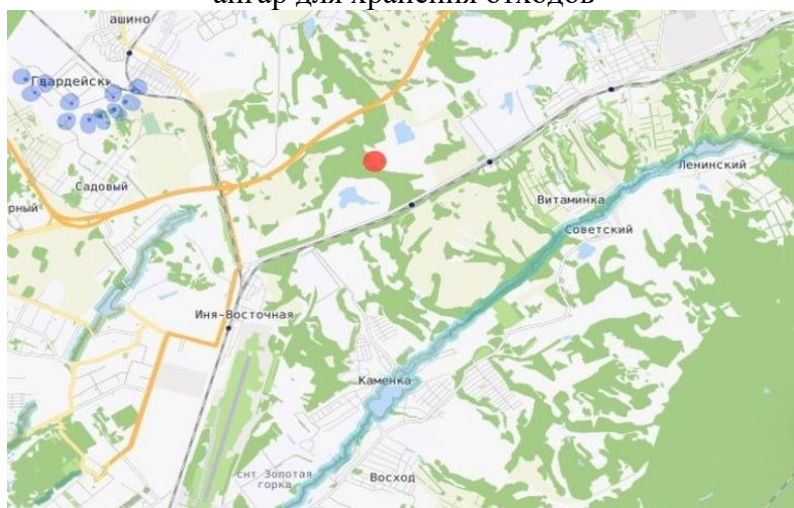


Рис. 2. Карта участка для размещения ангара

3. Экономический механизм стимулирования сдачи отходов

Для обеспечения эффективного функционирования системы сбора отходов стратегически значимых металлов необходимо внедрение экономических инструментов, стимулирующих организации к их отдельному накоплению и передаче на долгосрочное экологически безопасное хранение. Правительство области, в рамках своих полномочий, может издать распоряжение, обязывающее организации, которые финансируются из областного бюджета, сдавать эти отходы в централизованную систему области с условием выделения финансирования на приобретение нового оборудования. С одной стороны, это будет стимулом для сдачи отходов, с другой стороны значимым мероприятием в экологической программе области.

4. Методика исследования

Методика исследования включает анализ состава и свойств отходов, а также разработку организационно-технологической схемы их обращения.

В работе проведён анализ морфологического состава отходов, включающий определение содержания ценных компонентов (литий, кобальт,

никель, медь, золото, серебро) и токсичных веществ. Особое внимание уделено оценке физико-химических свойств, определяющих условия хранения: химической активности, летучести компонентов, растворимости и склонности к окислению.

Оценка экологических рисков осуществлялась с учётом возможных процессов, происходящих при хранении отходов: утечка электролитов, вымывание тяжёлых металлов, испарение ртути, а также возникновение пожароопасных ситуаций.

На основе проведённого анализа разработана схема организации сбора отходов, предусматривающая их раздельное накопление в местах образования, транспортировку с соблюдением требований безопасности и размещение на специализированных объектах хранения.

5. Результаты и обсуждение

Анализ литературных источников показал, что отработанные литий-ионные аккумуляторы содержат значительные количества лития, кобальта и никеля, что делает их перспективным источником вторичного сырья. Однако наличие горючих электролитов и высокая реакционная способность требуют строгого контроля условий хранения. Наиболее эффективным является использование герметичных контейнеров, исключающих доступ влаги и предотвращающих короткое замыкание.

Отходы электронных плат характеризуются высокой концентрацией цветных и драгоценных металлов. При этом их эффективное использование возможно только при условии предварительной сортировки и демонтажа. Хранение должно осуществляться в закрытых помещениях с защитой от атмосферных воздействий.

Ртутьсодержащие отходы представляют наибольшую экологическую опасность. Их хранение должно осуществляться в герметичных ёмкостях с системой контроля утечек и обязательным мониторингом состояния окружающей среды.

Разработана схема организации полигона, предусматривающая раздельное размещение отходов по видам, использование специализированных контейнеров и наличие системы экологического мониторинга. Предложенные решения позволяют снизить риск загрязнения окружающей среды и обеспечить сохранность ценных компонентов. Основные характеристики рассматриваемых отходов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные характеристики рассматриваемых отходов

Вид отхода	Основные компоненты	Класс опасности	Основные экологические риски	Требования к хранению	Потенциал вторичного использования
Литий-ионные аккумуляторы	Li, Co, Ni, Mn, Cu, органические электролиты	II–III	Пожаро- и взрывоопасность, утечка токсичных электролитов, выделение газов	Хранение в герметичных контейнерах, исключение механических повреждений и воздействия влаги, контроль температурного режима	Высокий (извлечение Li, Co, Ni, Cu)
Электронные платы (микросхемы)	Cu, Au, Ag, Pd, Sn, Pb, полимерные материалы	III–IV	Загрязнение почвы и вод тяжёлыми металлами, образование токсичных соединений при разрушении	Хранение в закрытых сухих помещениях, защита от атмосферных воздействий, раздельное складирование	Очень высокий (драгоценные и цветные металлы)
Ртутьсодержащие отходы	Hg, стекло, люминофор	I	Испарение ртути, высокая токсичность, биоаккумуляция	Хранение в герметичных емкостях, изолированных зонах, с системой контроля утечек	Средний (извлечение Hg при специализированной переработке)

6. Выводы

Разработанная система сбора и организации хранения отходов стратегически значимых металлов позволяет обеспечить повышение уровня экологической безопасности и создаёт условия для их последующего вовлечения во вторичный оборот.

Реализация предложенных решений на территории Новосибирской области позволит снизить потери ценных ресурсов, уменьшить негативное воздействие на окружающую среду и сформировать основу для развития отрасли переработки техногенных отходов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Глухов, В. В. Обращение с отходами производства и потребления / В. В. Глухов. – М. : Академия, 2019. – 320 с.
2. Ветошкин, А. Г. Теоретические основы защиты окружающей среды / А. Г. Ветошкин. – М. : Высшая школа, 2018. – 397 с.
3. Gaines, L. Lithium-ion battery recycling processes: Research towards a sustainable course / L. Gaines // Sustainable Materials and Technologies. – 2018. – Vol. 17. – P. e00068.
4. Harper, G., Sommerville, R., Kendrick, E. et al. Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles / G. Harper et al. // Nature. – 2019. – Vol. 575. – P. 75–86.
5. Cui, J., Zhang, L. Metallurgical recovery of metals from electronic waste / J. Cui, L. Zhang // Journal of Hazardous Materials. – 2008. – Vol. 158. – P. 228–256.
6. Tchobanoglous, G., Kreith, F. Handbook of Solid Waste Management / G. Tchobanoglous, F. Kreith. – New York : McGraw-Hill, 2002. – 950 p.
7. Федоров, Л. А. Ртуть и ее воздействие на окружающую среду / Л. А. Федоров. – М. : Наука, 2005. – 352 с.

DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR COLLECTION AND ORGANIZATION OF STORAGE OF STRATEGICALLY IMPORTANT METAL WASTE FOR RECYCLING IN THE NOVOSIBIRSK REGION

Goncharenko Olesya Igorevna, student;

Alexandrov Viktor Yuryevich, Candidate of Chemical Sciences

Novosibirsk State Technical University,

630073, Russia. Novosibirsk, Karl Marx ave., 20.

Goncharenko O.I. e-mail: goncarenkooles07@gmail.com

Alexandrov V.Y., e-mail: alexandrov48viktor@yandex.ru

Address for correspondence: Alexandrov Viktor Yuryevich,

Novosibirsk State Technical University,

20 Karla Marksa Ave., Novosibirsk, 630073, Russia.

Annotation: The increasing consumption of strategically important metals is accompanied by a growing amount of waste containing these components. Among the most promising sources of secondary raw materials are spent lithium-ion batteries, electronic circuit board waste, and mercury-containing products, which combine high resource potential with increased environmental hazards.

This paper considers the development of a system for the collection, transportation, and storage of these types of waste in the Novosibirsk region. An analysis of their physicochemical properties, component composition, and hazardous

characteristics was carried out. A structured waste management scheme is proposed, including stages of separate collection, temporary accumulation, and placement at specialized storage facilities.

Particular attention is paid to ensuring environmental safety, including the prevention of toxic substance leakage, reduction of fire hazards, and minimization of negative environmental impacts. The proposed solutions are aimed at improving the efficiency of recycling strategically important metals.

Keywords: Strategic metals, secondary raw materials, lithium-ion batteries, electronic waste, mercury-containing waste, landfill storage, environmental safety.

УДК 544.478.1:661.7

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОТХОДОВ АО НАРЗ И РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ ОБЪЁМАМИ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ

*Дзюина Полина Валерьевна, студент; Цыганков Дмитрий
Анатольевич, к.т.н., доцент*

Новосибирский государственный технический университет,
630073 Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, + 7(383)315-29-05

Дзюина П. В., e-mail dzyuina2021@mail.ru

Цыганков Д. А., e-mail tsygankov@corp.nstu.ru

Адрес для корреспонденции: Дзюина Полина Валерьевна,
Новосибирский государственный технический университет,
кафедра инженерных проблем экологии (ИПЭ)
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, + 7 923 569-72-82.

Аннотация: В работе проведён анализ производственных отходов АО «Новосибирский авиаремонтный завод». Рассмотрены основные источники их образования, определены классы опасности и изучена система обращения с такими отходами на предприятии. Выполнен анализ соответствия мест накопления производственных отходов требованиям законодательства, выявлены отдельные несоответствия. Показано, что основную долю составляют отходы IV–V классов опасности. Установлено, что интенсивность образования отходов зависит от производственной нагрузки и носит сезонный характер. Проведена оценка экологических рисков при обращении с отходами.

Ключевые слова: Производственные отходы, класс опасности, накопление, утилизация, обращение, экологический риск.

1. Введение

В современных условиях развития промышленности особое значение приобретает проблема обращения с производственными отходами. Рост объёмов

производства сопровождается увеличением количества отходов, что оказывает негативное воздействие на окружающую среду и требует внедрения эффективных систем управления их образованием и временным складированием [1]. Предприятия авиационного ремонта, такие как АО «Новосибирский авиаремонтный завод» (АО НАРЗ), характеризуются разнообразием технологических процессов, в результате которых образуются отходы различных классов опасности. Неправильное обращение с такими отходами может привести к экологическим нарушениям, а также к экономическим потерям предприятия.

Актуальность работы обусловлена необходимостью совершенствования системы управления производственными отходами, обеспечения соответствия требованиям природоохранного законодательства и снижения экологических рисков [2].

Целью работы является анализ производственных отходов АО НАРЗ и разработка предложений по управлению объёмами их образования.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: проанализировать структуру и источники образования отходов на предприятии; оценить действующую систему обращения с отходами; выявить несоответствия требованиям законодательства; оценить риски неправильного обращения с отходами; разработать мероприятий по совершенствованию системы управления отходами.

2. Результаты и обсуждение

По результатам анализа производственной деятельности АО НАРЗ установлено, что образование производственных отходов сопровождает все основные этапы технологического процесса ремонта авиационной техники: от приёмки и разборки до сборки, испытаний и обслуживания оборудования.

Наибольшее количество отходов формируется при операциях разборки агрегатов, очистки деталей, замены расходных материалов, а также при выполнении сварочных, механических и лакокрасочных работ.

Определено, что на предприятии образуются отходы I–V классов опасности. Основную долю составляют отходы IV и V классов, включая лом металлов, отходы полимерных материалов, древесные отходы, а также производственный и бытовой мусор. Отходы III класса (нефтепродукты, отработанные масла и загрязнённые материалы) образуются в меньшем объёме, но характеризуются более высоким уровнем экологической опасности. Отходы I и II классов (ртутьсодержащие лампы и аккумуляторы) образуются эпизодически, однако требуют строгого соблюдения регламентов обращения.

Анализ системы накопления отходов показал, что на предприятии организована отдельная система хранения производственных отходов в соответствии с их классами опасности и видами. Для большинства отходов предусмотрены специализированные ёмкости и площадки накопления. Вместе с тем выявлены случаи частичного несоответствия требованиям нормативной документации, включая отсутствие или несоответствие маркировки,

недостаточное оснащение мест накопления (отсутствие крышек, лотков и средств пожаротушения), а также отдельные нарушения условий хранения.

Установлено, что образование отходов носит выраженный сезонный характер. Минимальные объёмы фиксируются в периоды снижения производственной активности, а максимальные — при увеличении загрузки предприятия. При этом структура отходов остаётся стабильной во всех временных интервалах с преобладанием отходов IV и V классов опасности.

Проведённые исследования ситуации, сложившейся в АО НАРЗ, выявили потенциальные экологические риски, связанные с несоблюдением требований к накоплению и хранению производственных отходов. К таким рискам относятся возможность загрязнения почвы и водных объектов, а также возникновение аварийных ситуаций при обращении с опасными отходами.

3. Выводы

1. Установлено, что основную долю производственных отходов АО НАРЗ составляют отходы IV и V классов опасности, а интенсивность их образования определяется уровнем производственной активности предприятия.

2. Выявлены несоответствия требованиям действующего законодательства в области организации мест накопления производственных отходов.

3. Полученные результаты позволяют оценить текущее состояние системы обращения с отходами на предприятии и выявить основные факторы, влияющие на её эффективность.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Григорьев А. А., Сорокин Д. В. Экологическая безопасность при обращении с отходами производства // Экология и промышленность России. – 2020. – Т. 24, № 3. – С. 52–57.

2. Кузьмин С. М., Лебедева Е. А. Управление отходами на промышленных предприятиях // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Серия «Естественные науки». – 2019. – № 6. – С. 85–92.

ANALYSIS OF INDUSTRIAL WASTE AT «NARZ» PLANT AND DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR MANAGING THEIR VOLUMES OF GENERATION

***Dzyuina Polina Valerievna, student; Tsygankov Dmitriy Anatol'evich, PhD in
Technical Sciences, Associate Professor of IPE department***

¹Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marks
Avenue, 20, + 7(923)569-72-82

Dzyuina P. V., e-mail dzyuina2021@mail.ru

Tsygankov D. A., e-mail tsygankov@corp.nstu.ru

*Address for correspondence: Dzyuina Polina Valerievna, Novosibirsk State
Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marks Avenue, 20,
+7(923)569-72-82.*

Annotation: The study analyzes industrial waste generated at Novosibirsk Aircraft Repair Plant. The main sources of waste generation are considered, hazard classes are identified, and the waste management system at the enterprise is examined. An assessment of the compliance of waste accumulation sites with regulatory requirements was carried out, and certain inconsistencies were identified. It is shown that the majority of waste belongs to hazard classes IV–V. It was established that the intensity of waste generation depends on production load and has a seasonal character. An assessment of environmental risks associated with waste management was performed.

Keywords: Industrial waste, hazard class, accumulation, disposal, waste management, environmental risk.

УДК 614.842.611; 614.842.612

СИНТЕЗ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОГNETУШАЩЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОРОШКОВЫХ СОСТАВОВ НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛОГИДРАТОВ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЛЕЙ

Дорохина Дарья Олеговна, магистрант; Гуровский Виктор Владимирович, старший преподаватель; Громов Николай Владимирович, к.х.н., доцент; Пармон Валентин Николаевич, д.х.н., профессор

Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. +7(383) 346-06-42

Дорохина Д.О., e-mail: doroxina.2020@stud.nstu.ru

Громов Н. В., e-mail: n.v.gromov@corp.nstu.ru

Адрес для корреспонденции: *Громов Николай Владимирович,*

Новосибирский государственный технический университет,
кафедра инженерных проблем экологии (ИПЭ)

630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20.

Аннотация: Лесные пожары представляют собой одну из наиболее серьёзных экологических угроз. Классический метод тушения пламени водой может быть неэффективным и экономически нецелесообразным. Порошковые составы являются перспективными средствами пожаротушения за счёт высокой эффективности при тушении пожаров различных классов. В данном исследовании представлена методика синтеза огнетушащего порошка на основе силикагеля, заполненного растворами неорганических солей, и сравнительный анализ тушащей эффективности с водой, модифицированной смачивателями. Показано, что порошковые составы представляют собой эффективное средство пожаротушения за счёт быстрой реакции и меньшего расхода материала.

Ключевые слова: Лесные пожары, огнетушащие порошки, огнетушащие растворы, кристаллогидраты неорганических солей, силикагель.

1. Введение

Исторически, основным огнетушащим веществом, широко применяемым для борьбы с лесными пожарами, является вода, принцип работы которой основан на теплоотводе и разбавлении горючих газов негорючими парами. Однако в контексте тушения обширных лесных массивов Российской Федерации этот метод сталкивается с рядом существенных ограничений, что ставит под сомнение его исключительную эффективность и экономическую целесообразность в связи с низкой плотностью гидрографической сети на значительных территориях страны [1].

В связи с этим, актуален поиск альтернативных, эффективных и экологически безопасных средств тушения лесных пожаров. Порошковые огнетушащие составы (ОПС) представляют собой одно из наиболее перспективных направлений в этой области. В отличие тушения водой, порошки действуют по комплексному механизму, включающему ингибирование химической реакции горения, образование защитного слоя на поверхности горящего материала и частичное охлаждение. Преимуществом порошковых составов является их высокая эффективность при тушении пожаров различных классов, срок хранения и стабильность при изменении окружающей среды.

Перспективными материалами для синтеза ОПС являются кристаллогидраты, гидроксиды и пористые оксиды (цеолиты, кремнеземы и др.), допускающие обратимую гидратацию-дегидратацию за счет способности удерживать воду в больших количествах [2, 3], позволяя им выступать в качестве носителей активных огнетушащих компонентов, и участвовать в процессе тушения посредством фазовых переходов воды.

Целью исследования является синтез огнетушащего порошкового состава на основе силикагеля, заполненного растворами неорганических солей применимого для тушения лесных пожаров. Проводится сравнительный анализ тушащей эффективности данного состава с водой, модифицированной смачивателями [4].

2. Методика экспериментального исследования

Огнетушащие порошковые составы были синтезированы согласно методике [3]. Силикагель КСКГ, предварительно измельченный в планетарной мельнице до фракции 0,2 мм, был высушен до постоянной массы при температуре 110 °С и пропитан 40 мас. % растворами кристаллогидратов неорганических солей по влагоемкости. Полученные образцы были повторно высушены при $t = 110 - 120$ °С до постоянной массы. Также, были приготовлены водные растворы с повышенными показателями смачиваемости в соответствии с рекомендациями МЧС России: 20 % растворы хлористого кальция или хлористого магния с 0,5 % добавкой смачивателя ОП-10 [4].

Испытания на огнетушащую способность проводили в лабораторной вытяжке. Установка, предназначенная для проведения испытаний, представляла собой стеклянную чашу, наполненную песком, на которой располагался металлический лист с рабочей зоной 100 см². В качестве горючих материалов использовались 2 г сухих древесных опилок (СО) для моделирования

стандартных условий горения, и 2 г пропитанных в бензине опилок (ПО), для симуляции более высоких температур, характерных для сильных низовых и заглублённых лесных пожаров. СО поджигали в одной краевой точке для симуляции движения фронта пожара, у ПО поджигали испаряющиеся бензиновые пары. Время свободного горения субстратов до тушения составило 30 и 60 с соответственно.

Динамика изменения скорости тушения и температуры пламени фиксировалась с помощью тепловизора Seek Thermal Compact PRO KIT FB0090A. Следует отметить, что указанный прибор имеет ограничения в точности измерения высоких температур (-40 до 330 °C); предположительная температура пламени древесных опилок — $400 - 500$ °C и $800 - 900$ °C для пламени бензина [5].

3. Результаты и обсуждение

Результаты испытаний представлены в виде графиков зависимостей температуры поверхности горящих опилок от времени тушения (рис. 1 и 2). Выбор температуры прекращения горения был обусловлен температурой металлической пластины после нагрева — 26 °C.

Наибольший спад температуры при тушении древесных опилок происходит в первые 30 с в связи с перекрытием доступа кислорода. Анализируя график (рис. 1А) можно отметить, что при тушении порошковыми составами снижение температуры происходит равномернее, чем при тушении с помощью водных растворов (рис. 1Б). Значительное влияние на процесс оказывает образование изолирующей поверхности из пропитанного силикагеля, предотвращающей повторное возникновение очагов пламени.

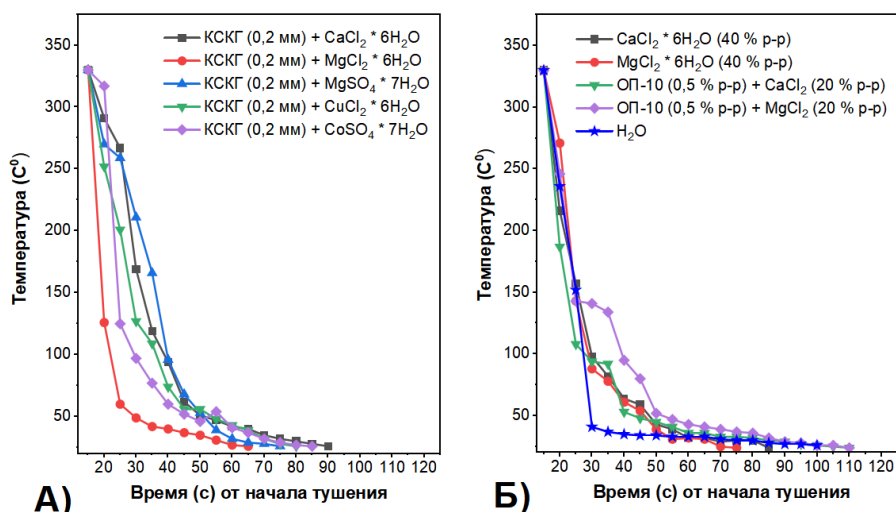


Рис. 1. Изменение температуры поверхности сухих древесных опилок при тушении (А) синтезированными порошками и (Б) водой со смачивателями

Тушение пропитанных в бензине опилок (рис. 2) в среднем занимало больше времени и массы ОПС, чем тушение сухих древесных опилок. Разница во времени между порошковыми составами и растворами незначительна.

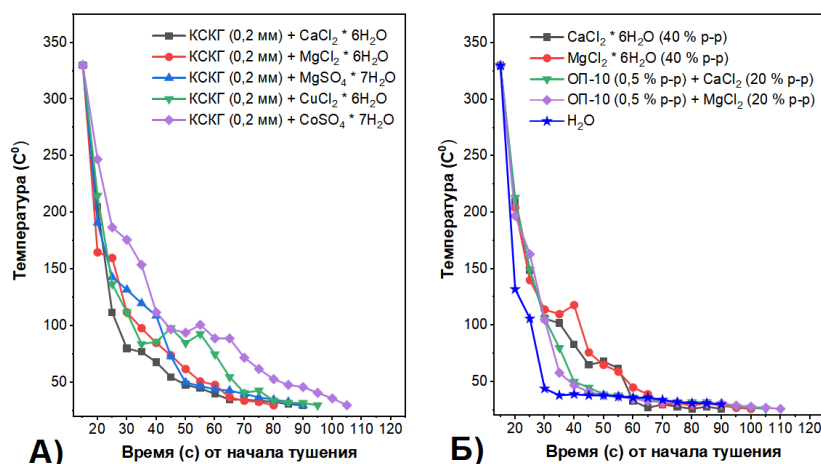


Рис. 2. Изменение температуры поверхности пропитанных в бензине древесных опилок при тушении (А) синтезированными порошками и (Б) водой со смачивателями

Результаты испытаний огнетушащей способности приведены в таблице. Порошковые составы (№ 1 – 5) показали значительно меньшее время тушения по сравнению с большинством других исследуемых веществ (№ 6 – 10), что свидетельствует о быстром и эффективном воздействии данных составов на начальные стадии возгорания, образуя при нагревании непроницаемый слой на поверхности горящего субстрата. Низкая удельная огнетушащая способность делает порошковые составы более экономичными и удобными для хранения и транспортирования.

Таким образом, порошковые составы на основе кристаллогидратов неорганических солей представляют собой эффективное средство пожаротушения за счёт быстрой реакции и меньшего расхода материала.

Таблица

Результаты испытаний огнетушащей способности различных веществ

п/п	Огнетушащее вещество	Время тушения, с		Огнетушащая способность, г/100 см ²	
		СО	ПО	СО	ПО
1	Силикагель КСКГ (0,2 мм) + $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	90	90	0,0880	0,3289
2	Силикагель КСКГ (0,2 мм) + $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	65	80	0,0996	0,2048
3	Силикагель КСКГ (0,2 мм) + $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	75	90	0,1843	0,4267
4	Силикагель КСКГ (0,2 мм) + $\text{CuCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	80	100	0,2396	0,4386
5	Силикагель КСКГ (0,2 мм) + $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	85	105	0,2012	0,5587
6	40 %-ный р-р $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	85	90	1,200	1,100
7	40 %-ный р-р $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	75	100	1,100	1,400
8	0,5 %-ный р-р ОП-10 + 20 %-ный р-р $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	110	105	1,500	1,700

9	0,5 %-ный р-р ОП-10 + 20 %-ный р-р $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	110	110	1,400	1,500
10	Вода	100	90	2,0000	2,500

4. Выводы

Огнетушащие порошковые составы являются перспективными и эффективными средствами тушения лесных пожаров.

Были синтезированы порошки на основе силикагеля КСКГ с активными тушащими компонентами в виде кристаллогидратов неорганических солей. Проведены испытания на тушащую эффективность в сравнении с водой, модифицированной различными смачивателями. Результаты показали преимущество порошков в виде меньшего времени тушения и высокой огнетушащей способности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ермолаев О., Шынбергенев Е., Мухарамова С. Геоинформационная система «Речные бассейны России» // ИнтерКарто. ИнтерГИС. – 2023. – Т. 29, № 1. – С. 546.

2. Zhang Y., Wang Z., Liu J., Pan R., Zhou X. Preparation and characterization of $\text{NaAl}(\text{OH})_2\text{CO}_3$ dry powder extinguishing agent with environmentally friendly and extinguishing efficiency // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2024. – Т. 149, № 21. – С. 11643-11655.

3. Parmon V. N., Krivoruchko O. P., Aristov Y. Use of Modern Composite Materials of the Chemical Heat Accumulator Type for Fire Protection and Fire Extinguishing // Prevention of Hazardous Fires and Explosions: The Transfer to Civil Applications of Military Experiences / Zarko V. E. и др. – Dordrecht: Springer Netherlands, 1999. – С. 34-48.

4. Методика тушения ландшафтных пожаров (утв. МЧС России 14.09.2015 №2-4-87-32-ЛБ) // . – 2015. – С. 34.

5. Sources of ignition: flammability characteristics of chemicals and products. / Bond J.: Elsevier, 2017.

SYNTHESIS AND COMPARATIVE ANALYSIS OF FIRE EXTINGUISHING EFFICIENCY OF POWDER COMPOSITIONS BASED ON CRYSTALLINE HYDRATES OF INORGANIC SALTS

Dorokhina Darya Olegovna, Master's student; **Gurovsky Viktor Vladimirovich**, Senior lecturer; **Gromov Nikolay Vladimirovich**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor; **Parmon Valentin Nikolaevich**, Doctor of Chemical Sciences, Professor

Novosibirsk State Technical University,
630073, Russia, Novosibirsk,
20 Karl Marx Ave, tel. (383) 346-06-42

Dorokhina D. O., e-mail doroxina.2020@stud.nstu.ru

Gromov N. V., e-mail kaf_ipe@corp.nstu.ru

Address for correspondence: **Gromov Nikolay Vladimirovich**, Novosibirsk State Technical University, 20 Karla Marksa Ave., Novosibirsk, 630073, Russia.

Annotation: Forest fires represent one of the most serious environmental threats. The classical method of extinguishing a flame with water may be inefficient and economically impractical. Powder formulations are promising fire extinguishing agents due to their high efficiency in extinguishing fires of various classes. This study presents a method for the synthesis of fire extinguishing powder based on silica gel filled with solutions of inorganic salts, and a comparative analysis of extinguishing efficiency with water modified with wetting agents. It is shown that powder formulations are an effective fire extinguishing agent due to a fast reaction and lower material consumption.

Keywords: Forest fires, extinguishing powders, extinguishing solutions, crystalline hydrates of inorganic salts, silica gel.

УДК 661.183.126

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ЭФИРОВ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В ЦЕЛЯХ СОЗДАНИЯ СОРБЕНТОВ ОЧИСТКИ ЗАГРЯЗНЁННЫХ ВОД

**Евсина Вера Александровна, магистрант, Милюшина Александра
Сергеевна, к.т.н., Громов Николай Владимирович, к.х.н.**

Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20.

Милюшина А.С., e-mail: chichkan@corp.nstu.ru

Адрес для корреспонденции: **Милюшина Александра Сергеевна**,
Новосибирский государственный технический университет,
кафедра инженерных проблем экологии (ИПЭ).
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20.

Аннотация: В работе представлен обзор сорбционных материалов на основе целлюлозы. Показана сорбционная активность материалов различных эфиров целлюлозы в отношении ионов металлов и нефтепродуктов. Эфиры целлюлозы представляют перспективную основу для создания сорбентов благодаря биоразлагаемости, низкой токсичности и возможности получения из возобновляемого сырья.

Ключевые слова: Целлюлоза, эфиры целлюлозы, сорбенты, очистка водных ресурсов.

Загрязнение водных ресурсов — одна из наиболее острых экологических проблем современности. Особую опасность представляют нефтепродукты, тяжёлые металлы и органические загрязнители. Эффективным решением может стать применение сорбентов на основе эфиров целлюлозы — экологически

безопасных, биоразлагаемых и обладающих высокой сорбционной способностью [1, 2].

Эфиры целлюлозы — производные целлюлозы, в которых гидроксильные группы замещены на алкильные или ацильные остатки [3, 4].

Процесс их получения включает три ключевых этапа: активацию целлюлозы (обработку щелочами для повышения реакционной способности), этерификацию (взаимодействие с алкилгалогенидами, оксидами алкенов или карбоновыми кислотами) и очистку продукта (нейтрализацию, промывку и сушку) [1...4, 6].

Один из распространённых методов карбоксиметилирование. Этот химический процесс, когда вводится карбоксиметильная группа в молекулы органических соединений. Реакция часто проводится в присутствии щёлочей (например, гидроксида натрия) и алкилирующих реагентов, таких как монохлоруксусная кислота или её натриевая соль.

Ещё один метод синтеза эфиров целлюлозы — это гидроксילирование, химический процесс, в результате которого в молекулу органического соединения вводится гидроксильная группа. Гидроксילирование позволяет изменять физико-химические свойства соединений, например, растворимость и реакционную способность.

Для повышения сорбционной ёмкости применяют композитные сорбенты, модифицированные наночастицами Fe_3O_4 или оксидом графена [3, 4, 5].

Экспериментальные данные показывают, что сорбционная ёмкость зависит от типа эфира целлюлозы [1, 2, 6].

Таблица

Сравнительные характеристики сорбентов на основе эфиров целлюлозы

Тип эфира	Сорбционная ёмкость, мг/г	Время достижения равновесия, мин	Область применения
КМЦ	85–95 (нефть)	30–40	Нефтепродукты
Гидроксипропил-целлюлоза	70–80 (Pb^{2+})	60-90	Гидроксипропил-целлюлоза
Этилцеллюлоза	120–140 (органические красители)	20–30	Красители
Композит КМЦ/ Fe_3O_4	150–180 (Cu^{2+})	45-60	Композит КМЦ/Fe

Практическое применение эфиров целлюлозы подтверждается рядом разработок. Например, патент [3] описывает способ получения сорбента на основе КМЦ с наночастицами серебра для очистки от фенолов и бактерий. Федотова О. В. и соавторы [4] предложили гидрофобные сорбенты из целлюлозно-бумажных отходов для ликвидации нефтяных разливов. Также

перспективно использование аэрогелей из макулатуры [2], которые обладают пористой структурой и сорбционной ёмкостью до 15 г нефти/г.

Актуальность темы обусловлена острой необходимостью очистки водных ресурсов от загрязнений нефтепродуктами, тяжёлыми металлами и органическими соединениями при одновременном росте экологических требований к применяемым технологиям. Как показано в работе [7], ежегодное образование целлюлозосодержащего сырья в России достигает значительных объемов, что делает его перспективным для создания сорбентов.

К преимуществам эфиров целлюлозы как сорбентов относятся экологичность (биоразлагаемость, отсутствие токсичных выделений), доступность сырья (возможность использования отходов ЦБП, таких как макулатура и лигнин), регулируемость свойств (настройка сорбционных характеристик через изменение степени замещения) и многофункциональность (возможность модификации для разных загрязнителей) [1-2, 6].

Вместе с тем существуют и проблемы, требующие решения. Низкая механическая прочность устраняется армированием полимерными волокнами, ограниченная селективность — иммобилизацией хелатирующих групп (например, тиольных), а высокая стоимость чистых реагентов — использованием промышленных отходов (гидролизного лигнина, опилок) [1, 6].

Таким образом, эфиры целлюлозы демонстрируют высокий потенциал для создания сорбентов очистки вод. Оптимизация процессов этерификации и композитных модификаций позволяет достигать сорбционной ёмкости до 180 мг/г для ионов металлов и 140 мг/г для органических загрязнителей [2,4]. Эфиры целлюлозы представляют перспективную основу для создания сорбентов благодаря биоразлагаемости, низкой токсичности и возможности получения из возобновляемого сырья (в том числе отходов сельского хозяйства) [1, 5-6].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Евсина В.А. Исследование процесса получения эфиров целлюлозы в целях создания сорбентов очистки вод: ВКР / В.А. Евсина. – Новосибирск: НГТУ, 2024.

2. Jin C. et al. Fabrication of cellulose-based aerogels from waste newspaper without any pretreatment and their use for absorbents // Carbohydrate Polymers. – 2015. – Vol. 123. – P. 150–156.

3. Патент RU 2789456 C1 Российская Федерация, МПК C08B 11/00. Способ получения сорбента на основе карбоксиметилцеллюлозы / Иванов А.А. и др.; патентообладатель ООО «НПО Экология». – № 2023100000/02; заявл. 09.01.2023; опубл. 15.03.2023.

4. Федотова О.В., Цыганков П.Ю., Меньшутина Н.В. Процессы получения высокоэффективных сорбентов на основе целлюлозы // Успехи в химии и химической технологии. – 2020. – Т. 34, № 5. – С. 45–50.

5. Nguyen S.T. et al. Cellulose aerogel from paper waste for crude oil spill cleaning // Industrial & Engineering Chemistry Research. – 2013. – Vol. 52, № 51. – P. 18386–18391.

6. Михайлиди А.М., [соавторы]. Функциональные материалы, полученные из макулатуры // Химия растительного сырья. – 2018. – № 3. – С. 88–95.

7. Исследование возможности получения сорбентов на основе лигноцеллюлозного сырья для очистки сточных вод / В. А. Евсина, Е. О. Матвеева, Д. А. Немущенко, Н. В. Громов, А. С. Милиушина ; науч. рук. Н. В. Громов. - Текст : непосредственный // Наука. Технологии. Инновации : сб. науч. тр. 17 Всерос. науч. конф. молодых ученых, Новосибирск, 4–8 дек. 2023 г. : в 11 ч. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2024. – Ч. 11. – С. 202–206. - 100 экз. - ISBN 978-5-7782-5139-7..

ANALYTICAL REVIEW OF RESEARCH ON THE PROCESS OF OBTAINING CELLULOSE ESTERS FOR THE PURPOSE OF CREATING SORBENTS FOR PURIFYING POLLUTED WATER

Vera A. Evsina, Master's student, Aleksandra S. Miliushina, PhD., Nikolay V. Gromov, PhD.

Novosibirsk State Technical University,
Department of Environmental Engineering (DE)
630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marks Avenue, 20.

Miliushina A.S., e-mail: chichkan@corp.nstu.ru

Address for correspondence: ***Miliushina Aleksandra Sergeevna***,
Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marks Avenue, 20.

Abstract: The paper presents a review of sorption materials based on cellulose. The sorption activity of materials of various cellulose esters in relation to metal ions and petroleum products is shown. Cellulose ethers represent a promising basis for creating sorbents due to their biodegradability, low toxicity, and the possibility of obtaining them from renewable sources.

Keywords: Cellulose, cellulose esters, sorbents, purification of water resources.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ УГЛЕРОДНЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИИ

Ельсукова Софья Николаевна^{1, 2}, студент; Федосеева Юлия Владимировна², к.ф.-м.н.

¹Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20.

²Институт неорганической химии им. А.В. Николаева Сибирского отделения
Российской академии наук,
630090, Россия, г. Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 3,
тел.+7 (383)330-94-90

Ельсукова С.Н., e-mail: sof.elsu@yandex.ru

Федосеева Ю.В., e-mail: fedoseeva@niic.nsc.ru

Адрес для корреспонденции: Ельсукова Софья Николаевна,
Новосибирский государственный технический университет,
кафедра инженерных проблем экологии (ИПЭ)
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20.

Аннотация: В работе рассматривается использование углеродных материалов для обнаружения ионов тяжёлых металлов в воде и водных растворах. Сенсорные свойства исследовались методом циклической вольтамперометрии и дифференциальной импульсной вольтамперометрии в трёхэлектродных электрохимических ячейках с использованием электродного материала из графита, пористого углеродного материала и бромированного пористого углеродного материала и медиаторного раствора гексацианоферрата калия с добавлением разной концентрации ионов металлов железа, кобальта, кадмия и олова. Электрохимическое исследование растворов показало, что при добавлении ионов металлов в электролит происходит сдвиг пиков циклических вольт-амперограмм, связанный с частичной заменой ионов калия ионами металлов в составе гексацианоферрата калия (III) и адсорбцией ионов на поверхности электродов.

Ключевые слова: Шрафит, пористый углеродный материал, бромирование, гексацианоферрат калия (III), металлы, электрохимия, водный раствор, трехэлектродная ячейка.

1. Введение

Тяжёлые металлы представляют серьёзную экологическую и санитарную угрозу: они накапливаются в водной среде и биологических организмах, устойчивы к разложению и могут вызывать хронические заболевания у людей и животных. В связи с возрастающими объёмами техногенного рассеивания

металлов понимание механизмов детекции элементов является одной из фундаментальных задач современной науки. Электрохимические сенсоры являются одними из лучших кандидатов в качестве инструментов обнаружения, которые обеспечивают быстрые, надежные и чувствительные подходы к обнаружению целевых соединений [1]. Углеродные материалы являются перспективными электродами для электрохимических сенсоров в связи с их простотой в использовании, высокой стабильностью и хорошей электропроводностью [2].

Цель работы заключается в использовании графита, пористого углеродного материала (ПУМ) и бромированного пористого углеродного материала (Br-ПУМ) в качестве электродов электрохимического сенсора для обнаружения ионов Fe^{3+} , Co^{2+} , Sn^{2+} , Cd^{2+} в водном электролите.

2. Методика экспериментального исследования

Графитовый электрод размером 2x5 мм и толщиной 2 мм выпиливали из цилиндрического графитового спектрального электрода. ПУМ был синтезирован методом CVD. Синтез проводился при температуре 650 °C в течение 40 мин с использованием темплатных наночастицы CaO/CaCO_3 , сформированных в результате разложения глутарата кальция. Модификация ПУМ проводилась путём бромирования в тефлоновых реакторах в насыщенных парах жидкого брома в течение 7 дней при комнатной температуре. Излишки реагентов были удалены односуточной продувкой газообразным азотом. Электроды из исходного и бромированного ПУМ (Br-ПУМ) изготавливались путём добавления к ним связующего поливинилденфторида и растворителя этанола, с последующей гомогенизацией и раскаткой смеси до однородной тонкой плёнки. Образцы ПУМ, Br-ПУМ и графита были исследованы с помощью сканирующей электронной микроскопии, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, циклической вольтамперометрии и дифференциальной импульсной вольтамперометрии. На потенциостате BioLogic было проведено измерение циклических вольт-амперограмм в диапазоне напряжений от -0,3 до 0,7 В относительно Ag/AgCl на скоростях развертки от 1000, 500, 200, 50 и 5 мВ/с. Измерение проводилось в трехэлектродной ячейке, где электрод из активного материала помещался на платиновый токосъемник, электрод сравнения - хлорсеребряный. В качестве медиаторного раствора был выбран 1 М KCl + 10 мМ $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, обеспечивающий высокую обратимость окислительно-восстановительных процессов и дающий характерный аналитический сигнал [3]. Сенсорные свойства электродов исследовали при добавлении водных растворов FeCl_3 , CoCl_2 , CdCl_2 , SnCl_2 с концентрацией 0,025 М – 0,2 М к раствору 1 М KCl + 10 мМ $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ в соотношении 1:200.

3. Результаты и обсуждение

ЦВА кривые симметричны с пиком окислительно-восстановительной реакции на 0,3 В, соответствующей редокс-паре ($[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}/[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$), и ярко выраженным сдвигом среднего потенциала между анодным и катодным пиком после добавления ионов металлов в раствор электролита. После добавления в раствор ионов железа произошел сдвиг пиков ЦВА кривых в сторону

уменьшения потенциала, что связано с взаимодействием ионов металлов с гексацианоферратом калия и формированием координационных связей с цианидными группами в структуре гексацианоферрата (III). В случае с кобальтом и оловом произошла адсорбция ионов на электроде, в результате чего произошел сдвиг пиков. Пики на ЦВА ПУМ соответствуют обратимым окислительно-восстановительным процессам участием карбоксильных и фенольных групп. После бромирования пики бромсодержащие функциональные группы заменили кислородсодержащие, в результате чего пики редокс реакций уменьшились или практически исчезли.

4. Выводы

Исследование показало, что ПУМ и Br-ПУМ материалы могут использоваться для изготовления электродов различных электрохимических сенсоров, обладают способностью обнаруживать ионы металлов в водных растворах с концентрацией 0,025 М, 0,05 М, 0,1 М и 0,2 М, что делает их перспективным материалом для использования в качестве электродов электрохимических сенсоров. Наибольший сдвиг потенциала между анодным и катодным пиком потенциала был обнаружен для раствора ионов Cd^{2+} .

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Электрохимические конденсаторы (обзор) / Вольфович М. Ю. // Электрохимия. – 2021. – Т. 57, № 4. – С. 197-238.
2. Pencil Graphite Electrodes: A Versatile Tool in Electroanalysis / David I. G. // Journal of Analytical Methods in Chemistry. – 2017. – V. 2017, № 2. – P. 412-134.
3. Electrochemical performance of asymmetrical supercapacitor with binder-free
4. $\text{Co}_x\text{Mn}_{3-x}\text{Se}_4$ and radish-deprived carbon electrodes using $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ additive in electrolyte / Das A. K. // Chemical Engineering Journal. – 2022. – V. 448, № 1. – P. 137-159.

ELECTROCHEMICAL DETECTION OF HEAVY METALS IN SINGLE SOLUTIONS BY CARBON MATERIALS

Elsukova Sofya Nikolaevna^{1,2}, master's student;

Fedoseeva Yuliya Vladimirovna², Ph.D. of Physics and Mathematics Sciences

¹ Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marx Ave., Novosibirsk, 630073, Russia.

² Nikolaev Institute of Inorganic Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 630090, Novosibirsk, Russia. Lavrentiev Ave., 3, tel. +7(383) 330-94-90

Elsukova S. N., e-mail: sofi.elsu@yandex.ru

Fedoseeva Yu.V., e-mail: fedoseeva@niic.nsc.ru

Address for correspondence: Elsukova Sofya Nikolaevna, Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marx Ave., Novosibirsk, 630073, Russia.

Annotation: The paper considers the use of carbon materials for the detection of heavy metal ions in water and aqueous solutions. Sensory properties were studied by cyclic voltammetry and differential pulse voltammetry in three-electrode electrochemical cells using an electrode material made of graphite, porous carbon material and brominated porous carbon material and a mediator solution of potassium hexanoanoferrate with the addition of different concentrations of metal ions of iron, cobalt, cadmium and tin. Electrochemical investigation of the solutions showed that when metal ions are added to the electrolyte, the peaks of cyclic volt amperograms shift, associated with the partial replacement of potassium ions with metal ions in the composition of potassium (III) hexacyanoferrate and the adsorption of ions on the surface of the electrodes.

Keywords: Graphite, porous carbon material, bromination, potassium (III) hexacyanoferrate, metals, electrochemical properties, aqueous solution, three-electrode cell.

УДК 502.55:69.621.643

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВПИТЫВАНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ КОМПОЗИЦИОННЫМ СОРБЦИОННЫМ МАТОМ

*Казарезов Андрей Антонович, аспирант; Ларичкин Владимир
Викторович, д.т.н., профессор*

Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

Казарезов А.А., e-mail: a_kazarezov1@mail.ru;

Ларичкин В.В., e-mail: larichkin@corp.nstu.ru

Адрес для корреспонденции: Ларичкин Владимир Викторович,

Новосибирский государственный технический университет,
кафедра инженерных проблем экологии (ИПЭ)

630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20,
e-mail: larichkin@corp.nstu.ru

Аннотация: Представлена базовая 1D-модель кинетики впитывания отработанного моторного масла сорбционным матом и процедура калибровки параметров переноса и удержания по гравиметрическим данным. Модель реализована в COMSOL Multiphysics 4.3a на основе уравнения переноса с эффективной диффузией в пористой структуре и объёмным стоком, описывающим удержание. Для сопоставления с опытом рассчитывается интегральный запас вещества в мате и привязывается к измеряемой прибавке массы $\Delta m(t)$. Показано, что первичная ёмкость сорбционного мата (до отжима) составляет в среднем 68,8 г (3,44 г/г при массе сорбента 20 г), а после отжима при повторных циклах насыщения — 34,96–37,24 г (1,75–1,86 г/г), что может

быть использовано как целевые ориентиры при настройке модели и сравнении с промышленными аналогами.

Ключевые слова: композиционный сорбент; сорбционный мат; отработанное моторное масло; пористая среда; диффузия; кинетика сорбции; COMSOL Multiphysics; калибровка параметров.

1. Введение

Сорбционные маты широко применяются для локализации аварийных разливов нефтепродуктов на твёрдые покрытия и грунт. Для повышения эколого-экономической эффективности важно оценивать не только первичную ёмкость, но и сохранение работоспособности при регенерации (отжиме) и повторном использовании. Математическое моделирование позволяет связать измеряемые характеристики ($\Delta m(t)$, остаток нефтепродукта) с параметрами переноса и удержания в пористой структуре, а также перенести калиброванные параметры на сценарии «сорбент–почва» и «сорбент–вода».

2. Методика и исходные данные.

Рассматривались пять образцов сорбционного мата общей массой сорбента 20 г. Поглощение отработанного моторного масла осуществлялось в течение 15 минут, затем нефтефаза, не удержанная матом, стекала в течение 30 минут. Далее образцы подвергались отжиму под гидравлическим прессом и повторно насыщались нефтепродуктом в нескольких циклах. Гравиметрические показатели ёмкости определялись как разность масс «мешочка с сорбентом» после и до насыщения для каждого цикла.

3. Математическая модель и реализация в COMSOL

На этапе калибровки использовалась одномерная постановка по толщине мата (10 мм) с граничными условиями постоянной концентрации на обеих поверхностях (погружение). Динамика описывалась уравнением переноса с эффективной диффузией D_{eff} и объёмным стоком $k_s \cdot c$, характеризующим удержание нефтепродукта в структуре:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \nabla \cdot (D_{eff} \nabla c) - k_s c.$$

Интегральный запас вещества рассчитывался как

$$S(t) = \int \epsilon \cdot c \, dV \quad (\epsilon - \text{пористость}).$$

Для сопоставления с опытом $S(t)$ приводился к массе $\Delta m(t)$ масштабированием по конечной точке цикла; параметры D_{eff} и k_s подбирались по форме экспериментальной кривой $\Delta m(t)$.

4. Результаты и обсуждение

По данным первичного насыщения (до отжима) прибавка массы составила $\Delta m_{end} = 68,8$ г (среднее по $n=5$), что соответствует $q_{end} \approx 3,44$ г/г при массе сорбента 20 г. После отжима и повторного насыщения средняя прибавка массы за цикл составила 34,96 г ($\approx 1,75$ г/г) после 1-го отжима; 35,88 г ($\approx 1,79$ г/г) после 2-го отжима; 37,24 г ($\approx 1,86$ г/г) после 3-го отжима. Таким образом, при регенерации отжимом сохраняется существенная доля сорбционной ёмкости, что важно для практического применения. Калиброванная модель позволяет оценивать чувствительность кинетики насыщения к параметрам D_{eff} и k_s и

использовать их для сравнения с промышленными аналогами по критериям «скорость–ёмкость–устойчивость при повторном использовании».

5. Выводы

Разработана базовая 1D-модель впитывания отработанного моторного масла сорбционным матом в COMSOL Multiphysics 4.3a и предложена процедура калибровки параметров переноса и удержания по гравиметрическим данным. Полученные экспериментальные ориентиры (Δm_{end} и q_{end} для первичного и повторных циклов) могут использоваться как целевые значения при настройке модели, а также как исходная база для расширения расчётов на сценарии загрязнения нефтепродуктами почвы и водной поверхности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Zhang Y., Hu Z., Chen S. et al.** Development of novel composite adsorbents for the removal of contaminants: A review // *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 2017. Vol. 47, № 23. P. 1909–1945. DOI: 10.1080/10643389.2017.1380867.
2. **Cunha A., Moreira F., Rodrigues C. et al.** Composite materials for oil-spill recovery: A review // *Journal of Environmental Management*. 2018. Vol. 206. P. 605–621. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.11.028.
3. **Jin Z., Zhang J., Jiang Y. et al.** Recent advances in functionalised absorbent materials for oil-spill cleanup // *Journal of Hazardous Materials*. 2020. Vol. 386. 121660. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2019.121660.
4. **Angelova D., Uzunova G., Filova E. et al.** Sustainable lignocellulosic composite sorbents for simultaneous oil and acid-spill remediation // *Materials*. 2025. Vol. 18, № 4. 2176. DOI: 10.3390/ma18042176.
5. **Singh H., Bhardwaj N., Arya S.K., Khatri M.** Environmental impacts of oil spills and their remediation by nanostructured sorbents // *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*. 2020. Vol. 14. 100383. DOI: 10.1016/j.enmm.2020.100383.
6. **Amritphale S.S., Matthews J.C., Lynam J.G.** Oil-spill cleanup using industrial and agricultural waste-based sorbent materials // *Environmental Technology*. 2021. Vol. 42, № 4. P. 634–641. DOI: 10.1080/09593330.2019.1700748.
7. **Elmobarak W.F., Almomani F.** Application of magnetic particles for oil sorption and regeneration // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2021. Vol. 203. 108506. DOI: 10.1016/j.petrol.2021.108506.
8. **Ho Y.S., McKay G.** Pseudo-second order model for sorption processes // *Process Biochemistry*. 1999. Vol. 34. P. 451–465.
9. **Казарезов А.А., Ларичкин В.В., Ларичкина Н.И.** Исследование возможности многократного использования абсорбционного мата для ликвидации разливов нефтепродуктов // *Наука. Промышленность. Оборона*. 2023. Т. 3. С. 156–160.

10. Демешко Е.А., Ларичкина Н.И., Ларичкин В.В. Разработка композиционного состава сорбента для сбора нефтепродуктов при разливах на почву // *Наука. Промышленность. Оборона*. 2023. Т. 3. С. 141–145.
11. Ларичкина Н.И., Демешко Е.А. Разработка состава сорбционного экрана для ликвидации разливов нефтепродуктов на почву // *Труды НГТУ*. 2023. № 2(99). С. 85–94.
12. Amritphale S.S., Matthews J.C., Lynam J.G. Oil spill cleanup using industrial and agricultural waste-based magnetic silica sorbent material: a green approach. 2021:634–641.
13. COMSOL Multiphysics® Reference Manual. COMSOL AB. (версия 4.3a).

MATHEMATICAL MODELING OF PETROLEUM PRODUCT ADSORPTION BY A COMPOSITE SORPTION MAT

Andrey A. Kazarezov, Postgraduate Student
Vladimir V. Larichkin, Doctor of Technical Sciences, Professor
Novosibirsk State Technical University,
20 Karl Marx Avenue, Novosibirsk, 630073, Russia
A.A. Kazarezov, e-mail: a_kazarezov1@mail.ru;
V.V. Larichkin, e-mail: larichkin@corp.nstu.ru
Correspondence address: **Vladimir V. Larichkin**,
Novosibirsk State Technical University,
Department of Engineering Problems of Ecology (IPE)
20 Karl Marx Avenue, Novosibirsk, 630073, Russia,
e-mail: larichkin@corp.nstu.ru

Abstract: A baseline 1D model of waste engine oil uptake kinetics by a sorption mat and a parameter-calibration procedure based on gravimetric data are presented. The model is implemented in COMSOL Multiphysics 4.3a using a diffusion-with-sink formulation in a porous structure. The integral uptake in the mat is computed and mapped to the measured mass gain $\Delta m(t)$. The average primary uptake capacity (before pressing) is 68.8 g (3.44 g/g for 20 g of sorbent), while after pressing and during repeated saturation cycles it is 34.96–37.24 g (1.75–1.86 g/g), providing calibration targets and a basis for comparison with commercial sorbents.

Keywords: composite sorbent; sorption mat; waste engine oil; porous media; diffusion; sorption kinetics; COMSOL Multiphysics; parameter calibration.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТНОШЕНИЯ ПАРОВ ВОДЫ К СЫРЬЮ В ТРУБЧАТОМ ЗМЕЕВИКЕ ПЕЧИ ПИРОЛИЗА ЭТАНА МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Канзафаров Даниил Алексеевич^{1,2}, студент; Верниковская Надежда Викторовна^{1,2}, к.т.н; Чумаченко Виктор Анатольевич², к.т.н.

¹Новосибирский государственный технический университет,
пр. Карла Маркса, 20, Новосибирск, 630073, Россия

²Институт катализа СО РАН, пр. Академика Лаврентьева, 5. Новосибирск,
630090, Россия

Канзафаров Д.А., e-mail: kanzafarov.daniil@bk.ru

Верниковская Н.В., e-mail: vernik@catalysis.ru

Чумаченко В.А., e-mail: vachum@catalysis.ru

Адрес для корреспонденции: Канзафаров Даниил Алексеевич,
Новосибирский государственный технический университет,
кафедра инженерных проблем экологии (ИПЭ).
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20.

Аннотация: Работа посвящена исследованию влияния отношения паров воды к углеводородному сырью F на показатели процесса пиролиза этана в трубчатой печи с переменным диаметром реакционной трубы. Получены зависимости степени превращения, температуры, давления и коэффициента теплопередачи через стенку трубы. При увеличении отношения паров воды к сырью удаётся достичь высокой концентрации этилена при низкой степени закоксованности трубы.

Ключевые слова: Математическое моделирование, пиролиз этана, трубчатый змеевик переменного сечения, образование кокса.

1. Введение

Этилен является одним из базовых продуктов, нефтегазохимической промышленности. Уровень производства этилена служит индикатором общего развития нефтехимической промышленности в стране. Основным способом промышленного получения этилена является пиролиз — термический крекинг углеводородных сырьевых материалов, включая бензиновые фракции и лёгкие углеводороды (этан, пропан, бутан). Эффективность пиролиза в значительной мере зависит от технического уровня оборудования, особенно конструкций трубчатых пиролизных печей. Процесс сопровождается образованием кокса — углеродистых отложений на стенках труб, что ухудшает теплопередачу и негативно сказывается на работе печей. Для увеличения срока службы печей, применяются различные варианты конструкций, в частности, печи с переменным, увеличивающимся по длине, диаметром змеевика. Особое значение имеет регулирование вводимых в реакцию паров воды, поскольку

данный параметр напрямую влияет на выход целевых продуктов, а также на образование побочных веществ, в том числе бутадиена, который является предшественником образования кокса.

В данной работе исследование влияния отношения паров воды к сырью в трубчатом змеевике печи с трубами переменного диаметра направлено на поиск таких параметров процесса пиролиза этана, при которых достигается высокая концентрация целевого продукта и минимальный выход побочных продуктов – предшественников кокса, и образования кокса.

2. Математическая модель

Кинетическая модель процесса пиролиза этана включает 8 уравнений основных и побочных реакций относительно концентраций наблюдаемых веществ [1,2].

Моделируемый объект представляет собой четырехпоточный трубчатый змеевик, внутренний диаметр которого ступенчато увеличивается с 0.088 до 0.1778 м. Длина всего змеевика составляет 60,8 м. Газовая смесь подаётся в цилиндрический канал постоянного сечения. Тепло к газовой среде поступает через стенки трубы за счёт вынужденной конвекции и излучения. Температура на входе в реактор равна 693 °С. Влияние отношения пар/сырьё на процесс пиролиза этана исследовалось при давлении на входе 0.197 МПа, расходе этана 0.13 кг/с и при переменной температуре стенки по длине змеевика и по времени: вначале процесса температура составляла на входе 820, на длине 4 м – 830, на выходе – 836 °С. Затем температура стенки на выходе повышалась на 4.8 градуса в сутки и к концу процесса достигала 1125 °С. Длительность процесса составляет 60 суток.

Для описания гомогенного процесса пиролиза, в стационарную 2D математическую модель каталитических процессов в трубчатых реакторах [3] были внесены следующие дополнения: введено изменение коэффициентов теплопроводности и диффузии по радиусу трубы; учтено различие коэффициентов трения для расчёта гидравлического сопротивления и различие коэффициентов конвективного теплообмена со стенкой на прямых и на закруглённых участках трубы; для расчёта теплопередачи через стенку учтены теплопроводность материала трубы, теплообмен излучением и конвективный теплообмен; введено изменение диаметра по длине трубы, добавлено образование кокса и его отложение на стенках трубы.

3. Результаты и обсуждение

Рассмотрим особенности процесса при минимальном и максимальном значениях соотношения массовых потоков паров воды и углеводородного сырья ($[H_2O]/[C_2H_6] = F$), при постоянном расходе этана. На рисунках 1а и 1б представлены выходные зависимости по времени степени превращения этана ($X_{вых}$), температуры ($T_{вых}$), давления ($P_{вых}$), коэффициента теплопередачи через стенку трубы (α) и температуры стенки (T_w) при значениях величины F , равных 0.3 и 1.0, соответственно. При $F = 0.3$ (рис. 1а) $X_{вых}$ больше, чем при $F = 1.0$ (рис. 1б). При $F=0.3$ линейная скорость составляет 23.54 м/с, при $F=1.0$ она равна 41.39 м/с. С увеличением линейной скорости время контакта снижается, однако,

увеличивается α . С его увеличением повышается $T_{\text{вых}}$ с 841.5 °С до 848.2 °С. $T_{\text{вых}}$ растет из-за повышения T_w со временем, которая к концу процесса составляет 1125 °С. Кроме того, с увеличением F уменьшается концентрация этана на входе. При $F = 0.3$ она составляет 0.77 вес. долей, при $F = 1.0$ – 0.5 вес. долей. Все эти факторы в совокупности приводят к небольшому снижению степени превращения этана с 72.3 до 71.2 % несмотря на то, что время контакта снижается значительно.

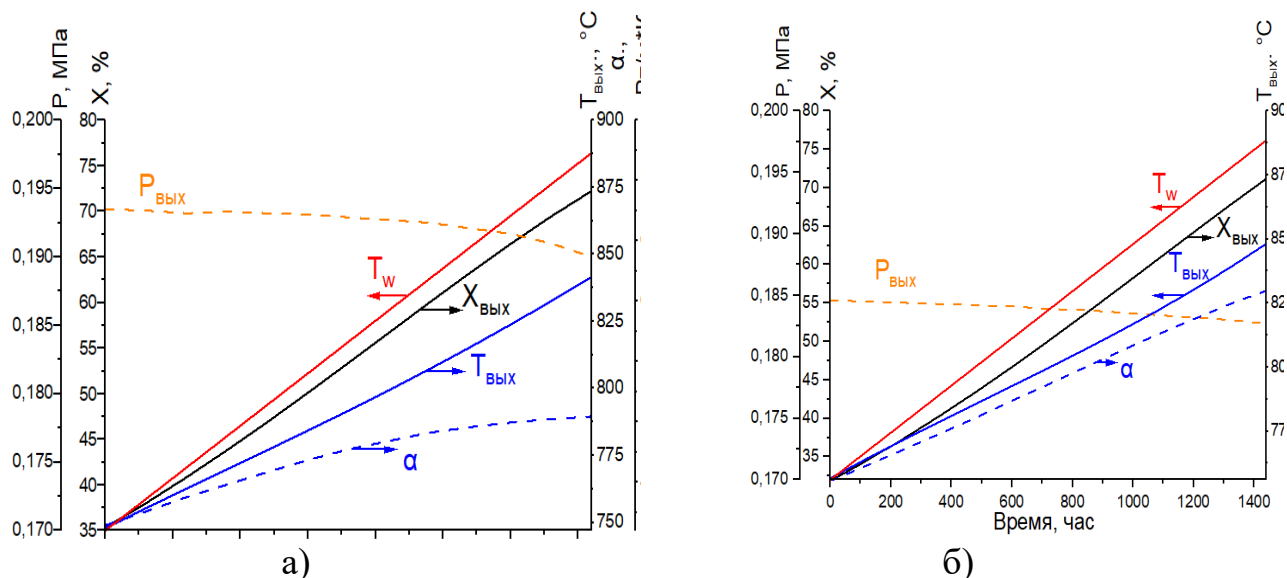


Рис. 1. Зависимости от времени температуры ($T_{\text{вых}}$), давления ($P_{\text{вых}}$), степени превращения этана ($X_{\text{вых}}$), температуры стенки (T_w) и коэффициента теплопередачи через стенку трубы (α) на выходе при $F = 0.3$ (а) и $F = 1.0$ (б)

Максимальная концентрация этилена достигается при $F = 1.0$ и составляет 0.6 вес. долей. При $F = 0.3$ она составляет 0.54 вес. долей. Таким образом, путём увеличения отношения паров воды к сырью можно получить достаточно высокую концентрацию целевого продукта – этилена на выходе из реактора.

В таблице представлено, как уменьшение диаметра трубы (δ) на выходе в результате отложения кокса на стенках и выходные значения показателей процесса пиролиза зависят от значений F . При повышении F от 0.3 до 1.0 закоксованность трубы уменьшается почти в 6 раз: при $F = 0.3$ δ составляет 26.6 %, а при $F = 1.0$ – 4.5 %. На уменьшение отложения кокса влияет снижение как скорости реакции образования бутадиена с увеличением разбавления паром (т.к. это реакция второго порядка), так и скорости реакции образования кокса из бутадиена. С увеличением F увеличивается α , что приводит к росту температуры и концентрации этилена на выходе. Степень этана уменьшается незначительно.

Сравнение показателей процесса при увеличении F

F	Уменьшение диаметра трубы (δ), %	Выходные значения			
		$X_{ВЫХ}$, %	$C_{C_2H_4}$, вес. доли (на сухой газ)	$T_{ВЫХ}$, °C	α , Вт/м*К
0.3	26.6	72.3	0.54	841.5	504.6
0.6	12.0	72.0	0.57	845.5	556.2
1.0	4.5	71.2	0.60	848.2	603.8

В работе проведено сравнение степени закоксованности реакторной трубы со ступенчато увеличивающимся диаметром и трубы постоянного сечения. В реакторной трубе без увеличения диаметра, при $F = 0.3$ аналогичная величина $\delta = 26.6$ достигается при меньшей в 2.2 раза длительности процесса, что говорит о преимуществе увеличения диаметра трубы по длине.

4. Выводы

Результаты расчётов показывают, что варьирование отношения паров воды к сырью напрямую влияет на процесс пиролиза, а именно на концентрации основных и побочных продуктов, в частности, на отложение кокса на стенках трубы. В ходе моделирования процесса пиролиза этана установлено, при увеличении отношения паров воды к сырью от 0.3 до 1.0 возможно получить достаточно высокую концентрацию этилена при низкой закоксованности трубы. Применение реакторной трубы со ступенчато увеличивающимся диаметром позволяет увеличить ресурс работы реактора в 2.2 раза.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Sundaram K. M., Froment G. F. // Chemical Engineering Science. – 1977. – Vol. 32. – P. 601.
2. Sundaram K. M., Van Damme P. S., Froment G. F. // AIChE Journal. – 1981. – Vol. 27, No. 6. – P. 946.
3. Кагырманова А.П. [и др.] // Теоретические основы химической технологии (ТОХТ). – 2006. – Т. 40, № 2. – С. 171.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания Института катализа СО РАН (проект FWUR-2024-0037).

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE RATIO OF WATER VAPOR TO RAW MATERIALS IN THE TUBULAR COIL OF AN ETHANE PYROLYSIS FURNACE BY MATHEMATICAL MODELING

Kanzafarov Daniil Alekseevich^{1,2}, student;
Vernikovskaya Nadezhda Viktorovna^{1,2}, Ph.D. of Engineering Sciences;
Chumachenko Viktor Anatolyevich², Ph.D. of Engineering Sciences

¹Novosibirsk State Technical University,
Karl Marx Ave., 20, Novosibirsk, 630073, Russia

²Institute of Catalysis SB RAS,
Akademika Lavrentieva ave., 5. Novosibirsk, 630090, Russia

Kanzafarov D.A., e-mail: kanzafarov.daniil@bk.ru

Vernikovskaya N.V., e-mail: vernik@catalysis.ru

Chumachenko V.A., e-mail: vachum@catalysis.ru

*Address for correspondence: **Kanzafarov Daniil Alekseevich**,*

*Novosibirsk State Technical University,
Department of Engineering Problems of Ecology,
20 Karla Marksa Ave., Novosibirsk, 630073, Russia.*

Annotation: The work is devoted to the study of the effect of the water vapor to hydrocarbon feedstock ratio F on the performance of the ethane pyrolysis in a pyrolysis furnace with a variable diameter of the reaction tube. The profiles of the conversion, temperature, pressure and heat transfer coefficient through the tube wall have been obtained. By increasing the ratio of water vapor to feedstock, it is possible to achieve a high concentration of ethylene while maintaining low coking of the tube.

Keywords: Mathematical modeling, ethane pyrolysis, variable cross-section tubular coil, coke formation.

СИНТЕЗ АТОМАРНОЙ ПЛАТИНЫ И СВОЙСТВА КАТАЛИЗАТОРА Pt-Me/N-ГРАФЕН В РЕАКЦИИ РАЗЛОЖЕНИЯ МУРАВЬИНОЙ КИСЛОТЫ

Коростина Виктория Андреевна^{1,2}, студент; Чесноков Владимир Викторович², д.х.н.

¹Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

²Институт катализа СО РАН,
630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 5

Коростина В.А., e-mail: korostinaviktoria@ya.ru

Чесноков В.В., e-mail: chesn@catalysis.ru

Адрес для корреспонденции: Коростина Виктория Андреевна

Новосибирский государственный технический университет,

кафедра инженерных проблем экологии (ИПЭ)

630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20.

Аннотация: Исследованы каталитические свойства системы Pt/N-графен в реакции газофазного разложения муравьиной кислоты (МК) с целью получения чистого водорода. Носителем выступал сферический углерод, допированный азотом. Сферический углерод обладал толщиной оболочки 2-3 монослоя графита благодаря чему его можно назвать сферическим графеном. Катализаторы охарактеризованы методами РФЭС, ПЭМ ВР, EXAFS и хемосорбции СО. Установлено, что нанесение Pt из прекурсора H_2PtCl_6 приводит к формированию атомарно-дисперсной платины, стабилизированной на поверхности N-графена. С ростом содержания Pt от 0.2 до 1 мас. % увеличивается активность катализатора, а селективность по H_2 и CO_2 достигает 100 %. Показано, что модификация катализатора 1% Pt/N-графен гидроксидом калия (4% КОН) приводит к аддитивному эффекту и обеспечивает супервысокую активность композитной системы 4% КОН–1% Pt/N-графен.

Ключевые слова: платина, графен, азот, муравьиная кислота, водород.

1. Введение

Водород – экологически чистое топливо, однако его широкое применение ограничено сложностями хранения и транспортировки. Перспективным жидким носителем водорода является муравьиная кислота (МК) благодаря высокому содержанию H_2 (4,4 мас.%), стабильности, нетоксичности и возможности получения из биомассы. Ключевая задача – создание катализатора, обеспечивающего высокую скорость и селективность разложения МК по маршруту $\text{H}_2 + \text{CO}_2$.

Установленный ряд активности ($\text{Pt} > \text{Pd} > \text{Ru}$) определил выбор платины в качестве активного компонента. Среди углеродных носителей (УНВ, нанотрубки, графен) особый интерес вызывают материалы, допированные азотом, стабилизирующие изолированные ионы металлов, поэтому в работе использовался N-графен. Целью работы является получение атомарно-дисперсной Pt на углеродном носителе для достижения максимальной каталитической эффективности.

2. Экспериментальная часть

Синтез носителя N-графена

Графен, легированный атомами азота (N-графен), был получен темплатным методом. Оксид магния подвергали карбонизации в смеси 40% NH_3 –1% C_2H_2 – C_2H_4 при температуре 650–750 °C. Затем ядро MgO полученного композита N–C/MgO растворяли обработкой в соляной кислоте. Агрегаты состояли из частиц N-графена сферообразной формы, что отражает темплатный метод, использованный для их синтеза. Размер углеродных глобул составлял около 30–50 нм. Согласно данным химического картирования, атомы C, O и N были равномерно распределены в N-графене.

Методика проведения реакции разложения муравьиной кислоты

Для исследования реакции разложения муравьиной кислоты использовался проточный кварцевый реактор. Реактор помещали в печь. Печь разогревали до необходимой температуры. Аргон насыщали парами муравьиной кислоты, проходящими через стеклянную ёмкость (барботер) с жидкой муравьиной кислотой. Далее газ–носитель, насыщенный парами муравьиной кислоты, поступал в реактор. Состав газообразных продуктов определяли хроматографическим методом. Хроматографический метод низкочувствителен к CO, поэтому окись углерода перед анализом подавали в метанатор для преобразования в метан.

Разложение муравьиной кислоты в газовой фазе может происходить по двум маршрутам: по реакции дегидрогенизации с получением H_2 и CO_2 и по реакции дегидратации с получением CO и H_2O . Маршрут реакции разложения муравьиной кислоты зависит от используемого катализатора.

3. Результаты и обсуждение

Были проведены исследования катализаторов Pt/N-графен с разным (0,2–1,0 мас. %) содержанием платины. Для сравнения был протестирован катализатор 1%Pt/графен, у которого поверхность носителя не была допирована атомами азота.

Как показали исследования N-графен сам по себе может вести разложение муравьиной кислоты, но с крайне низкой активностью, о чем свидетельствуют данные приведённые на рис. 1. Увеличение концентрации платины приводит к увеличению активности катализатора, причём сохраняется высокая дисперсность платины.

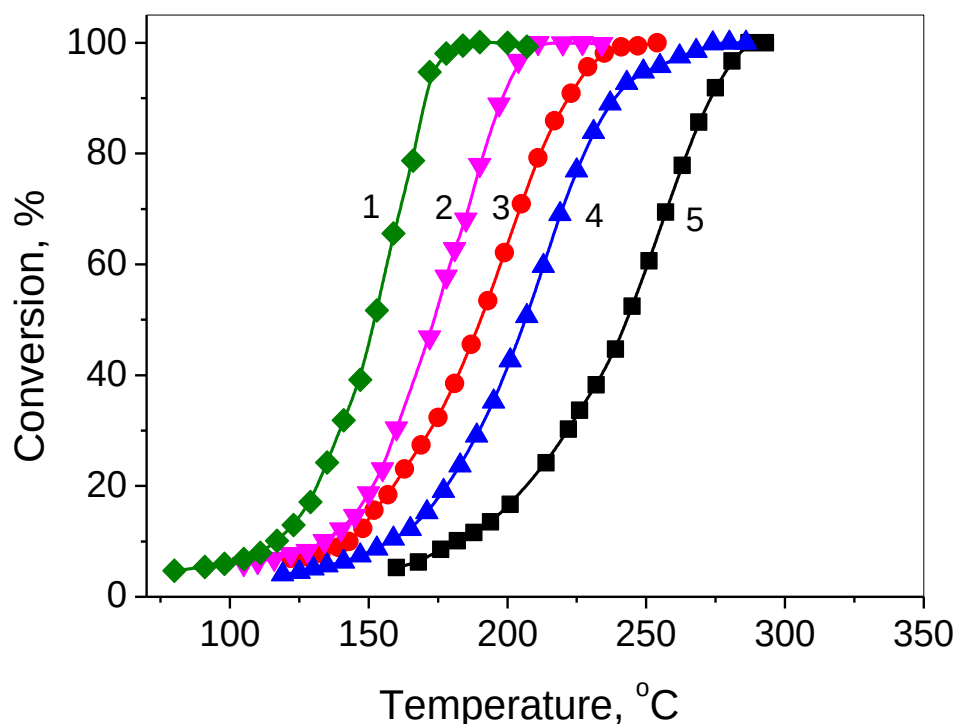


Рис. 1. Изменение конверсии муравьиной кислоты от температуры для катализаторов: 1 - 1%Pt/N-графен; 2 – 0.4%Pt/N-графен 3 – 1%Pt/графен; 4 – 0.2%Pt/N-графен; 5 – N-графен

Ранее в работе [1] была изучена каталитическая активность углеродных нановолокон (УНВ), модифицированных щелочными металлами, в реакции разложения муравьиной кислоты. Установлено, что модификация углеродной поверхности УНВ гидроксидом калия приводит к резкому увеличению активности катализатора. Поэтому была проведена модификация катализатора 1%Pt/N-графен гидроксидом калия. На рис.2 представлено HAADF STEM изображение катализатора 4%KOH-1%Pt/N-графен. Платина на углеродном носителе присутствует в атомарно-дисперсном состоянии.

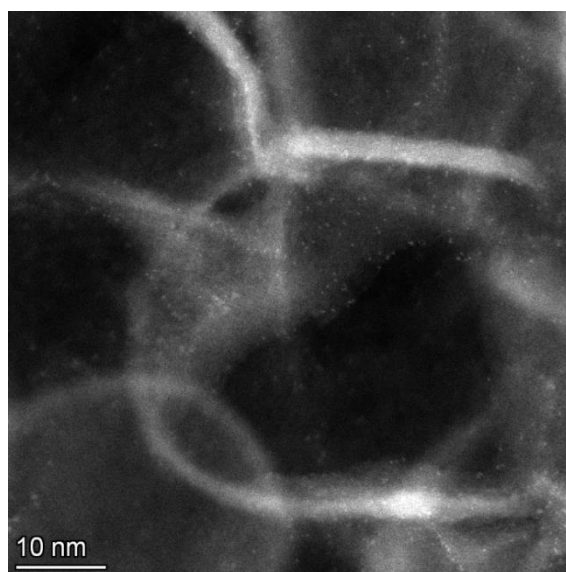


Рис. 2. HAADF STEM изображение катализатора 4%KOH-1%Pt/N-графен

Катализатор 4%KOH-1%Pt/N-графен показывает высокую активность и 100 % селективность по образованию H_2 и CO_2 . При температуре 100 °C получена 75 % конверсия МК, которая сохраняется в течение 4 часов, то есть обладает высокой стабильностью.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Влияние природы щелочного металла на активность углеродных нановолокон в каталитическом разложении муравьиной кислоты / В. В. Чесноков, И. П. Просвирин, Е. Ю. Герасимов, А. С. Милюшина // Кинетика и катализ. — 2022. — Т. 63, № 1. — С. 77–85.

SYNTHESIS OF ATOMIC PLATINUM AND PROPERTIES OF THE Pt-Me/N-GRAPHENE CATALYST IN THE DECOMPOSITION OF FORMIC ACID

Korostina Victoria Andreevna^{1,2}, student;
*Chesnokov Vladimir Viktorovich*², D.Sc. (Chemical)

¹Novosibirsk State Technical University,
630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marx Ave., 20

²Boreskov Institute of Catalysis SB RAS,
630090, Russia, Novosibirsk, Akademika Lavrentiev Ave., 5

Korostina V.A., e-mail: korostinaviktoria@ya.ru

Chesnokov V.V., e-mail: chesn@catalysis.ru

Address for correspondence: *Korostina Victoria Andreevna*

Novosibirsk State Technical University,
Department of Engineering Problems of Ecology,
630073, Russia, Novosibirsk, 20, Karla Marksa Ave., 20.

Abstract: The catalytic properties of a Pt/N-graphene system in the gas-phase decomposition of formic acid (FA) to produce pure hydrogen were studied. Spherical carbon doped with nitrogen served as the support. The spherical carbon had a shell thickness of 2-3 graphite monolayers, making it spherical graphene. The catalysts were characterized by XPS, HRTEM, EXAFS, and CO chemisorption. It was found that deposition of Pt from the H_2PtCl_6 precursor leads to the formation of atomically dispersed platinum stabilized on the N-graphene surface. Increasing the Pt content from 0.2 to 1 wt.% increases catalyst activity, and selectivity for H_2 and CO_2 reaches 100%. It has been shown that modification of the 1% Pt/N-graphene catalyst with potassium hydroxide (4% KOH) leads to an additive effect and ensures super-high activity of the 4% KOH–1% Pt/N-graphene composite system.

Keywords: Platinum, graphene, nitrogen, formic acid, hydrogen

ОЦЕНКА ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО ВБЛИЗИ ПОЛИГОНА ТВЁРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

*Кривоустов Илья Владимирович¹, студент; Колоберда Аполина
Евгеньевна², младший научный сотрудник; Елистратова Елена
Владимировна^{1, 2}, к.м.н., доцент*

¹Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

²Новосибирский научно-исследовательский институт гигиены
Роспотребнадзора,

630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Пархоменко, 7

Кривоустов И. В., e-mail: krivopustov.ilya@yandex.ru

Колоберда А. Е., e-mail: koloberda_ae@niig.su

Елистратова Е. В., e-mail: e.elistratova@corp.nstu.ru

*Адрес для корреспонденции: Кривоустов Илья Владимирович,
Новосибирский государственный технический университет,
кафедра инженерных проблем экологии (ИПЭ)
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20.*

Аннотация: В работе представлены результаты моделирования рассеивания загрязняющих веществ и ретроспективного когортного анализа заболеваемости населения, проживающего в зоне влияния полигона твёрдых коммунальных отходов «Левобережный» (г. Новосибирск). Выявлено формирование зон с превышением ПДК по группе суммации веществ (до 4,7 ПДК). На основе данных 552 медицинских карт выявлено статистически значимое превышение частоты обращений по поводу респираторных заболеваний (в 2,2 раза) и повышение риска развития анемии у жителей, проживающих вблизи объекта. Результаты обосновывают необходимость усиления социально-гигиенического мониторинга.

Ключевые слова: Полигон твёрдых коммунальных отходов (ТКО), здоровье населения, респираторные заболевания, качество атмосферного воздуха, моделирование рассеивания выбросов.

1. Введение

Проблема безопасного обращения с твёрдыми коммунальными отходами (ТКО) в условиях интенсивной урбанизации приобретает критическое значение. Полигоны ТКО, расположенные в пригородных зонах крупных мегаполисов, исчерпывают свою проектную вместимость и превращаются в мощные источники непрерывного комплексного загрязнения окружающей среды [1].

Особую эпидемиологическую опасность представляет неорганизованная эмиссия многокомпонентного свалочного газа. В его состав входят высокотоксичные соединения (аммиак, сероводород, формальдегид,

меркаптаны), которые обладают выраженным раздражающим, гематотоксическим и канцерогенным действием, выступая триггерами развития хронических респираторных, нервно-психических и иных заболеваний [2].

В Новосибирской области, согласно данным государственного мониторинга, территории, прилегающие к объектам размещения отходов, характеризуются стабильно высоким уровнем экологического неблагополучия [3]. Полигон ТКО «Левобережный» является одним из крупнейших действующих объектов региона. На фоне активной застройки жилые массивы оказываются в непосредственной близости от источника загрязнения.

Целью данного исследования явилась комплексная оценка влияния выбросов полигона ТКО «Левобережный» г. Новосибирска на качество атмосферного воздуха и заболеваемость населения, проживающего в зоне его влияния.

2. Материалы и методы

Для оценки качества атмосферного воздуха в зоне влияния полигона было проведено моделирование рассеивания выбросов с использованием программного комплекса ПК ЭРА v3.0. Анализ медицинских данных базировался на изучении 552 амбулаторных карт жителей г. Новосибирска. Группу наблюдения составили 339 человек, проживающих на расстоянии от 305 до 1200 метров от границы полигона. Группу контроля составили 213 человек (расстояние более 2700 метров).

Статистическая обработка данных проводилась на языке Python. Для сравнения частоты респираторных заболеваний использовался критерий χ^2 Пирсона на основе анализа доли лиц, имевших хотя бы один эпизод заболевания. Для оценки вероятности развития других патологий применялся метод логистической регрессии с расчётом отношения шансов (OR) [4, 5].

3. Результаты и обсуждение

На рис. 1 а, б, в, г, д показаны расчётные изолинии концентраций загрязняющих веществ, соответственно диоксида азота, взвешенных частиц PM_{2.5}, взвешенных частиц большего размера, золы уноса твёрдого топлива, неорганической пыли.

Анализ изолиний концентраций (ПК ЭРА v3.0) показал, что по ряду веществ (диоксид азота, взвешенные частицы PM_{2.5}, неорганическая пыль, зола твёрдого топлива) приземные концентрации не превышают гигиенических нормативов (от 0,0006 до 0,13 ПДК).



Рис. 1а. Анализ изолиний концентраций диоксида азота

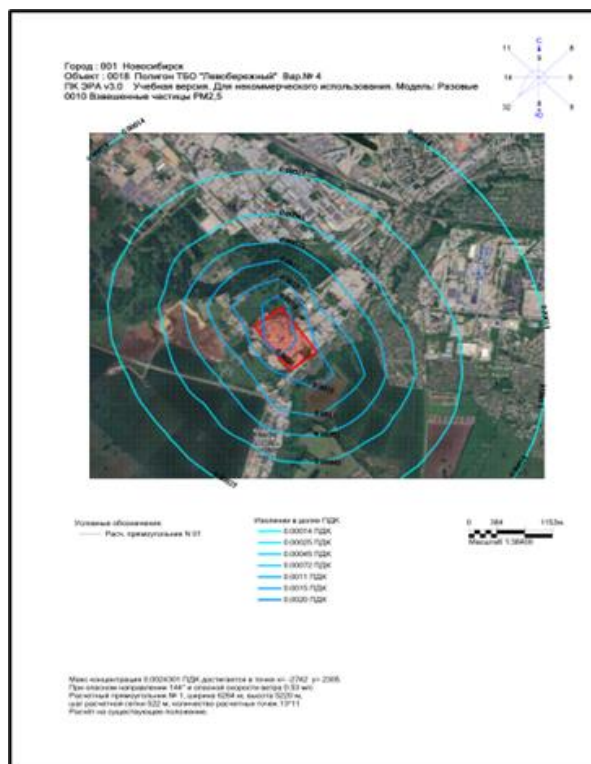


Рис. 1б. Анализ изолиний концентраций взвешенных частиц PM2,5

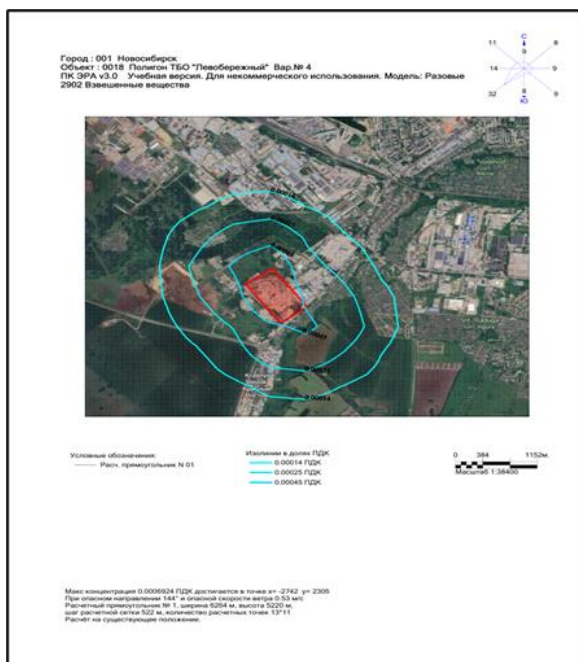


Рис. 1в. Анализ изолиний концентраций взвешенных веществ

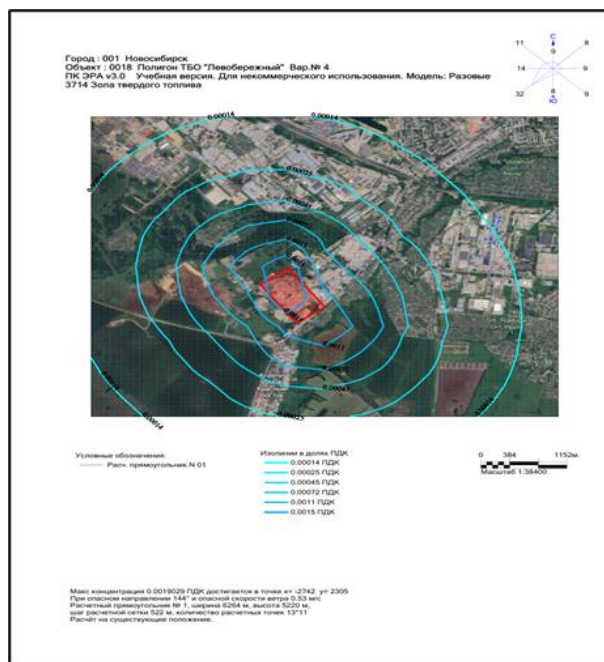


Рис. 1г. Анализ изолиний концентраций золы уноса твёрдого топлива

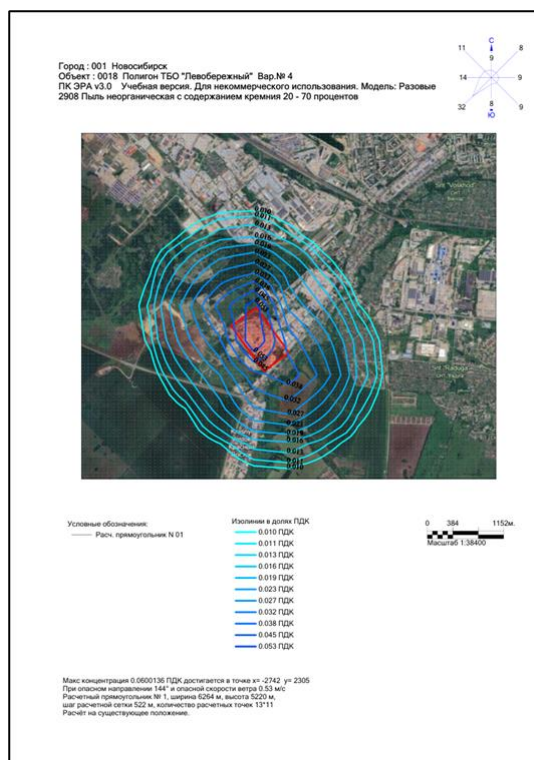


Рис. 1д. Анализ изолиний концентраций неорганической пыли

Однако, расчёты для группы суммации 6004 (коды 0303+0333+1325: аммиак, сероводород, формальдегид) выявили критическое экологическое неблагополучие (рис. 2). Максимальная концентрация достигала 4,7 ПДК. При опасном направлении ветра ореол токсичного загрязнения покрывает территории близлежащей жилой застройки.

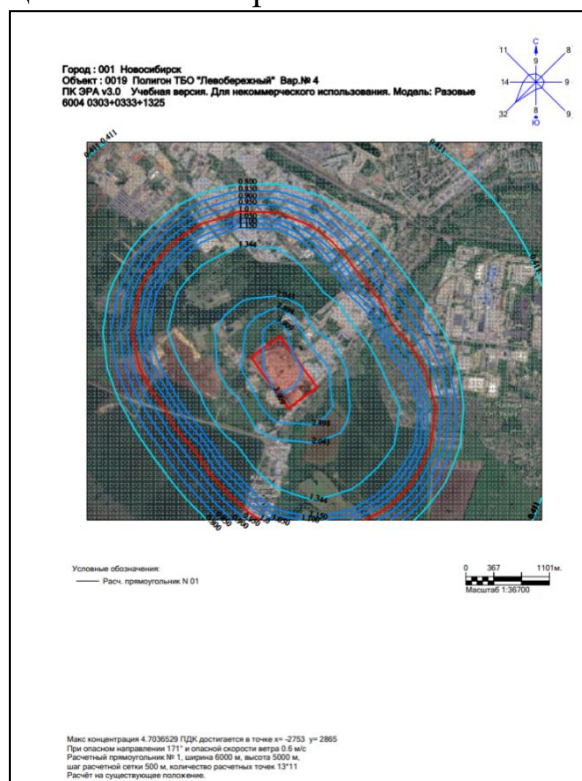


Рис. 2. Анализ изолиний концентраций для группы суммации аммиака, сероводорода, формальдегида

Указанное химическое воздействие напрямую коррелирует с результатами эпидемиологического анализа. Установлено, что в группе наблюдения доля лиц, имевших хотя бы один эпизод респираторного заболевания, составила 11,5 % (39 из 339), в то время как в группе контроля — 6,1 % (13 из 213). Результаты сравнения частоты обращений по поводу респираторных заболеваний приведены в табл. 1. Различия статистически значимы ($\chi^2 = 4,70$; $p = 0,030$).

Таблица 1

Результаты сравнения частоты обращений по поводу респираторных заболеваний

Показатель	Группа наблюдения (n=339)	Группа контроля (n=213)	χ^2	p-значение
Доля лиц с ≥ 1 эпизодом	39 (11,5 %)	13 (6,1 %)	4,70	0,030

При анализе других заболеваний с расчётом отношения шансов (OR) оценивалась вероятность их выявления. В анализ были включены все зарегистрированные в ходе исследования нозологические формы (табл. 2).

Таблица 2

Результаты регрессионного анализа вероятности выявления заболеваний

Заболевание	Случаев в гр. наблюдения	Случаев в гр. контроля	OR [95% ДИ]	p-значение
Анемия	18 (5,31%)	4 (1,88%)	2,87 [0,95–8,64]	0,0616
Бронхиальная астма	9 (2,65%)	7 (3,29%)	0,77 [0,28–2,12]	0,6105
Аллергический дерматит	7 (2,06%)	6 (2,82%)	1,40 [0,42–4,60]	0,5841
Холецистит/ДЖВП	11 (3,24%)	8 (3,76%)	0,84 [0,33–2,12]	0,7062
Вегето-сосудистая дистония	39 (11,50%)	24 (11,27%)	0,97 [0,56–1,68]	0,9187
Конъюнктивит	11 (3,24%)	9 (4,23%)	0,79 [0,32–1,97]	0,6188
Артериальная гипотензия	4 (1,18%)	1 (0,47%)	2,76 [0,30–25,09]	0,3674
Онкозаболевания	2 (0,59%)	5 (2,35%)	0,24 [0,04–1,24]	0,0880

Как видно из представленных данных, наиболее выраженные различия зафиксированы для анемии. Шанс выявления анемии у жителей группы наблюдения оказался почти в 3 раза выше (OR = 2,87). Для артериальной гипотензии и аллергического дерматита также отмечено повышение шансов (OR = 2,76 и OR = 1,40 соответственно).

4. Выводы

Таким образом, расчётные данные о высоких концентрациях свалочных газов находят прямое отражение в достоверно более высокой частоте обращений жителей по поводу респираторных заболеваний. Выявленная тенденция к повышению риска развития анемии также является следствием хронической интоксикации организма указанными токсикантами [1, 6]. Полученные результаты подчёркивают необходимость разработки технологических решений по дегазации полигона и усиления социально-гигиенического мониторинга.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Балахчина Т. К. Оценка воздействия свалочного газа с полигонов твердых бытовых отходов на человека / Т. К. Балахчина. – Москва : [б. и.], 2012. – 120 с.
2. Иванов Д. В. Оценка воздействия полигона твердых бытовых отходов на атмосферный воздух / Д. В. Иванов // Приоритетные направления развития науки в современном мире : сборник научных статей по материалам XVII Международной научно-практической конференции (Уфа, 03 июня 2025 г.). – Уфа : Вестник науки, 2025. – С. 33–38.
3. О состоянии и об охране окружающей среды Новосибирской области в 2024 году : государственный доклад / Министерство природных ресурсов и экологии Новосибирской области. – Новосибирск : [б. и.], 2025. – 208 с.
4. Гланц С. Медико-биологическая статистика / С. Гланц ; пер. с англ. – Москва : Практика, 1999. – 459 с.
5. Pampel F. C. Logistic regression: a primer / F. C. Pampel. – Thousand Oaks : SAGE Publications, 2000. – 85 p.
6. Клепиков О. В. Оценка риска для здоровья населения от объектов накопленного вреда окружающей среде – свалок твердых коммунальных отходов / О. В. Клепиков // Международный научно-исследовательский журнал. – 2023. – № 12(138). – С. 36.

ASSESSMENT OF THE INCIDENCE OF DISEASE AMONG THE POPULATION LIVING NEAR A SOLID WASTE POLYGENE

*Krivopustov Ilya Vladimirovich¹, student;
Koloberda Apolina Evgenievna², junior researcher;
Elistratova Elena Vladimirovna¹, associate professor*

¹Novosibirsk State Technical University,
630073, Russia, Novosibirsk, 20 Karl Marx Ave.

²Novosibirsk Research Institute of Hygiene,
630108, Russia, Novosibirsk, 7 Parkhomenko str.

Krivopustov I. V., e-mail: krivopustov.ilya@yandex.ru

Koloberda A. E., e-mail: koloberda_ae@niig.su

Elistratova E. V., e-mail: e.elistratova@corp.nstu.ru

Address for correspondence: Krivopustov Ilya Vladimirovich,
Novosibirsk State Technical University,
Department of Engineering Problems of Ecology,
20 Karla Marksa Ave., Novosibirsk, 630073, Russia.

Annotation: The article presents the results of modeling the dispersion of pollutants and a retrospective cohort analysis of the morbidity of the population living in the area affected by the Levoberezhny solid household waste landfill (Novosibirsk). The formation of zones with exceeding the MPC for the group of substances (up to 4.7 MPC) was revealed. Based on the data of 552 medical records, a statistically significant increase in the frequency of visits for respiratory diseases and an increased risk of anemia in residents living near the facility were identified. The results justify the need for increased socio-hygienic monitoring.

Keywords: Solid waste landfill, public health, respiratory diseases, air quality, emission dispersion modeling.

УДК 550.424.4:546.791

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ФОСФАТНОГО ГЕОХИМИЧЕСКОГО БАРЬЕРА ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ МИГРАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ХВОСТОХРАНИЛИЩ ЯТЦ

*Круглова Мария Сергеевна^{1,2}, студент; Богуславский Анатолий
Евгеньевич^{1,2}, д.г.-м.н.*

¹Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20.

²Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН,
630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3

Круглова М.С., e-mail: mash.cruglova2015@yandex.ru

Богуславский А.Е., e-mail: boguslav@mail.ru

Адрес для корреспонденции: Круглова Мария Сергеевна,
Новосибирский государственный технический университет,
кафедра инженерных проблем экологии (ИПЭ).
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20.

Аннотация: Применение геохимических барьеров является одним из наиболее доступных методов иммобилизации урана. В условиях грунтовых вод с высоким содержанием кальция появляется возможность введения фосфатов для образования фосфатно-кальциевых минералов, обладающих способностью удерживать уран. В работе проведены эксперименты по моделированию фосфатного геохимического барьера для иммобилизации урана в статических и динамических условиях. Были выявлены оптимальные значения концентраций ионов фосфата и кальция для эффективного осаждения, определены изменения

pH. Проверена эффективность работы геохимического барьера в модельных условиях водоносного горизонта. Получены данные о формировании фосфатно-кальциевых минеральных фаз, установлена сорбционная способность их по отношению к урану, а также устойчивость в условиях выщелачивания.

Ключевые слова: Геохимический барьер, фосфат кальция, уран, соосаждение, брушит.

1. Введение

Для хвостохранилищ предприятий ядерного топливного цикла (ЯТЦ), особую опасность представляет возможность распространения урана, который обладает высокой токсичностью и отрицательно влияет на экологическую обстановку [1]. Предприятия ЯТЦ в ходе переработки отработанного топлива образуют жидкие радиоактивные отходы, содержащие нитрат-кальцевые растворы с минерализацией 20 г/л. Данный тип вод при взаимодействии с растворимыми фосфатами образует геохимический барьер, способный задерживать на себе уран [2].

Перспективным методом предотвращения распространения урана является его соосаждение с малорастворимыми фосфатами кальция [3]. Также было установлена эффективная способность фосфатно-кальциевых минералов, таких как апатит и гидроапатит, удерживать на себе уран. Помимо этого, уран способен образовывать собственные фосфатные формы, такие как отенит $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ [4].

Целью данного исследования было установление условий образования фосфатного геохимического барьера на участках размещения предприятий ядерного топливного цикла, характеризующихся распространением высокоминерализованных нитратно-кальциевых вод.

2. Материалы и методы

В ходе эксперимента было проведено 2 типа экспериментов – статический и динамический.

Для проведения статического эксперимента в качестве модельных растворов использовались растворы нитрата кальция $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, гидрофосфата натрия Na_2HPO_4 , гидрофосфата калия K_2HPO_4 и ортофосфата калия K_3PO_4 с концентрациями 20000 мг/л, 2000 мг/л, 200 мг/л и 20 мг/л. Полученные растворы смешивали в объеме 50 мл в 16 колбах. Осаждение проводилось при комнатной температуре в течение 5 суток.

Исходя из результатов статического эксперимента для проведения динамического эксперимента по осаждению урана в колонке-реакторе были взяты модельные растворы концентрацией фосфатов калия 1237 мг/л (по фосфату PO_4) и раствор нитрата кальция $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ с концентрацией 1398 мг/л. В каждый раствор была добавлена соль урана $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$, концентрация которой по урану составила 30 мг/л. Похожий эксперимент был ранее описан в работе [5].

Установка представляла собой стеклянную лабораторную колонку, длиной 15 см, шириной 2,5 см, заполненную среднезернистым кварцевым песком с пористостью около 30-40%, отобранном в районе расположения отстойников

ЖРО. Масса песка составила 119 г. К колонке-реактору через две трубки, подключённые к перистальтическим насосам, подаётся раствор нитрата кальция $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ с примесью урана со скоростью 40,32 мл/сут и раствор фосфатов калия со скоростью 20,48 мл/сут. Отбор проб производится с периодичностью раз в три дня.

По окончании эксперимента грунт из колонки отобрали для проведения эксперимента по выщелачиванию, целью которого была проверка устойчивости урана в твёрдых фазах получаемых осадков под воздействием грунтовых вод. В ходе эксперимента по изучению процесса выщелачивания использовались растворы модельный раствор $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ с концентрацией 488 мг/л (рН 7,6) и образец грунтовых вод с концентрацией HCO_3^- с концентрацией 427 мг/л (рН 5,8). Навеска грунта бралась на разной глубине грунта (6 и 10 см) и составляла 1 г. Выщелачивание проводилось в течение 1 часа, затем отфильтрованный раствор анализировали.

Минеральный состав полученного фосфатного осадка был определён методом ИК - спектроскопии. Спектры записывались на двухлучевом спектрофотометре Spесord 75 IR в области $350\text{-}4000\text{ см}^{-1}$, с таблеткой чистого KBr в канале сравнения. Запись велась в пропускании. Для получения цифрового рисунка спектры записывались на спектрометре VERTEX 70 FT IR фирмы Брукер. Съёмка рентгеновских спектров проводилась на автоматизированном порошковом дифрактометре ДРОН-8, излучение CuK , детектор многоканальный Mythen 2R1D. Дифракционные картины были отсканированы вращением в интервале 2θ от 3 до 65 с шагом 0,1, время сканирования в точке – 5с, щель на первичном пучке 0,5мм.

Аналитические исследования выполнены в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН. Анализ растворов включал атомно эмиссионную спектрометрию с индуктивно-связанной плазмой ИСП-АЭ (IRIS Advantage), погрешность методов не превышает 5%. Для измерения рН полученных растворов использовался прибор «АНИОН-4100». Исследование образцов грунтов и полученных осадков производилось в ИГМ СО РАН с помощью сканирующего электронного микроскопа TESCAN MIRA 3LMU (Tescan, Чехия) с энергетическим спектрометром OXFORD (Oxford Instruments, Великобритания).

3. Результаты и обсуждение

Статичный эксперимент показал, что для осаждения фосфатов эффективно использование растворы фосфата калия, так как при сравнении изменения рН в растворах, полученных из фосфатов калия и натрия, существенных различий в значениях не наблюдалось. Однако растворимость фосфатов калия (267,5г/100мл) превышает растворимость фосфатов натрия (102,4 г/100мл), что позволяет готовить более концентрированные растворы. Также использование фосфатов калия являются более предпочтительно с экономической точки зрения.

При сравнении значений рН фосфата и гидрофосфата калия для первого наблюдалось защелачивание (рН 7-11 при $\text{C}(\text{PO}_4) = 10000\text{ мг/л}$) в сравнении со значениями для растворов K_2HPO_4 , при аналогичных условиях (рН = 4-8). В

следствие этого степень осаждения фосфата кальция выше особенно при концентрациях ионов Са 1000-10000 мг/л и ионов PO_4 100-1000 мг/л.

Результаты динамического эксперимента получены на основе анализа фильтрата на выходе из колонки, измерения скорости потока и исследования грунтов с осадками на электронном микроскопе.

Эксперимент длился 36 суток, в течение которых наблюдалось снижение концентрации Са и PO_4 на выходе из колонки, составив на 35 сутки 395 мг/л для ионов кальция и 267 мг/л для ионов фосфата. Концентрация урана в полученной пробе стала ниже порога обнаружения (менее 0,01 мг/л), что является признаком работы геохимического барьера.

Скорость движения растворов в колонке практически не менялась. Средняя скорость раствора нитрата кальция составляла 38 мл/сутки, раствора PO_4 26 мл/сутки. На 35 сутки наблюдалось резкое замедление скорости перемещения раствора нитрата кальция и прекращение снижения концентрации кальция на выходе из колонки вследствие процессов коагуляции порового пространства осадком фосфата.

По результатам СЭМ-фотографии осадков, полученных в реакторе и ИК спектроскопии осадка, полученного высушиванием раствора на выходе из колонки, было выявлено, что основной минеральной фазой является брусит $\text{Ca}(\text{HPO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. С помощью ИК-спектроскопии были подтверждены эти данные и установлена примесь в виде KNO_3 , образовавшаяся в результате упаривания очищенного раствора.

Содержание урана в исходных пробах до проведения выщелачивания оставляло 688 мкг для глубины 10 см и 4,73 мкг для глубины 6 см. После проведения выщелачивания для пробы содержание урана на глубине 10 см при действии $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ выщелачивание составило 0,63%, при выщелачивании образцом грунтовых вод - 0,41%. Для пробы из глубины 6 см выщелачивание составило 2,4% при действии $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Полученные результаты указывают на низкую эффективность выщелачивания урана, что свидетельствует о его устойчивости в полученном осадке при действии вод с высоким содержанием HCO_3^- .

4. Выводы

В ходе работы были проведены эксперименты по образованию фосфатного геохимического барьера в статичных и динамичных условиях. Выявлено, что оптимальными растворами для осаждения являются фосфаты калия. Концентрациями, обеспечивающие эффективное образование осадка, 100-1000 мг/л PO_4 и 1000-10000 мг/л для ионов Са, сопровождающееся защелачиванием.

В динамичном эксперименте на установке было наблюдалось снижение скоростей подачи растворов с ионами Са и PO_4 и их концентраций на выходе из колонки-реактора, что свидетельствует о процессе коагуляции пространства между порами песка внутри установки. Концентрация урана не превышала порог обнаружения (0,01 мг/л), что подтверждает удержание фосфатным осадком.

При исследовании образцов грунта и осадка, полученного на выходе их колонки удалось установить, что образовавшиеся фосфаты представлены минералом брушитом $\text{Ca}(\text{HPO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Эксперимент по выщелачиванию показал высокую степень удерживания урана фосфатами при воздействии вод с повышенным содержанием гидрокарбонат ионов, что подтверждает эффективность образования фосфатного геохимического барьера для предотвращения распространения урановых загрязнений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кузнецов В.М., Кузнецова Е.Э. Сравнительная потенциальная опасность предприятий ядерного топливного цикла // Теоретическая и прикладная экология. – 2007. – № 1. – С. 30

2. Никашина В.А. Проницаемые геохимические барьеры как способ защиты окружающей среды от загрязнений // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2019. – Т. 19, № 3.

3. Дойникова О.А., Тарасов Н.Н., Мохов А.В. Новый фосфатный тип урановых руд в России // Доклады Академии наук. – 2014. – Т. 457, № 4. – С. 434-438

4. Mehta V.S. Effect of Reaction Pathway on the Extent and Mechanism of Uranium(VI) Immobilization With Calcium and Phosphate / V.S. Mehta, F. Maillot, Z. Wang, J.G. Catalano, D.E. Giammar // Environ. Sci. Technol. — 2016. — № 50. — P. 3128–3136. DOI:10.1021/acs.est.5b06212.

5. Wen H. Enhanced Uranium Immobilization by Phosphate Amendment Under Variable Geochemical and Flow Conditions: Insights from Reactive Transport Modeling / H. Wen [et al.] // Environmental Science & Technology. - 2018. - Vol. 52, № 12. - P. 5841–5850. DOI: 10.1021/acs.est.8b00511.

MODELING THE FORMATION OF A PHOSPHATE GEOCHEMICAL BARRIER TO PREVENT POLLUTION MIGRATION FROM URANIUM TAILINGS

Kruglova Maria Sergeevna^{1,2}, student;

Boguslavsky Anatoly Evgenievich^{1,2}, doctor of Geological and Mineralogical Sciences

¹Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Karl Marx Ave.

²V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Koptug ave. 3, Novosibirsk, Russia, 630090

Kruglova M. S., e-mail: mash.cruglova2015@yandex.ru

Boguslavsky A. E., e-mail: boguslav@mail.ru

Address for correspondence: *Kruglova Maria Sergeevna*,
Novosibirsk State Technical University,

Annotation: The use of geochemical barriers is one of the most accessible methods for uranium immobilization. In conditions of groundwater with a high calcium content, it becomes possible to introduce phosphates to form calcium phosphate minerals capable of retaining uranium. This paper presents experiments on modeling a phosphate geochemical barrier for uranium immobilization under static and dynamic conditions. Optimal concentrations of phosphate and calcium ions for effective precipitation were identified, and changes in pH were determined. The efficiency of the geochemical barrier was tested under modeled aquifer conditions. Data on the formation of calcium phosphate mineral phases were obtained, their sorption capacity with respect to uranium was established, as well as their stability under leaching conditions.

Keywords: Geochemical barrier, calcium phosphate, uranium, coprecipitation, brushite.

УДК 621.002:658.345

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ УСЛОВИЙ ТРУДА РАБОЧИХ ПО «СЕВЕР» И РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ИХ УЛУЧШЕНИЮ

*Макаров Николай Александрович, студент; Цыганков Дмитрий
Анатольевич, к.т.н.*

Новосибирский государственный технический университет,
630073 Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20.

Макаров Н. А., e-mail 5kam1231@mail.ru

Цыганков Д. А., e-mail tsygankov@corp.nstu.ru

Адрес для корреспонденции: Макаров Николай Александрович

Новосибирский государственный технический университет,
кафедра инженерных проблем экологии (ИПЭ)

630073 Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20,

+ 7(908)317-91-84

Аннотация: В рамках проведённых исследований выполнен анализ условий труда рабочих ПО «Север», оценено их соответствие действующим санитарно-гигиеническим нормам, разработаны рекомендации по их улучшению, а также выявлены основные производственные риски, связанные с реализацией главных производственных процессов предприятия.

Цель исследования - разработка предложений по улучшению условий труда рабочих ПО «Север».

Задачи исследования: совершенствование организационных, технических и санитарно-гигиенических мероприятий, фактически проводимых в ПО «Север» и направленных на обеспечение безопасности, сохранение здоровья и повышение эффективности производственной деятельности рабочих в условиях воздействия на них опасных и вредных производственных факторов.

Ключевые слова: Условия труда, производственная безопасность, санитарно-гигиенические нормы, охрана труда, анализ рисков, средства индивидуальной защиты, противопожарная безопасность.

1. Введение

Условия труда влияют на производительность, качество и здоровье рабочих производственного предприятия. В современном производстве, характеризующемся передовыми технологиями, анализ условий труда особенно актуален, поскольку производственная среда включает в себя физические, психологические и социальные факторы, способные положительно или отрицательно влиять на здоровье рабочих.

В условиях глобализации и промышленной конкуренции предприятиям важно не только стремиться к прибыли, но и улучшать условия труда — для этого нужен комплексный подход и их регулярный мониторинг. Анализ условий труда помогает выявить существующие недостатки, оценить производственные риски, разработать меры по их устранению, а также повысить эффективность производственного процесса и улучшить моральный климат в коллективе.

2. Результаты и обсуждение

ПО «Север» — многопрофильный научно-производственный комплекс, выпускающий радио-, электротехническую и механическую продукцию для оборонной, энергетической и транспортной отраслей. Основные виды производств: механообработка, гальваника, сборка, штамповка, электровакуумное и конденсаторное производство [1]. Основные потребители — Министерство обороны России, атомные электростанции, предприятия энергетики и транспорта.

В результате проделанной работы выяснилось, что для всех рабочих, занятых выполнением различных производственных процессов, необходимо применение средств индивидуальной защиты (СИЗ), соответствующих характеру выполняемых работ. При этом при норме шумовой защиты (до 80 дБА) в ряде цехов (№ 1, 6 и 26) зафиксировано её превышение, равное 81–85 дБА.

Анализ медико-биологических факторов позволил сделать вывод о том, что медосмотры и инструктажи по технике безопасности в ПО «Север» проводятся регулярно.

При этом освещение - комбинированное (естественное и искусственное), соответствует нормативам, а противопожарная защита - системы пожаротушения и огнетушители находятся в наличии.

Анализ основных производственных процессов позволил сделать вывод о том, что на предприятии действуют следующие опасные производственные

факторы: работа с электричеством (риск поражения током); механические (травматизм при работе с оборудованием); химические (воздействие вредных веществ в гальванике и химии); термические (ожоги и перегрев).

Основными рабочими профессиями, попадающими под воздействие опасных производственных факторов, являются: электромонтёры; электротехники; гальваники; лаборанты химического анализа; лаборанты-испытатели; слесари; токари; фрезеровщики и шлифовщики.

Предложения по улучшению безопасности условий труда: внедрение роботизации и автоматизации производственных процессов; использование цифровых систем контроля и мониторинга; улучшение ассортимента и качества СИЗ; регулярное обучение и повышение квалификации персонала.

3. Выводы

1. Проведённый анализ условий труда рабочих ПО «Север» показал, что предприятие уделяет значительное внимание вопросам охраны труда и санитарно-гигиенической безопасности. На всех производственных участках обеспечено обязательное использование СИЗ, регулярно проводятся медицинские осмотры и инструктажи по технике безопасности, а также поддерживается необходимый уровень освещённости и противопожарной защиты. Это свидетельствует о системном подходе к формированию безопасной рабочей среды и соответствует современным требованиям к организации производства.

2. Вместе с тем, в ходе исследования были выявлены недостатки, требующие оперативного вмешательства. В частности, в ряде ключевых цехов — сборочном, ремонтно-механическом и цехе механообработки — зафиксировано превышение допустимых норм по уровню шума, что создаёт риск профессиональных заболеваний и снижения работоспособности персонала. Кроме того, производственные процессы, связанные с электричеством, механическими работами, химическими веществами и термическим воздействием, остаются источниками опасных факторов для определённых рабочих профессий: электромонтёров; гальваников; лаборантов; слесарей и токарей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. АО «ПО «Север» в Новосибирске | Многопрофильный научно-производственный комплекс [Электронный ресурс]/ - Режим доступа: <https://posever.ru/>

ANALYSIS OF WORKING CONDITIONS FOR WORKERS AT "NORTH" PLANT AND DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS TO IMPROVE THEM

Makarov Nikolay Alexandrovich, student
Tsygankov Dmitriy Anatol'evich, PhD, Associate Professor of IPE department

Novosibirsk State Technical University,
630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marks Avenue, 20,

Makarov N. A., e-mail: 5kam1231@mail.ru

Tsygankov D. A., e-mail: tsygankov@corp.nstu.ru

Address for correspondence: **Makarov N. A.**, Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marks Avenue, 20, + 7(908)317-91-84.

Abstract: The study analyzed the working conditions of workers at «Sever» plant, assessed their compliance with current sanitary and hygienic standards, developed recommendations for improvement, and identified the key production risks associated with the company's key production processes.

The objective of the study was to develop proposals for improving the working conditions of workers at «Sever» plant.

The objectives of the study were to improve the organizational, technical, and sanitary and hygienic measures actually implemented at «Sever» plant, aimed at ensuring safety, maintaining health, and increasing the efficiency of workers exposed to hazardous and harmful production factors.

Keywords: working conditions, industrial safety, sanitary and hygienic standards, labor protection, risk analysis, personal protective equipment, fire safety.

УДК 504:054; 551:583

РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ НА ГОРНОПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Меркурьева Наталья Андреевна, магистрант

Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20.

Меркурьева Н. А., e-mail: merkureva.nata.nstu@gmail.com

Адрес для корреспонденции: ***Меркурьева Наталья Андреевна,***

Новосибирский государственный технический университет,
кафедра безопасности труда (БТ)

630073, Россия, г. Новосибирск, проспект Карла Маркса, 20.
+7(961)715-02-55.

Аннотация: На примере ПАО «Кузбасская» проведён анализ выбросов парниковых газов угольной шахты. Установлено, что до 90% CO₂-эквивалента формирует метан. Удельный углеродный след продукции составляет 0,10–0,13 т CO₂-экв/т угля. Система дегазации с газопоршневыми станциями (12 МВт) позволяет утилизировать до 25% метана, сокращая выбросы на 300–350 тыс. т CO₂-экв/год. Главная проблема – вентиляционный метан низких концентраций. Требуется внедрение окислителей и господдержка.

Ключевые слова: Парниковые газы, метан, углеродный след, дегазация, газопоршневые станции, угольная шахта, утилизация метана.

1. Введение

Согласно Парижскому соглашению, ФЗ №296 и обязательствам РФ, угольная отрасль – приоритетный объект климатического регулирования. Метан (CH_4) при подземной добыче имеет $\text{GWP}_{20}=84$, $\text{GWP}_{100}=28$ –25. На шахты России приходится около 15% антропогенных выбросов метана. ПАО «Кузбасская» – крупнейшее угледобывающее предприятие РФ с газообильностью пластов 20–25 $\text{м}^3/\text{т}$.

Цель работы - проанализировать структуры выбросов, рассчитать удельный углеродный след, оценить эффективность решений.

2. Анализ и расчёт выбросов парниковых газов угольной шахты ПАО «Кузбасская»

Прямые выбросы (Score 1) формируются тремя категориями. Вентиляционный метан: ежесуточно 250–300 тыс. м^3 смеси с концентрацией 0,5–1,0%. При среднем объёме чистого метана 2,5 млн $\text{м}^3/\text{год}$, плотности 0,668 $\text{кг}/\text{м}^3$ и $\text{GWP}_{100}=25$ выброс составляет 41,8 тыс. т CO_2 -экв, но реально этот источник даёт 65–70% следа и не утилизируется. Дегазация извлекает около 50 млн $\text{м}^3/\text{год}$ чистого метана (концентрация 30–80%). Потенциальные выбросы без утилизации – 835 тыс. т CO_2 -экв, реально на ГПУ сжигается 12–15 млн м^3 . Суммарный Score 1 – 1,0–1,2 млн т CO_2 -экв/год, из которых 90–95% приходится на метан. [1,2]

Удельный показатель: при добыче 11 млн т/год и выбросах 1,1 млн т CO_2 -экв/год получаем 0,10 т CO_2 -экв/т угля (средний по РФ – 0,18–0,25). С учётом Score 2 (косвенные выбросы от электроэнергии) след достигает 0,8–1,2 т CO_2 -экв/т, но международная практика (TCFD) рекомендует фокус на Score 1.

Внедрённый комплекс – дегазация с газопоршневыми станциями. Бурятся скважины до 500 м, вакуумными насосами извлекается метановоздушная смесь, после осушки и очистки подаётся на шесть агрегатов GE Jenbacher J620 (2 МВт каждый). Установленная мощность – 12 МВт. Утилизация 12–15 млн $\text{м}^3/\text{год}$ метана даёт сокращение выбросов на 250–350 тыс. т CO_2 -экв/год (сожжённый CH_4 превращается в CO_2 , что снижает парниковый эффект в 25 раз). Экономический эффект: выработка 50–60 ГВт·ч/год замещает покупную энергию (~4 руб./кВт·ч), экономия – 200 млн руб./год. Капитальные затраты окупаются за 3–4 года.

Анализ рисков по TCFD моделирует сценарии роста температуры на 1,5°C и >4°C к 2100 году. Выявлены вызовы: ухудшение качества сырья, рост затрат на инфраструктуру и энергообеспечение.

3. Выводы

Для ПАО «Кузбасская» основной источник выбросов – метан (до 90% Score 1). Удельный углеродный след – 0,10–0,13 т CO_2 -экв/т угля.

Система дегазации с ГПУ мощностью 12 МВт утилизирует 23% метана и окупается за счёт экономии электроэнергии. Необходимо внедрение окислителей VRM.

Главная проблема – вентиляционный метан низких концентраций. Требуется внедрение окислителей и господдержка. Без этого цели Парижского соглашения недостижимы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Межправительственная группа экспертов по изменению климата. Руководство по инвентаризации выбросов парниковых газов. – 2019 Refinement. – Женева : МГЭИК, 2019. – 520 с.

2. Российская Федерация. Министерство природных ресурсов и экологии. Об утверждении методики количественного определения выбросов парниковых газов : Приказ № 371 от 27.05.2021. – Москва, 2021. – 45 с.

REGULATION OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS AT MINING ENTERPRISE

Merkureva Natalia Andreevna, master's student

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, K.Marx ave., 20.

Merkureva N. A., e-mail merkureva.nata.nstu@gmail.com

Address for correspondence: Merkureva Natalia Andreevna,

Novosibirsk State Technical University,
630073, Russia, Novosibirsk, K. Marx ave., 20,
+7 (961) 715-02-55.

Annotation: An analysis of greenhouse gas emissions from a coal mine was conducted using the example of Kuzbasskaya PJSC. It was found that methane accounts for up to 90% of CO₂-equivalent emissions. The specific carbon footprint of the product is 0.10-0.13 t CO₂-eq/t of coal. A degassing system with gas-piston stations (12 MW) allows for the utilization of up to 25% of methane, reducing emissions by 300-350 thousand tons of CO₂-eq/year. The main problem is low-concentration vented methane. The introduction of oxidizers and government support is required.

Keywords: Greenhouse gases, methane, carbon footprint, degassing, gas piston stations, coal mine, methane utilization.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО УДОБРЕНИЯ ИЗ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА НА УРОЖАЙНОСТЬ КАПУСТЫ БЕЛОКОЧАННОЙ

Немущенко Дмитрий Андреевич¹, старший преподаватель; Рубцов Александр Алексеевич², директор ООО «БИО-Р»; Сулейманова Гюнай Шакировна³, аспирант; Бустонов Рахматулло Хусенович³, аспирант

¹Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

²Общество с ограниченной ответственностью «БИО-Р»,
630132, Россия, г. Новосибирск, ул. Нарымская, 20, кв. 29

³Сибирский государственный университет инженерии и биотехнологий,
630039, Россия, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160

Немущенко Д.А., e-mail: nemuschenko@corp.nstu.ru

Рубцов А.А., e-mail: alex.rub@bk.ru

Сулейманова Г.Ш., e-mail: o.mir-2011@mail.ru

Бустонов Р.Х., e-mail: o.mir-2011@mail.ru

*Адрес для корреспонденции: Рубцов Александр Алексеевич,
ООО «БИО-Р», 630132, Россия, г. Новосибирск, ул. Нарымская, 20, кв. 29,
+7-913-914-2368.*

Аннотация: В работе представлены результаты использования концентрированного органического удобрения в жидкой и гранулированной формах марки БИО-Р для выращивания капусты белокочанной раннего (гибрид Грин Флэш) и среднепозднего срока (гибрид Агрессор F1). Исследования проведены в производственных условиях Новосибирской области – ООО ОПХ «Дары Ордынки», с. Вагайцево Ордынского района Новосибирская область.

Ключевые слова: Капуста белокочанная, отходы животноводства, гранулированное органическое удобрение, урожайность.

1. Введение

Капуста известна всему миру и широко возделывается как в условиях богары на поливе, так и в зоне влажного климата и закрытого грунта. Существует широкое разнообразие полезных продуктов питания из неё, в зависимости от рецептуры: в свежем и квашеном виде, после переработки на пюре, сухой порошок, замороженные полуфабрикаты. Известно, что она содержит до 12 % сухих веществ, 6,7 % сахаров, 2,5 % белка, 1,2 % минеральных веществ, до 62 мг/100 г витамина С, незаменимые аминокислоты: триптофан, метилметионин, лизин, тирозин. Углеводы представлены преимущественно глюкозой и фруктозой. В минеральном составе преобладает калий, благоприятно влияющий на водный и жировой обмен в организме [1, 2]. Во многих странах мира возрос интерес к выращиванию капусты (табл.).

Мировое производство капусты

Страна	Производство, млн. т	Изменение площади за 10 лет, %	Среднедушевое производство, кг/чел.
Китай	35,6	11,0	25,2
Индия	9,80	16,8	7,0
Южная Корея	2,4	5,4	46,7
Российская Федерация	2,3	–30,6	15,7
Украина	1,5	–20,2	–
Индонезия	1,5	3,7	5,6
Япония	1,5	1,2	11,6
Кения	1,4	в 2,7 раза	29,1
Вьетнам	1,2	37,6	11,7
США	1,0	14,9	3,1

Лидируют в производстве данного овоща Китай и Индия, по среднедушевому производству Китай, Южная Корея, Россия, Япония, Кения и Вьетнам. В нашей стране площади уменьшились за последние годы на треть, а в Кении, наоборот, в 3 раза возросли. Уникальность биохимического состава, многофункциональность как пищевого, так и лекарственного растения предопределяют необходимость разработки и совершенствования безопасных для здоровья населения технологий выращивания капусты. Одним из важных технологических приёмов должно стать внедрение жидких и гранулированных форм органического удобрения марки БИО-Р.

Цель исследования: оценка влияния органического удобрения БИО-Р на продуктивность капусты. Задачи состояли в том, чтобы исследовать реакцию сортов капусты раннего и среднего срока созревания на включение в технологический цикл выращивания нового органического удобрения БИО-Р в жидкой и гранулированной форме, которое получено методом анаэробного сбраживания отходов животноводства в биогазовой установке.

2. Методика и результаты эксперимента

Исследования проведены в овощеводческом хозяйстве ООО ОПХ «Дары Ордынска» Новосибирской области Ордынского района в четырехпольном севообороте: капуста – морковь – картофель – горох. Хозяйство является одним из крупных поставщиков овощей в торговые сети.

Технология выращивания капусты осуществлялась традиционно кассетным способом. Предварительно внесены минеральные удобрения с учётом типа почвы и остаточного количества элементов после предшественника. Разработаны схемы опытов по выращиванию скороспелого гибрида Грин Флеш и среднепозднего гибрида Агрессор F1: контроль, с обработкой рассады и растений различными формами удобрения БИО-Р.

По результатам проведённого эксперимента выявлена эффективная схема обработки рассады капусты жидкой и гранулированной формой органического удобрения БИО-Р. Продуктивность возрастает на 19,2-30,6 % у скороспелого гибрида и на 43,6-57,1 % – у среднепозднего.

3. Выводы

В условиях сильной деградации плодородия почв в аграрном секторе экономики Российской Федерации и глобального роста цен на минеральные удобрения, ужесточения экологических стандартов одним из эффективных методов стабилизации производства капусты и овощей является применение органических удобрений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Тихомирова, Г. А. Витамин С: классические представления и новые факты о механизмах биологического действия / Г. А. Тихомирова, Г. М. Абдуллина, И. Г. Кулагина // Вятский медицинский вестник. – 2007. – № 4. – С. 158-161.

2. Лифляндский, В. Г., Закраевский, В. В., Андронова, М. Н. Лечебные свойства пищевых продуктов. – М.: Терра, 1999. – 544 с.

EFFECT OF LIQUID AND GRANULAR ORGANIC FERTILIZER BIO-R ON THE YIELD OF WHITE CABBAGE

*Nemushchenko Dmitry Andreevich¹, senior lecturer;
Rubcov Aleksandr Alekseevich², director of ООО "BIO-R";
Sulejmanova Gyunaj Shakirovna³, graduate student;
Bustanov Rahmatullo Husenovich³, graduate student*

¹Novosibirsk State Technical University,
630073, Russia, Novosibirsk, pr. K. Marks, 20

²Limited Liability Company "BIO-R",
630132, Russia, Novosibirsk, Narymskaya St., 20, of. 29

³Siberian state university of engineering and biotechnology,
630039, Russia, Novosibirsk, Dobrolyubova St., 160

Nemushchenko D.A., e-mail: nemuschenko@corp.nstu.ru

Rubcov A.A., e-mail: alex.rub@bk.ru

Sulejmanova G.S., e-mail: o.mir-2011@mail.ru

Bustanov R.H., e-mail: o.mir-2011@mail.ru

*Address for correspondence: Rubcov Aleksandr Alekseevich, ООО "BIO-R",
630132, Russia, Novosibirsk, Narymskaya St., 20, of. 29, tel. +7-913-914-2368.*

Annotation: The results of using BIO-R brand concentrated organic fertilizer in liquid and granular forms for growing early (Green Flash hybrid) and mid-late (Agressor F1 hybrid) white cabbage are presented. The studies were conducted in the

Novosibirsk region at the Farm «Dary Ordynki», Vagaytsevo village, Ordynsky District, Novosibirsk Region.

Keywords: Cabbage, organic fertilizer, granulated organic fertilizer, yield.

УДК 628.477.6:691.175

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ СВЯЗУЮЩЕГО ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ И ЛИГНОЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ

*Несов Николай Алексеевич, студент; Овсянникова Алиса
Александровна, студент; Немущенко Дмитрий Андреевич, старший
преподаватель*

Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

Несов Н.А., e-mail: nesov.koly@gmail.com

Овсянникова А.А., e-mail: zorua888444@gmail.com

Немущенко Д.А., e-mail: nemuschenko@corp.nstu.ru

Адрес для корреспонденции: Немущенко Дмитрий Андреевич,

Новосибирский государственный технический университет,
кафедра инженерных проблем экологии (ИПЭ).

630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20.

Аннотация: Проведён анализ состояния в области получения полимерных композитов на основе лигноцеллюлозных наполнителей. В результате анализа литературы и патентного поиска разработан ряд рецептов с различным соотношением компонентов, размером фракций наполнителей, способов обработки биомассы, варьированием условий формования. В качестве матрицы определён вторичный полиэтилен, как наиболее массовый полимер в составе коммунальных отходов. Изготовлены экспериментальные образцы композитов методом горячего прессования. На основе результатов испытаний выявлены области возможного применения разработанного композита.

Ключевые слова: Полимерные отходы, пластиковые отходы, полимерные композиты, утилизация отходов.

1. Введение

Современная цивилизация сталкивается с беспрецедентными вызовами, связанными с накоплением огромных объёмов полимерных отходов и необходимостью эффективного использования вторичных ресурсов. Ежегодное производство полимеров исчисляется сотнями миллионов тонн, значительная часть которых после кратковременного использования попадает на свалки, загрязняя окружающую среду и создавая долгосрочные экологические угрозы [1]. Параллельно с этим, существует множество видов лигноцеллюлозных

отходов – отходы лесопереработки, сельского хозяйства, бумажной промышленности – которые также представляют собой проблему утилизации и требуют рационального использования.

В условиях растущей потребности в экологически безопасных и экономически эффективных материалах, разработка композиционных материалов на основе вторичного сырья приобретает особую актуальность. Одним из перспективных направлений является создание композитов, где в качестве связующего компонента выступают переработанные полимеры, а в качестве наполнителя – лигноцеллюлозные материалы [2, 3]. Такие композиты обладают потенциалом не только для снижения экологической нагрузки, но и для получения материалов с уникальными и улучшенными физико-механическими свойствами, превосходящими свойства компонентов по отдельности.

Лигноцеллюлоза, являясь природным, возобновляемым и биоразлагаемым материалом, обладает такими ценными характеристиками, как низкая плотность, высокая прочность на растяжение, жёсткость и хорошая термическая стабильность. Введение лигноцеллюлозных частиц в полимерную матрицу может способствовать увеличению модуля упругости, снижению плотности, улучшению теплоизоляционных свойств готового изделия [4, 5]. Установлено, что шелуха овса обладает уникальным сочетанием свойств – высоким содержанием целлюлозы и лигнина, пористой структурой, низкой плотностью и значительным содержанием биогенного кремнезёма, что обеспечивает её совместимость с различными матрицами (полимерными, цементными, гипсовыми и др.). Переработанные полимеры, в свою очередь, предоставляют возможность создания экономически выгодной и экологически ответственной матрицы для этих натуральных наполнителей.

2. Цель и задачи работы

Настоящее исследование направлено на изучение физико-механических свойств композитов, сформированных на основе связующего из полимерных отходов и лигноцеллюлозных наполнителей. Целью работы является установление закономерностей влияния состава и структуры указанных композитов на их механические показатели, такие как прочность, водопоглощение, теплопроводность, а также оценка их потенциала для практического использования в строительной отрасли. Полученные результаты позволят оптимизировать состав и технологию получения композитов, способствуя развитию технологий вторичной переработки полимеров и созданию новых функциональных материалов из отходов.

3. Методика исследований

Образцы композитов формовали методом горячего прессования по разработанной ранее рецептуре: 60 масс. % полимерного связующего, 20 % песка (для увеличения прочности), 20 % лигноцеллюлозного наполнителя. В роли наполнителя использовались опилки различных фракций и шелуха овса.

В качестве матрицы использовали вторичный полиэтилен, источником которого служили пластиковые канистры. Канистры измельчали в режущей

мельнице до размеров частиц менее 3 мм. Опилки хвойных пород были разделены ситовым методом по фракциям: 0,08-0,5 мм и 0,5-1,0 мм.

Шелуху овса промывали, высушивали и измельчали в режущей мельнице. Для сравнения поверхность шелухи травили 2 % раствором щелочи NaOH при 95 °С с целью увлечения пористости.

Для равномерного распределения наполнителей в матрице использовали водный раствор поливинилового спирта (ПВС). Компоненты взвешивали по рецептурам, смешивали лопастной мешалкой в сухом виде и с раствором ПВС, масса засыпалась в пресс-форму, разогревалась до определённой температуры (температуры размягчения связующего) и прессовалась.

4. Результаты и обсуждение

Полученные образцы проходили испытания на прочность при изгибе, водопоглощение, теплопроводность, определялась плотность по методикам ГОСТ для материалов строительного назначения. Проведённое исследование подтвердило высокий потенциал таких наполнителей, как опилки и шелуха овса, как функционального, возобновляемого и экономически выгодного наполнителя для создания композиционных материалов.

Дальнейшая работа заключается в корректировке метода получения композита, выявлении на основе результатов испытаний области применения полученного материала.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Compendium of Polymer Terminology and Nomenclature: IUPAC RECOMMENDATIONS / R. G. Jones, Edward S. Wilks, W. Val Metanowski, J. Kahovec, M. Hess, R. Stepto, T. Kitayama – UK, Cambridge: RSC Publ., 2009 – 464 p.

2. Современные технологии переработки полимерных отходов и проблемы их использования / В. Н. Шахова, А.А. Воробьева, И. А. Виткалова, А. С. Торлова, Е. С. Пикалов // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 11 (2). – С. 320-325.

3. Rice husk waste into various template-engineered mesoporous silica materials for different applications: A comprehensive review on recent developments / Amanuel Gidey Gebretatios, Abdul Rasheed Kadiri Kanakka Pillantakath, Thongthai Witoon, Jun-Wei Lim, Fawzi Banat, Chin Kui Cheng // Chemosphere. – 2022. – № 310. – 136843. – DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.136843.

4. Возможность использования шелухи овса в качестве наполнителя композитных материалов [Электронный ресурс] / Н.И. Черкашина, Д.С. Романюк, Р.В. Сидельников, Р.А. Баринов // I Международная VII Всероссийская конференция «ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ», 2024. – URL: <https://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/НИИТ/2024/НИИТ/pages/Articles/0512.pdf>

5. Biocomposites for sustainable construction: A review of material properties, applications, research gaps, and contribution to circular economy / Waqas Ahmad,

STUDY OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITES BASED ON A BINDER FROM POLYMER WASTE AND LIGNOCELLULOSIC FILLERS

Nesov Nikolaj Alekseevich, student;

Ovsyannikova Alisa Aleksandrovna, student;

Nemushchenko Dmitry Andreevich, senior lecturer

Novosibirsk State Technical University,

630073, Russia, Novosibirsk, pr. K. Marks, 20

Nesov N.A., e-mail: nesov.koly@gmail.com

Ovsyannikova A.A., e-mail: zorua888444@gmail.com

Nemushchenko D.A., e-mail: nemuschenko@corp.nstu.ru

Address for correspondence: Nemushchenko Dmitry Andreevich,

Novosibirsk State Technical University,

Department of Engineering Problems of Ecology,

20 Karla Marksa Ave., Novosibirsk, 630073, Russia.

Annotation: An analysis of the state of the art in producing polymer composites based on lignocellulosic fillers was conducted. A literature review and patent search resulted in the development of a series of formulations with varying component ratios, filler fraction sizes, biomass processing methods, and molding conditions. Recycled polyethylene, the most common polymer found in municipal waste, was selected as the matrix. Experimental composite samples were produced using hot pressing. Based on the test results, potential applications for the developed composite were identified.

Keywords: Polymer waste, plastic waste, polymer composites, recycling.

**СОЗДАНИЕ СЕПАРАТОРОВ НА ОСНОВЕ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ,
ВЫДЕЛЕННОЙ ИЗ БИОМАССЫ МИСКАНТУСА,
ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ НАКОПЛЕНИЯ
ЭНЕРГИИ**

Перебейнос Алина Александровна, аспирант; Мозылева Мария Андреевна, инженер; Медведева Татьяна Борисовна, м.н.с; Лебедева Марина Валерьевна, с.н.с; Громов Николай Владимирович, к.х.н., в.н.с.; Пармон Валентин Николаевич, академик РАН

Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. +7(913) 005-48-19

Перебейнос А.А., e-mail: perebejnos.2018@stud.nstu

Медведева Т.Б., e-mail: tanmedvedeva@mail.ru

Громов Н.В., Пармон В.Н., e-mail: n.v.gromov@corp.nstu.ru

Адрес для корреспонденции: Громов Николай Владимирович,

Новосибирский государственный технический университет,

кафедра инженерных проблем экологии (ИПЭ)

630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20.

Аннотация: В работе были изготовлены сепараторы из целлюлозы мискантуса. Характеристики полученных целлюлозных мембран сопоставимы с коммерческими сепарационными материалами, применяемыми в суперконденсаторах. Целлюлозные сепараторы были протестированы в прототипе суперконденсатора в корпусе батарейки-таблетки CR2032. Показано, что целлюлозный сепаратор, полученный с применением ионной жидкости, имеет типичную форму кривой в виде полуокружности и наклонной кривой Варбурга и схожую показателями коммерческого образца.

Ключевые слова: Целлюлоза мискантуса, сепаратор, суперконденсатор.

1. Введение

Одно из приоритетных направлений современной науки и техники – разработка эффективных электрохимических систем накопления энергии, таких как суперконденсаторы (СК). Эффективность таких устройств определяется свойствами электродов, электролита и сепаратора. Сепаратор разделяет электроды, предотвращает короткое замыкание и обеспечивает транспорт ионов. К сепараторам предъявляются следующие требования: тонкости, пористости, стабильности и хорошей смачиваемости электролитом [1]. Для изготовления сепараторов суперконденсаторов используются материалы на основе как синтетических полимеров, так и целлюлозы. Целлюлозные мембраны можно использовать в устройствах как с водными, так и органическими электролитами. Кроме того, такие сепараторы более экологичные, т.к. при утилизации

целлюлозных сепараторов эмиссия CO_2 вдвое ниже по сравнению с полиолефиновыми сепарационными материалами [1].

В качестве целлюлозосодержащего сырья для изготовления сепараторов возможно использовать возобновляемую недревесную биомассу, в частности перспективную для России культуру – мискантус Сорановский. Данное растение характеризуется высоким приростом биомассы (10-15 т/га/год) и содержанием в нем целлюлозы (до 51 %), неприхотливо к почвам, морозоустойчиво [2].

В данной работе была исследована возможность применения сепарационных мембран на основе целлюлозы мискантуса в суперконденсаторах.

2. Методика экспериментального исследования

Выделение целлюлозы из мискантуса Сорановского (урожай март 2021 года) проводили окислительной, восстановительной и кислотной обработками в присутствии 1) уксусной кислоты и пероксида водорода, 2) водорода и катализатора, 3) азотной кислоты соответственно [3]. Полученные образцы целлюлозы отличались содержанием α -целлюлозы, лигнина и др. примесей, а также степенью полимеризации (СП). Определение α -целлюлозы, примесей, СП проводили по методикам, описанным в [4] и [5].

На основе различных целлюлоз были изготовлены сепараторы для СК. Целлюлозные сепараторы были получены путём инверсии фаз 1) из смеси с массовым соотношением реагентов целлюлоза/ДМА (диметилацетамид)/LiCl = 1/4/35, и 2) с применением ионной жидкости 1-этил-3-метилимидазолия хлорид и хлорида цинка ([Emim]Cl/ZnCl₂).

Толщину образцов определяли с помощью цифровой измерительной головки с точностью 0,001 мм (1 мкм). Поглощение электролита и пористость определяли гравиметрическим методом по разнице масс сухого и выдержанного в 1M Na₂SO₄ и H₂O образца сепаратора соответственно.

Сепараторы были испытаны в прототипе СК в корпусе батарейки-таблетки CR2032 с использованием 1M Na₂SO₄ в качестве электролита (электрод – коммерческий кокосовый уголь).

3. Результаты и обсуждение

Приготовленные сепараторы обладали характеристиками, сопоставимыми с коммерческими образцами. Пористость образцов варьировалась от 48 до 65%, толщина составила 18-90 мкм, поглощение электролита – 44–132%. Были получены циклические вольтамперные кривые (со скоростью развёртки потенциала 10 мВ/с). Среди целлюлозных сепараторов образец, изготовленный из целлюлозы мискантуса, полученной окислительной делигнификацией, и с применением [Emim]Cl/ZnCl₂, имеет наименьшее сопротивление и типичную форму кривой в виде полуокружности и наклонной кривой Варбурга, что сопоставимо с коммерческим сепаратором.

4. Выводы

В работе показано, что целлюлоза мискантуса может быть использована для изготовления сепарационных материалов, применяемых в устройствах накопления и хранения энергии.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 24-13-00406).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Lebedeva M. V., Mozyleva M. A., Parmon V. N. Technical Approaches for Preparation of Cellulose-Based Separators for Application in Supercapacitors // *Energy Technology*. 2025. V. 13. N. 10. P. 2402365.
2. Shavyrkina N. A., Budaeva V. V., Skiba E. A., Gismatulina Y. A., Sakovich G. V. Review of Current Prospects for Using Miscanthus-Based Polymers // *Polymers*. 2023. V. 15. N. 14. P. 3097.
3. Перебейнос А.А., Черепанова К.С., Черенков И.А., Медведева Т.Б., Громов Н.В., Пармон В.Н. Электроизоляционные мембраны для суперконденсаторов на основе целлюлозы мискантуса // В сборнике Наука. Технологии. Инновации // Сборник научных трудов в 9 ч. Часть 9 (НТИ-2025). – Т.9. – НГТУ., 2025. – С.281-283.
4. Оболенская А. В., Ельницкая З. П., Леонович А. А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М: Экология, 1991. 320 с.
5. ГОСТ 25438-82. Целлюлоза для химической переработки. Методы определения характеристической вязкости [Электронный ресурс]. URL: // <https://docs.cntd.ru/document/1200018032> (дата обращения: 10.04.2026).

DEVELOPMENT OF SEPARATORS BASED ON CELLULOSE ISOLATED FROM MISCANTHUS BIOMASS FOR ELECTROCHEMICAL ENERGY STORAGE DEVICES

Perebeinos Alina Alexandrovna, PhD student; Mozyleva Maria Andreevna, engineer; Medvedeva Tatiana Borisovna, junior researcher; Lebedeva Marina Valerievna, senior researcher; Nikolay Vladimirovich Gromov, PhD., Parmon Valentin Nikolayevich, academician of the Russian Academy of Sciences

Novosibirsk State Technical University,

630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marx av., 20

Perebeinos A.A., e-mail: perebeinos.2018@stud.nstu

Medvedeva T.B., e-mail: tanmedvedeva@mail.ru

Gromov N.V., Parmon V.N., e-mail: n.v.gromov@corp.nstu.ru

Address for correspondence: **Gromov Nikolay Vladimirovich**,

Novosibirsk State Technical University,

Department of Engineering Problems of Ecology,

20 Karla Marksa Ave., Novosibirsk, 630073, Russia.

Boreskov Institute of Catalysis SB RAS,

5 Lavrentiev av., Novosibirsk, 630090, Russia

gromov@catalysis.ru

Annotation: In this work, separators were fabricated from miscanthus cellulose. The characteristics of the obtained membranes are comparable to those of commercial separators used in supercapacitors. The cellulose separators were tested in a prototype supercapacitor housed in a CR2032 coin cell battery. It was shown that the cellulose separator produced using an ionic liquid exhibits a typical curve shape (a semicircle and a sloping Warburg curve) and is similar to that of a commercial sample.

Keywords: Miscanthus cellulose, separator, supercapacitor.

УДК 504.064.36:628.4.047

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ХРАНИЛИЩА ОПАСНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ Г. НОВОСИБИРСКА В ЧАСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НЕДРА И ЗЕМЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ

Петелина Марина Сергеевна¹, студент; Шеболтасов Артем Геннадьевич^{1,2}, аспирант; Богуславский Анатолий Евгеньевич^{1,3}, д.г.-м.н.

¹Новосибирский государственный технический университет,
пр. Карла Маркса, 20, Новосибирск, 630073, Россия

²Институт катализа СО РАН, пр. Академика Лаврентьева, 5, Новосибирск,
630090, Россия

³Институт геологии и минералогии СО РАН, Академика Коптюга пр. 3,
Новосибирск, 630090, Россия

Петелина М. С., e-mail: m.s.petelina@yandex.ru

Шеболтасов А. Г., e-mail: asheb@catalysis.ru

Богуславский А. Г., e-mail: boguslav@mail.ru

*Адрес для корреспонденции: Петелина Марина Сергеевна,
Новосибирский государственный технический университет,
кафедра инженерных проблем экологии (ИПЭ).
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20.*

Аннотация: В рамках исследования осуществляется комплекс проектных работ, начиная со стадии предпроектной проработки, выполняя расчёты в обосновании проектов, до разработки мер по уменьшению воздействия на недра и земельные ресурсы.

Проведена оценка потенциальных значимых воздействий на окружающую среду намечаемой деятельности в части воздействия на недра и земельные ресурсы, оценка достаточности принятых в проекте природоохранных мероприятий, а также рекомендованы дополнительные мероприятия, предотвращающие или смягчающие выявленные негативные воздействия намечаемой деятельности на окружающую среду в части воздействия на недра и земельные ресурсы [1].

Выполнено картографическое моделирование в программе QGIS: создана цифровая карта полигона с пространственной привязкой границ, построены высотные профили рельефа и выполнен гидрологический анализ. Это дает основу для последующей оценки воздействий на недра и земельные ресурсы, а также для обоснования принимаемых проектных и природоохранных решений.

Ключевые слова: Опасные промышленные отходы, хранилище отходов, воздействие на окружающую среду, загрязнение недр, земельные ресурсы.

1. Введение

Полигоны размещения и хранения опасных отходов оказывают многокомпонентное воздействие на все сферы окружающей среды: атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, почвенный покров, недра и биотические сообщества.

В работе принята следующая логическая схема: пространственный анализ территории, инженерное проектирование с минимизацией воздействий, компенсационные мероприятия, система мониторинга.

В соответствии с поставленной целью в работе решены следующие задачи:

1. Создание картографической основы территории и определение пространственных границ влияния объекта, включая зоны прямого и косвенного воздействия.

2. Установление полного перечня объектов капитального строительства, попадающих в зону влияния, и их количественный учёт.

3. Проведение количественной оценки необходимого землеотвода с определением площадей изъятия земляных масс.

4. Разработка карты-схемы с выделением санитарно-защитных зон и размещением объектов на полигоне.

5. Разработка карт анализа рельефа территории и водосборной способности почвы.

6. Проектирование сети пунктов мониторинга за состоянием почв, грунтовых вод и атмосферного воздуха.

2. Результаты и обсуждение

Картографическое проектирование

Картографический этап выполнен с использованием программного обеспечения QGIS. В качестве исходных данных использовались спутниковые снимки с актуальной информацией о рельефе, гидрографии, дорожной сети и землепользовании.

Инструменты анализа, примененные в работе: модуль буферных зон для выделения санитарно-защитных зон; инструменты пространственного анализа растров (рельеф, уклоны); модули для оцифровки и атрибутивного описания точечных, линейных и полигональных объектов.

Территория планирования: земельный участок, располагающийся по адресу Новосибирская область, Новосибирский р-н, с/с Станционный, имеет кадастровый номер: 54: 19: 12001:14897, с общей площадью 3 224 145 м². На данном участке спроектирован полигон, с общей площадью 0,11 км².

На основе анализа нормативных требований [2] и расчётных параметров воздействия были определены две санитарно-защитные зоны (СЗЗ) (рис.):

- СЗЗ-500 — зона с расстоянием 500 м от границы проектируемого полигона (зона регулярного контроля);
- СЗЗ-1000 — зона с расстоянием 1 км (зона периодического наблюдения).



Рис. Санитарно-защитные зоны полигона

Проектным решением стало разделение всех объектов строительства на очереди возведения:

- Первая очередь — объекты первоочередного строительства.
- Вторая очередь — вспомогательная и инфраструктурная застройка.
- Третья очередь — объекты рекультивации.

Разделение по очередям возведения позволяет управлять нагрузкой на окружающую среду во времени, а также оптимизировать потенциальные комплексные проектные меры.

На территории планируемого полигона определен полный перечень объектов, подлежащих учёту [3]:

- зона складирования общей площадью 0,05 км², включающую в себя 3 платформы под ангары и 1 ангар (в первой очереди возведения объектов);
- хозяйственная зона с площадью 0,01 км² включает контрольно-пропускной пункт (КПП) со сторожевым постом охраны, мойкой для колёс и навесом с весами, где происходит радиационный контроль, парковку для автотранспорта, административное здание, представляющее из себя блок-контейнер, гараж для размещения местной техники, пожарные резервуары, мусорные контейнеры и контейнерная площадка;
- производственная зона с общей площадью 0,03 км², включающая очистные сооружения.

Вся территория объекта оснащена основными и подъездными дорогами, с общей протяженностью 1,5 км для первой очереди возведения, и 2,9 км для

эксплуатации в полном масштабе. Все дорог оснащены ливневой системой для отвода стока в очистные сооружения на очистку.

Перечень объектов приводится в виде нумерованного списка с привязкой к кадастровым номерам.

Инженерно-экологические решения и минимизация негативных воздействий

После картографического проектирования разработан блок инженерных решений, чтоб минимизировать возможное воздействие на окружающую среду.

На участке проектирования расположен лес, который при технических работах следует убрать.

Для сохранения лесного покрова территории и поддержания средообразующих функций экосистем запланировано создание искусственных лесных насаждений на площади, равной площади вырубаемых лесов.

При проведении земляных работ обязательным требованием является предварительное снятие плодородного слоя мощностью 20 см (установлено по данным почвенных разрезов[4]). В дальнейшем этот слой используется для рекультивации нарушенных земель.

С целью сокращения объёмов перемещения грунта спроектирован план земляных масс. За основной уровень выравнивания принята абсолютная отметка 200 м над уровнем моря. Выбор этой отметки обоснован анализом существующего рельефа: она близка к средним высотам, что минимизирует как выемку, так и насыпь.

Методом изолиний и на основе топографических снимков определён детальный профиль рельефа. Это позволило установить направления поверхностных стоков талых и дождевых вод. Поскольку стоки напрямую связаны с формами рельефа, их трассировка служит основой для оценки потенциального воздействия на недра — через зоны инфильтрации и возможного подтопления.

Проведен гидрологический анализ дренажа, включая оценку дренирующих свойств территории, что обеспечило выявление ключевых путей миграции влаги и зон аккумуляции поверхностного стока, влияющих на устойчивость геологической среды и гидрогеологические условия.

Для мониторинга почв и грунтовых вод запроектирована сеть наблюдательных скважин, размещённых с учётом гидрогеологических условий [5].

3. Выводы

В рамках исследования выполнен комплекс проектных работ от предпроектной проработки до оценки воздействий на недра и земельные ресурсы. С использованием QGIS создана цифровая карта полигона, построены высотные профили рельефа, проведён гидрологический анализ дренажа, определены направления поверхностных стоков, что обеспечило основу для последующей оценки воздействий и обоснования проектных решений.

Дальнейшее исследование направлено на детальную разработку мер по минимизации негативного воздействия на недра и земельные ресурсы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Приказ от 1 декабря 2020 г. № 999 «Об утверждении требований к материалам оценки воздействия на окружающую среду».
2. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» : утв. от 25 сентября 2007 г. № 74 : введ. в действие с 1 марта 2008 г.
3. Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов : утв. Министерством строительства РФ 2 ноября 1996 г. – Москва, 1996. – 42 с.
4. ГОСТ 17.5.3.06-85 «Охрана природы. Земли. Требования к определению норм снятия плодородного слоя почвы» : введ. постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 18 июня 1985 г. № 1653. – Москва : Издательство стандартов, 1986.
5. СП 11-102-97 «Инженерно-экологические изыскания для строительства» : принят и введен в действие постановлением Минстроя России от 29 сентября 1997 г.

STUDY AND ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF A NOVOSIBIRSK HAZARDOUS INDUSTRIAL WASTE STORAGE FACILITY IN TERMS OF IMPACT ON SUBSOIL AND LAND RESOURCES

Petelina Marina Sergeevna¹, student; ***Sheboltasov Artem Gennadievich***^{1,2}, Research Associate; ***Boguslavsky Anatoly Evgenievich***^{1,3}, Advanced Doctor in Geology and Minerology Sciences

¹Novosibirsk State Technical University,
Karl Marx Ave., 20, Novosibirsk, 630073, Russia

²Institute of Catalysis, SB RAS,
Academician Lavrentyev Ave., 5, Novosibirsk, 630090, Russia

³Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS,
Academician Koptug Ave., 3, Novosibirsk, 630090, Russia

Petelina, M. S., e-mail: m.s.petelina@yandex.ru

Sheboltasov, A. G., e-mail: asheb@catalysis.ru

Boguslavsky, A. G., e-mail: boguslav@mail.ru

Address for correspondence: ***Petelina Marina Sergeevna***,

Novosibirsk State Technical University,
Department of Engineering Problems of Ecology,
20 Karla Marksa Ave., Novosibirsk, 630073, Russia.

Annotation: The study includes a comprehensive set of design work, beginning with the pre-project development stage, including calculations for project justification, and continuing through the development of measures to reduce impacts on subsoil and land resources.

An assessment of the potential significant environmental impacts of the proposed activity, including its impact on subsoil and land resources, was conducted,

along with an assessment of the adequacy of the environmental protection measures adopted in the project. Additional measures were recommended to prevent or mitigate the identified negative environmental impacts of the proposed activity, including its impact on subsoil and land resources.

Cartographic modeling was performed using QGIS: a digital map of the polygon with spatially referenced boundaries was created, elevation profiles were constructed, and a hydrological analysis was performed. This provides the basis for subsequent assessments of impacts on subsoil and land resources, as well as for substantiating design and environmental protection decisions.

Keywords: Hazardous industrial waste, waste storage, environmental impact, subsoil pollution, pollution of the subsoil.

УДК 66.011

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПИРОЛИЗА ЭТАНА В ТРУБЧАТОМ ЗМЕЕВИКЕ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ: ВЛИЯНИЕ ЛИНЕЙНОЙ СКОРОСТИ НА ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССА

Петров Алексей Васильевич^{1,2}, студент; Верниковская Надежда Викторовна^{1,2}; к.т.н.; Чумаченко Виктор Анатольевич², к.т.н.

¹Новосибирский государственный технический университет,
пр. Карла Маркса, 20, Новосибирск, 630073, Россия

²Институт катализа СО РАН, пр. Академика Лаврентьева, 5, Новосибирск,
630090, Россия

Петров А.В., e-mail: lehapetrov10@bk.ru

Верниковская Н.В., e-mail: vernik@catalysis.ru

Чумаченко В.А., e-mail: vachum@catalysis.ru

*Адрес для корреспонденции: Петров Алексей Васильевич,
Новосибирский государственный технический университет,
кафедра инженерных проблем экологии (ИПЭ).
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20.*

Аннотация: Работа посвящена исследованию влияния линейной скорости на показатели процесса пиролиза этана в трубчатой печи. В результате математического моделирования получены зависимости по времени в течение 60 суток степени превращения этана, давления, температуры и коэффициента теплопередачи через стенку трубы на выходе. Найдена оптимальная величина линейной скорости для исследуемого процесса пиролиза этана.

Ключевые слова: Математическое моделирование, пиролиз этана, трубчатый змеевик переменного сечения, образование кокса.

1. Введение

Пиролиз этана является одним из важнейших промышленных процессов нефтехимии, обеспечивающих производство этилена – ключевого сырья для получения широкого спектра полимерных материалов, пластмасс, синтетических волокон и других ценных продуктов. Эффективность и экономическая целесообразность процесса пиролиза этана зависят от выбора оптимальных условий проведения реакции, конструкции печи и технологических параметров. В ходе процесса пиролиза из побочных продуктов образуются твёрдые углеродистые отложения (кокс), в результате чего снижается теплопередача через стенку трубы и увеличивается гидравлическое сопротивление. Это приводит к неравномерному распределению температуры в реакторе, снижению выхода этилена и необходимости частых остановок для очистки оборудования.

Целью данной работы является определение методом математического моделирования оптимальных диапазонов линейной скорости, обеспечивающих максимальную степень превращения этана и выход этилена при минимальном отложении кокса на стенках трубы.

2. Математическая модель

Процесс пиролиза этана в трубчатой печи с наружным обогревом рассматривается в приближении одномерного течения реагирующей газовой смеси в цилиндрическом канале змеевика, в котором чередуются прямолинейные участки и участки с изгибом. Подвод тепла к газовой смеси, необходимый для протекания газофазных эндотермических реакций, осуществляется от нагретых стенок канала за счёт вынужденной конвекции и излучения.

Моделируемый объект представляет собой змеевик с несколькими секциями труб, внутренний диаметр которых от секции к секции увеличивается с 0.0888 м до 0.1778 м, так что линейная скорость в каждой секции остаётся примерно постоянной. Суммарная длина змеевика составляет 60.8 м, длины прямолинейных участков изменяются на каждом участке. Моделирование процесса пиролиза этана осуществлялось при отношении пара к сырью 0.3 и входной температуре в реактор равной 693°C. Профиль температуры стенки по длине задавался в интервале 820-830-836 °C, затем на выходе температура стенки увеличивалась на 4.82 °C в сутки.

Стационарная 2D математическая модель каталитических процессов в трубчатых реакторах [1] была модифицирована для описания гомогенного процесса пиролиза. Введено изменение коэффициентов теплопроводности и диффузии по радиусу трубы; для расчёта перепада давления учтено различие коэффициентов трения на прямых и закруглённых участках трубы; для расчёта теплопередачи через стенку учтены коэффициенты теплопроводности коксового отложения и материала трубы, конвективный теплообмен со стенкой, учитывающий наличие прямых и закруглённых участков трубы, а также теплообмен излучением. Для учёта динамики накопления кокса на стенках

змеевика было введено нестационарное уравнение изменения массы кокса по времени [1].

Кинетическая модель пиролиза этана включает 7 уравнений основных и побочных реакций относительно концентраций наблюдаемых веществ, а также уравнение реакции образования кокса [2, 3].

3. Результаты и обсуждение

В результате математического моделирования были получены зависимости уменьшения диаметра трубы по длине в течение 60 суток и изменения показателей процесса по времени при трёх разных значениях линейной скорости, соответствующих трём величинам нагрузки по этану. Из рисунков 1а и 2а видно, что повышение линейной скорости (U) с 23.5 до 48.4 м/с приводит к замедлению уменьшения диаметра змеевика к исходу 60 суток, также наблюдается уменьшение степени превращения этана ($X_{\text{вых}}$), давления ($P_{\text{вых}}$) и температуры ($T_{\text{вых}}$) на выходе из змеевика (Рис. 1б и Рис. 2б).

Увеличение U в реакционном змеевике печи приводит к снижению $X_{\text{вых}}$ из-за сокращения времени пребывания углеводородного сырья в зоне реакции, а также в результате снижения $T_{\text{вых}}$. Снижение $T_{\text{вых}}$ при росте U связано с увеличением расхода этана, подаваемого вместе с водяным паром. Реакция пиролиза является эндотермической, и возросший объём смеси требует больше тепла на нагрев и протекание реакции.

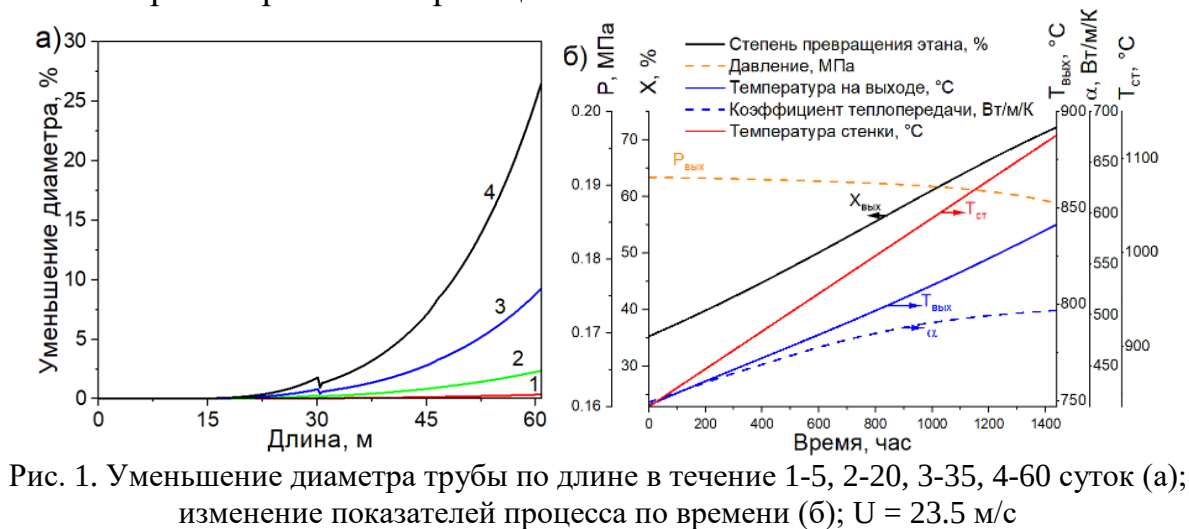


Рис. 1. Уменьшение диаметра трубы по длине в течение 1-5, 2-20, 3-35, 4-60 суток (а); изменение показателей процесса по времени (б); $U = 23.5$ м/с

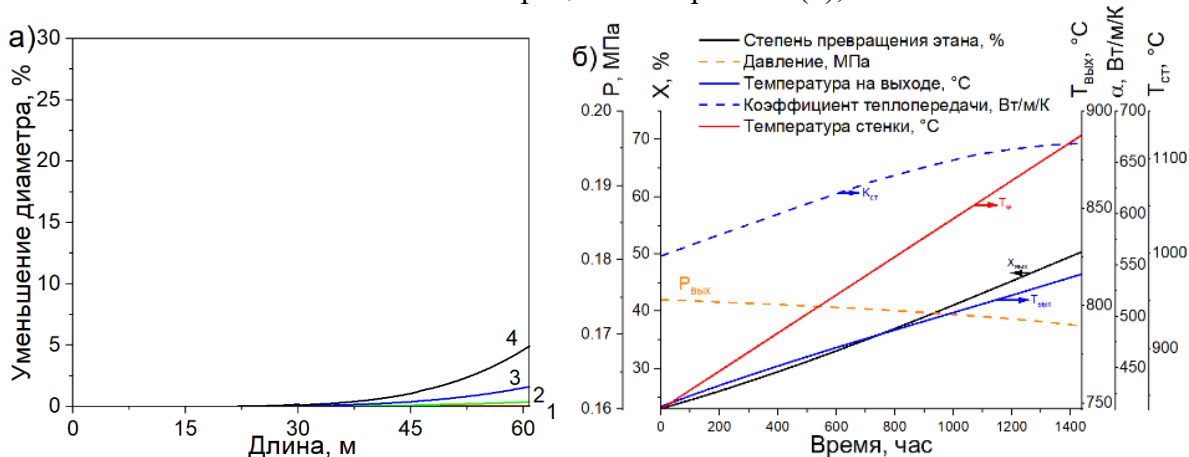


Рис. 2. Уменьшение диаметра трубы по длине в течение 1-5, 2-20, 3-35, 4-60 суток (а); изменение показателей процесса по времени (б); $U = 48.4$ м/с

С увеличением U коэффициент теплопередачи через стенку трубы (α) возрастает за счет увеличения коэффициента конвективного теплообмена на внутренней стороне трубы. Кроме того, при высокой U снижается отложение кокса на внутренней поверхности труб, что исключает дополнительное термическое сопротивление, благодаря чему значение α сохраняется на высоком уровне.

На рисунке 3 приведена зависимость концентрации этилена, рассчитанной на сухой газ, от линейной скорости. Видно, что с повышением U снижается концентрация этилена: при $U = 23.5$ м/с, концентрация этилена к концу процесса пиролиза составляет примерно 54 вес. %, при $U = 48.4$ м/с, концентрация этилена составляет 42 вес. %.

При $U = 23.5$ м/с наблюдается высокое отложение кокса, диаметр на выходе уменьшается на 27 % (Рис. 1а). В случае $U = 48.4$ м/с отложение кокса незначительное, диаметр уменьшается на 5 % (Рис. 2а), однако при такой скорости концентрация этилена остаётся низкой (Рис. 3). При средней $U = 36.0$ м/с достигается приемлемая концентрация этилена, равная 47 вес. %, а также умеренное коксообразование, при котором диаметр на выходе уменьшается на 10 %. Средняя U обеспечивает наилучший баланс между производительностью по этилену и ресурсом работы реактора.

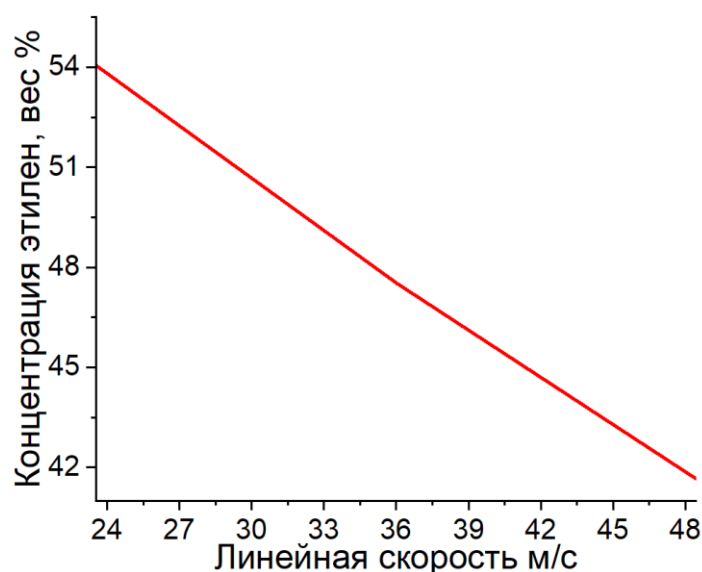


Рис. 3. Зависимость концентрации этилена на выходе от линейной скорости

Также было проведено моделирование процесса пиролиза этана в реакционной трубе постоянного диаметра. Результаты моделирования показали, что при $U = 23.54$ м/с, уже через 30 суток эксплуатации проходное сечение на выходе уменьшается на 27 %. В реакционной трубе переменного диаметра такое уменьшение диаметра наступает только через 60 суток (Рис. 1а). Это показывает существенное преимущество конструкции реакционной трубы печи пиролиза, предусматривающей ступенчатое увеличение диаметра от секции к секции.

4. Выводы

Методом математического моделирования исследовано влияние линейной скорости на изменение показателей процесса пиролиза этана по времени. Результаты показали, что повышение U с 23.5 до 48.4 м/с снижает коксообразование, при этом уменьшается $X_{\text{вых}}$ и выходная концентрация этилена. Наилучшей является $U = 36.0$ м/с, при которой достигается приемлемая концентрация этилена при умеренном коксообразовании. Подтверждено преимущество реактора со ступенчатым увеличением диаметра труб, обеспечивающего более длительную непрерывную работу печи, по сравнению с трубой постоянного сечения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кагырманова А.П. [и др.] // Теоретические основы химической технологии (ТОХТ). – 2006. – Т. 40, № 2. – С. 171.
 2. Sundaram K. M., Froment G. F. // Chemical Engineering Science. – 1977. – Vol. 32. – P. 601.
 3. Sundaram K. M., Van Damme P. S., Froment G. F. // AIChE Journal. – 1981. – Vol. 27, No. 6. – P. 946.
- Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания Института катализа СО РАН (проект FWUR-2024-0037).

MATHEMATICAL MODELING OF THE ETHANE PYROLYSIS PROCESS IN A VARIABLE CROSS-SECTION TUBULAR REACTOR: INFLUENCE OF LINEAR VELOCITY ON PROCESS PERFORMANCE

Petrov Aleksei Vasilevich^{1,2}, student;

Vernikovskaya Nadejda Viktorovna^{1,2}, Ph.D. of Engineering Sciences;

Chumachenko Viktor Anatolevich², Ph.D. of Engineering Sciences

¹ Novosibirsk State Technical University,

20, Karl Marx Ave., Novosibirsk, 630073, Russia

² Boreskov Institute of Catalysis of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,

5, Akademika Lavrentieva Ave., Novosibirsk, 630090, Russia

Petrov A.V., e-mail: lehapetrov10@bk.ru

Vernikovskaya N.V., e-mail: vernik@catalysis.ru

Chumachenko V.A., e-mail: vachum@catalysis.ru

Correspondence Address: Petrov Aleksei Vasilevich,

Novosibirsk State Technical University,

20 Karla Marksa Ave., Novosibirsk, 630073, Russia.

Annotation: This paper examines the influence of linear velocity on the performance of ethane pyrolysis in a tubular furnace. Mathematical modeling yielded

time-dependent curves for ethane conversion, pressure, temperature, and the heat transfer coefficient through the tube wall at the outlet over 60 days. The optimal linear velocity for the ethane pyrolysis process was determined.

Keywords: mathematical modeling, ethane pyrolysis, variable cross-section tubular coil, coke formation.

УДК 504.064.36:628.4.047

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ХРАНИЛИЩА ОПАСНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ Г. НОВОСИБИРСКА В ЧАСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДЫ

*Семенова Елена Ивановна¹, студент; Богуславский Анатолий
Евгеньевич^{1,2}, д.г.-м.н.*

¹Новосибирский государственный технический университет,
пр. Карла Маркса, 20, Новосибирск, 630073, Россия

²Институт геологии и минералогии СО РАН,
Академика Коптюга пр. 3, Новосибирск, 630090, Россия

Семенова Е. И., e-mail: lenkasemenova00@mail.ru

Богуславский А. Г., e-mail: boguslav@mail.ru

Адрес для корреспонденции: Семенова Елена Ивановна,
Новосибирский государственный технический университет,
кафедра инженерных проблем экологии (ИПЭ).
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, +7(932) 407-53-41.

Аннотация: В работе представлена оценка воздействия на поверхностные воды проектируемого хранилища опасных промышленных отходов в Новосибирском районе. Проведен анализ системы водоотведения объекта, рассчитаны параметры поверхностного стока, предложены технические решения по очистке сточных вод. Выполнено картографическое моделирование в программе QGIS: создана система ливневой канализации на территории полигона.

Ключевые слова: Оценка воздействия на окружающую среду, хранилище опасных промышленных отходов, поверхностные воды, река Пашенка, ливневая канализация, очистные сооружения.

1. Введение

Актуальность исследования обусловлена необходимостью обеспечения экологической безопасности при размещении объектов хранения опасных промышленных отходов. Цель работы — оценка потенциального воздействия

проектируемого полигона на поверхностные воды и разработка мер по его минимизации.

Объект исследования — хранилище опасных промышленных отходов, расположенное в Новосибирском районе. Объект расположен по адресу: Новосибирская область, Новосибирский район, Станционный сельсовет, кадастровый номер 54:19:12001:14897, с общей площадью 3 224 145 м². На данном участке спроектирован полигон, с общей площадью 0,1114 км². Расстояние до реки Пашенка по прямой составляет около 3,2 км. Предмет исследования — система водоотведения и очистки поверхностного стока.

2. Характеристика объекта и источников загрязнения

На полигоне планируется хранение следующих видов отходов: литий-ионные аккумуляторы (содержат литий, никель, кобальт), печатные платы и микросхемы (содержат лантаниды, палладий, серебро), а также ртутьсодержащие отходы (лампы, приборы). Они относятся к I классу — чрезвычайно опасные отходы и ко II классу — высокоопасные отходы. Основными загрязнителями поверхностного стока являются нефтепродукты (от проезда техники) и взвешенные вещества.

На основе анализа нормативных требований [2] и расчётных параметров воздействия были определены две санитарно-защитные зоны (СЗЗ) (рис.):

- СЗЗ-500 — зона с расстоянием 500 м от границы проектируемого полигона (зона регулярного контроля);
- СЗЗ-1000 — зона с расстоянием 1 км (зона периодического наблюдения).



Рис. Санитарно-защитные зоны полигона

3. Результаты и обсуждение

Расчёт объёмов поверхностного стока

Дождевой сток (пиковый расход)

После картографического проектирования разработан блок инженерных решений, чтоб минимизировать возможное воздействие на окружающую среду.

Формула по СП 32.13330:

$$Q_d = F \cdot \psi \cdot g_{20} \quad (1)$$

где q_{20} для Новосибирска = 55-70 л/с·га (для ливня 1% обеспеченности).

Бетонное покрытие: $\psi=0.80-0.85$

$F = 11,144$ га

$$Q_d = 11,14 \times 0,85 \times 68 \approx 643,8 \text{ л/с}$$

Вывод:

Очистные сооружения должны быть рассчитаны на пиковый расход не менее 700 л/с.

Талый сток (паводок)

$$W_{\text{т.сут.}} = 10 \cdot a \cdot \psi \cdot K \cdot F \cdot h \quad (2)$$

10 - переводной коэффициент

Ψ_t - общий коэффициент стока талых вод (принимается 0,5–0,8)

F - общая площадь стока, га

K_u - коэффициент, учитывающий частичный вывоз и уборку снега, определяется по формуле: $K_u = 1 - F_y / F$, где F_y – площадь, очищаемая от снега (включая площадь кровель, оборудованных внутренними водостоками)

$h_{\text{тР}}$ - слой осадков заданной повторяемости

a - коэффициент, учитывающий неравномерность снеготаяния, $a = 0.8$

$$W_{\text{т.сут.}} = 10 \cdot 50 \cdot 0,8 \cdot 0,7 \cdot 11,14 \cdot 1 = 3120 \text{ м}^3/\text{сут}$$

Система водоотведения

Проектом предусматривается устройство железобетонных лотков вдоль всех дорог шириной 7 м. По периметру ангаров и платформ зоны складирования организуются дождеприемники и лотки. Лотки железобетонные Л1-8/2: ширина — 800 мм, высота — 450 мм, пропускная способность — 2,5 м³/с, шаг установки — 25 м. Дождеприемники Д(А15): квадратный корпус размером 800×800×250 мм с диаметром лаза 718 мм, установка по периметру ангаров.

Очистные сооружения

Сточные воды поступают на очистные сооружения, рассчитанные на пиковый расход не менее 700 л/с (с учётом коэффициента неравномерности и запаса на перспективу). Для очистки поверхностного стока (дождевого и талого) с территории хранилища опасных промышленных отходов перед сбросом в реку требуется комплекс сооружений, обеспечивающий удаление взвешенных веществ, нефтепродуктов, тяжёлых металлов и других загрязнителей до нормативов, допустимых для сброса в водные объекты.

Решётки (процеживатели).

Назначение: удаление крупного мусора (пластик, ветки, камни, ил).

Пескоуловители (песколовки).

Назначение: осаждение песка, глины, мелких минеральных частиц.

Нефтеотделители (нефтеловушки, бензомаслоотделители).

Назначение: отделение основной части нефтепродуктов от сточных вод.

Тонкослойные модули.

Назначение: улучшение отстаивания взвешенных частиц.

Сорбционные фильтры.

Назначение: доочистка от растворённых и эмульгированных нефтепродуктов, а также некоторых тяжёлых металлов.

Обеззараживающие устройства (ультрафиолетовые лампы или дозирование гипохлорита натрия).

Назначение: уничтожение патогенных микроорганизмов, бактерий и споровых форм.

Аккумулирующий резервуар (для накопительных систем).

Назначение: регулирование расхода стока и его усреднение.

Для усреднения расхода и снижения гидравлической нагрузки на очистные сооружения в период ливней и интенсивного снеготаяния предусмотрен регулирующий резервуар-накопитель полезным объёмом 500 м³.

Пожарные резервуары

В соответствии с СП 8.13130.2020 (п. 10.3), количество пожарных резервуаров должно быть не менее двух, объём воды в каждом — не менее 50% от расчётного. Расчётный объём воды на пожаротушение составил около 100 м³, с учётом запаса приняты 2 резервуара по 100 м³ (общий объём 200 м³).

Мониторинг

На реке Пашенка организуются 3 точки мониторинга: выше сброса (фон), точка на участке сброса очищенных вод, 500 м ниже сброса. Контролируемые показатели включают взвеси, нефтепродукты, тяжёлые металлы, pH. Для объектов I и II категории периодичность отбора и анализа проб сточных вод устанавливается не менее 1 раза в месяц при осуществлении сброса сточных вод.

4. Выводы

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы:

Система водоотведения объекта должна быть рассчитана на пиковый расход 700 л/с.

Предложенные технические решения обеспечивают эффективную очистку поверхностного стока.

Организация системы мониторинга позволит контролировать влияние объекта на качество воды в реке Пашенка.

Реализация предложенных мероприятий обеспечит соблюдение требований природоохранного законодательства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» № 7-ФЗ.
2. СП 32.13330.2018 «Канализация. Наружные сети и сооружения».
3. СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений».
4. ГОСТ 17.1.3.13-86 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнения».
5. СП 8.13130.2020 «Системы противопожарной защиты. Наружное противопожарное водоснабжение».

INVESTIGATION AND ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF THE STORAGE OF HAZARDOUS INDUSTRIAL WASTE IN NOVOSIBIRSK IN TERMS OF THE IMPACT ON SURFACE WATERS

*Semenova Elena Ivanovna*¹, student;

Boguslavsky Anatoly Evgenievich^{1,2}, Advanced Doctor in Geology and Mineralogy Sciences

¹Novosibirsk State Technical University, Karl Marx Ave., 20, Novosibirsk, 630073,
Russia

²Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS, Academician Koptyug Ave., 3,
Novosibirsk, 630090, Russia

Semenova E. I., e-mai: lenkasemenova00@mail.ru

Boguslavsky A. G., e-mail: boguslav@mail.ru

Address for correspondence: *Semenova Elena Ivanovna*,
Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marx Ave.,
Novosibirsk, 630073, Russia, tel. +7(932) 407-53-41.

Annotation: The paper presents an assessment of the impact on surface waters of the projected storage of hazardous industrial waste in the Novosibirsk region. The analysis of the wastewater disposal system of the facility has been carried out, the parameters of surface runoff have been calculated, and technical solutions for wastewater treatment have been proposed. Cartographic modeling was performed in the QGIS program: a storm sewer system was created on the territory of the landfill.

Keywords: Environmental impact assessment, hazardous industrial waste storage, surface waters, Pashenka River, storm sewers, sewage treatment plants.

ВЛИЯНИЕ ПРОМОТОРОВ (Re, Pd, Mo) НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КАТАЛИЗАТОРА $\text{Ce}_{0.2}\text{Ni}_{0.8}\text{O}_{1.2}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ДЛЯ ПРОЦЕССА КИСЛОРОДНО-УГЛЕКИСЛОТНОЙ КОНВЕРСИИ МЕТАНА

Стрельцова Дарья Андреевна¹, студент; Матус Екатерина Владимировна^{2,3}, к.х.н.; Яшник Светлана Анатольевна², канд. хим. наук; Никитин Андрей Павлович³, к.х.н.; Хайрулин Сергей Рифович², к.х.н.

¹ Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. +7 (383) 346-08-43

² Институт катализа СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 5, тел. +7 (383) 326-95-79

³ ФИЦ УУХ СО РАН, 650000, Россия, г. Кемерово, проспект Советский, 18 тел.: +7 (3842) 36-55-86

Стрельцова Д.А., e-mail : dasha.streltsova.05@mail.ru

Матус Е.В., e-mail: matus@catalysis.ru

Яшник С.А., e-mail: yashnik@catalysis.ru

Никитин А.П., e-mail: nikitinandreyp@yandex.ru

Хайрулин С.Р., e-mail: sergk@catalysis.ru

Адрес для корреспонденции: Стрельцова Дарья Андреевна, Новосибирский государственный технический университет, кафедра инженерных проблем экологии (ИПЭ).

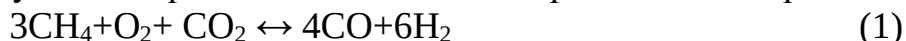
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. +7 (962) 831-41-54.

Аннотация: Исследовано влияние введения добавок Re, Pd и Mo на физико-химические свойства нанесенного на оксид алюминия церий-никелевого катализатора – $\text{Ce}_{0.2}\text{Ni}_{0.8}\text{O}_{1.2}/\text{Al}_2\text{O}_3$. Комплексом методов (термический анализ, низкотемпературная адсорбция N_2 , рентгенофазовый анализ, спектроскопия комбинационного рассеяния, температурно-программируемое восстановление H_2) установлены закономерности формирования материалов и их основные характеристики после прокаливания и восстановительной активации. Выявлено, что введение промотора практически не оказывает влияния на текстурные и структурные свойства образцов, но позволяет регулировать окислительно-восстановительные свойства активного компонента и термостабильность катализатора. Определено, что в ряду металлов $\text{Mo} \rightarrow \text{Pd} \rightarrow \text{Re}$ снижается температура образования активной фазы металлического никеля Ni^0 и возрастает термостабильность катализаторов.

Ключевые слова: Катализатор, физико-химические методы анализа; метан; риформинг.

1. Введение

Кислородно-углекислотная конверсия метана (реакция 1) представляет собой перспективный путь превращения природного газа и биометана в синтез-газ с высокой степенью использования углеродсодержащего сырья и снижением эмиссии парниковых газов [1]. Однако широкое промышленное применение этого процесса ограничивается быстрой дезактивацией Ni катализаторов за счёт образования углеродистых отложений и спекания активного компонента в условиях реакции под действием реакционной среды.



Введение промоторов является одним из наиболее эффективных способов повышения активности [2,3], селективности и устойчивости к дезактивации Ni катализаторов, поэтому детальное изучение их влияния на физико-химические свойства материалов является актуальной задачей.

Цель работы – установление закономерностей формирования промотированных катализаторов $\text{M-Ce}_{0.2}\text{Ni}_{0.8}\text{O}_{1.2}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ($\text{M} = \text{Re}, \text{Pd}, \text{Mo}$; $\text{M}/\text{Ni} = 0,03$) и выявление влияния типа промотора на текстурные, структурные и окислительно-восстановительные свойства образцов.

2. Методика экспериментального исследования

Синтез катализаторов на основе носителя Al_2O_3 с активным компонентом $\text{Ce}_{0.2}\text{Ni}_{0.8}\text{O}_{1.2}$ (Ni – 10 мас. %, Ce – 6 мас. %), промотированным различными металлами ($\text{M} = \text{Re}, \text{Pd}, \text{Mo}$, $\text{M}/\text{Ni} = 0,03$), осуществляли методом совместной пропитки с последующими стадиями сушки, прокаливания и восстановительной активации. В качестве предшественников металлов использовали следующие соединения: Ni – $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, Ce – $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, Re – NH_4ReO_4 , Pd – $\text{Pd}(\text{NO}_3)_2$, Mo – $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

Для определения характеристик образцов использовали комплекс физико-химических методов (термический анализ, низкотемпературная адсорбция азота, рентгенофазовый анализ, спектроскопия комбинационного рассеяния, температурно-программируемое восстановление водородом).

3. Результаты и обсуждение

Методами термического анализа и температурно-программируемого восстановления водородом исследованы особенности формирования промотированных никелевых катализаторов в зависимости от их состава. Установлено, что процесс разложения предшественников металлов в воздушной среде является многостадийным, а параметры термического генезиса (положение пиков на ДТГ и ДТА кривых, экзо- или эндо- термические эффекты) слабо зависят от типа промотора ($\text{M} = \text{Re}, \text{Pd}, \text{Mo}$). В низкотемпературной области ($T_{\text{ДТГ1}} = 90\text{--}120^\circ\text{C}$) происходит потеря веса, сопровождающаяся эндоэффектом и соответствующая десорбции физически-адсорбированной воды. В среднетемпературной области наблюдаются два минимума на ДТГ-кривой ($T_{\text{ДТГ2}} = 210\text{--}225^\circ\text{C}$, $T_{\text{ДТГ3}} = 265\text{--}285^\circ$), также сопровождающиеся эндоэффектами и связанные с разложением предшественников церия и никеля соответственно. Установлено, что температура прокаливания в воздушной среде 500°C является достаточной для разложения солей-предшественников с образованием оксидных

частиц. Методом температурно-программируемого восстановления водородом показано, что температурная область формирования активной фазы металлического никеля определяется типом промотора и смещается в низкотемпературную область ($T_{\text{тпв}} 510 \rightarrow 405^\circ\text{C}$) в следующем ряду промоторов: $\text{Mo} \rightarrow \text{Pd} \rightarrow \text{Re}$.

По данным низкотемпературной адсорбции азота, катализаторы после прокаливания на воздухе при 500°C являются мезопористыми, наблюдается IV тип изотермы адсорбции с петлей гистерезиса типа H3 при P/P_0 свыше 0.6. Удельная поверхность составляет $\sim 85 \text{ м}^2/\text{г}$, объем пор $\sim 0.3 \text{ см}^3/\text{г}$, средний диаметр пор $\sim 15 \text{ нм}$. Установлено, что после восстановительной активации при 800°C катализаторы сохраняют высокую удельную поверхность ($70\text{--}75 \text{ м}^2/\text{г}$) и объем пор ($0.3 \text{ см}^3/\text{г}$). Незначительное (не более 20 %) снижение удельной поверхности сопровождается увеличением среднего радиуса пор ($15\text{--}17 \text{ нм}$), что свидетельствует о преимущественном спекании тонких пор. Термостабильность катализаторов увеличивается в ряду промоторов: $\text{Mo} \rightarrow \text{Pd} \rightarrow \text{Re}$.

Методом рентгенофазового анализа показано, что катализаторы после прокаливания при 500°C на воздухе включают в свой состав фазу носителя $(\gamma+\delta)\text{-Al}_2\text{O}_3$, твёрдого раствора на основе диоксида церия и NiO. Средние размеры области когерентного рассеяния для CeO_2 и NiO не зависят от типа промотора и составляют 7 и 10 нм соответственно. Установлено, что восстановительная активация образцов при 800°C приводит к формированию фазы Ni^0 , средний размер ОКР которой составляет 7 нм для всех исследуемых катализаторов.

Из анализа данных КР-спектроскопии следует, что при совместном введении предшественников активного компонента и промотора на поверхности носителя происходит формирование твёрдого раствора на основе диоксида церия, характеризующегося частичным замещением катионов церия катионами никеля и промотора. Дефектность твёрдого раствора, связанная с наличием кислородных вакансий, зависит от типа промотора и увеличивается (I_{570}/I_{465} : $0.88 \rightarrow 2.28$) в ряду $\text{Mo} \rightarrow \text{Re} \rightarrow \text{Pd}$. О высокой дефектности кислородной подрешетки твёрдого раствора на основе диоксида церия свидетельствует: 1) наличие полос комбинационного рассеяния в области $550\text{--}650 \text{ см}^{-1}$, возникающих при допировании диоксида церия катионами металла другого радиуса и валентности; 2) значения соотношения интенсивности полос I_{570}/I_{465} , используемого для оценки дефектности структуры CeO_2 ; 3) увеличение интенсивности полосы комбинационного рассеяния в области $220\text{--}230 \text{ см}^{-1}$, обусловленной поперечными акустическими колебаниями.

Направленное регулирование физико-химических свойств катализатора $\text{Ce}_{0.2}\text{Ni}_{0.8}\text{O}_{1.2}/\text{Al}_2\text{O}_3$ путём введения промотора открывает возможность управления функциональными свойствами материала (способность к самоактивации, устойчивость к спеканию, реокислению и зауглероживанию).

4. Выводы

При помощи комплекса физико-химических методов исследования установлено, что введение промотора ($M = \text{Re}, \text{Pd}$ или Mo) в состав катализатора

Ce_{0.2}Ni_{0.8}O_{1.2}/Al₂O₃ не оказывает значительного влияния на текстурные и структурные характеристики образцов, но позволяет регулировать термостабильность материала и окислительно-восстановительные свойства никелевого активного компонента.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Pehlivan T., Özdemir H., Altınçekiç T.G., Öksüzömer M.A.F., Oxy-CO₂ reforming of methane on Al₂O₃, MgAl₂O₄, CeO₂ and ZrO₂ supported Ni catalysts prepared by deposition-precipitation method // International Journal of Hydrogen Energy. – 2024. – V. 96. – P. 703–710. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2024.11.392.
2. Ismagilov I.Z., Vosmerikov A.V., Korobitsyna L.L., Matus E.V., Kerzhentsev M.A., Stepanov A.A., Mihaylova E.S., Ismagilov Z.R. Promoters for Improvement of the Catalyst Performance in Methane Valorization Processes // Eurasian Chemico-Technological Journal. – 2021. – V.23. N3. – P.147–168. DOI: 10.18321/ectj1099
3. Zhu H., Chen H., Zhang M., Liang C., Duan L. Recent advances in promoting dry reforming of methane using nickel-based catalysts // The Royal Society of Chemistry. – 2024. – №14. – P. 1712–1729. DOI: 10.1039/D3CY01612A

EFFECT OF PROMOTERS (Re, Pd, Mo) ON THE PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF THE Ce_{0.2}Ni_{0.8}O_{1.2}/Al₂O₃ CATALYST FOR THE OXY-CO₂ REFORMING OF METHANE

Streltsova Daria Andreevna¹, student; **Matus Ekaterina Vladimirovna**^{2,3}, Ph.D.;
Yashnik Svetlana Anatolevna², Ph.D.; **Nikitin Andrey Pavlovich**³, Ph.D.;
Khairullin Sergey Rifovich², PhD

¹ Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia,
Novosibirsk, 20 Karl Marx Ave., tel. +7 (383) 346-08-43

² Institute of Catalysis SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk,
Ave. Akademika Lavrentieva, 5, tel. +7 (383) 326-95-79

³ FRC CCC SB RAS, 650000, Russia, Kemerovo, Sovetsky Ave., 18
Tel.: +7 (3842) 36-55-86

Streltsova D.A., e-mail: dasha.streltsova.05@mail.ru

Matus E.V., e-mail: matus@catalysis.ru

Yashnik S.A., e-mail: yashnik@catalysis.ru

Nikitin A.P., e-mail: nikitinandreyp@yandex.ru

Khairulin S.R., e-mail: sergk@catalysis.ru

Address for correspondence: **Streltsova Daria Andreevna**,
Novosibirsk State Technical University,
630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marx Ave., 20,
tel. +7(962) 831-41-54.

Annotation: The effect of Re, Pd, and Mo additives on the physicochemical properties of a cerium-nickel catalyst supported on alumina – $\text{Ce}_{0.2}\text{Ni}_{0.8}\text{O}_{1.2}/\text{Al}_2\text{O}_3$ was studied. A combination of methods (thermal analysis, low-temperature N_2 adsorption, X-ray diffraction, Raman spectroscopy, and temperature-programmed H_2 reduction) was used to establish the formation patterns of the materials and their main characteristics after calcination and reductive activation. It was found that the introduction of a promoter has virtually no effect on the textural and structural properties of the samples, but it does allow for the regulation of the redox properties of the active component and the catalyst's thermal stability. It was determined that in the metal series $\text{Mo} \rightarrow \text{Pd} \rightarrow \text{Re}$, the formation temperature of the active phase of metallic nickel (Ni^0) decreases and the thermal stability of the catalysts increases.

Keywords: Catalyst; physicochemical methods of analysis; methane; reforming.

УДК 504.054

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ СОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ

*Хайров Лев Евгеньевич, магистрант; Худяков Данил Андреевич,
аспирант; Громов Николай Владимирович, к.х.н.*

Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20.

Хайров Л.Е., e-mail: plimgrape@yandex.ru

Худяков Д.А., e-mail: gigadan4ik1999@yandex.ru

Громов Н. В., e-mail: n.v.gromov@corp.nstu.ru

*Адрес для корреспонденции: Хайров Лев Евгеньевич,
Новосибирский государственный технический университет,
кафедра инженерных проблем экологии (ИПЭ),
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20.*

Аннотация: Проведено исследование особенностей процесса сорбционной очистки воды от ионов Fe^{3+} и Co^{2+} при помощи сорбентов, полученных из золошлаковых отходов (ЗШО) и глин. Установлено, что сочетание предварительной механической активации и щелочной модификации сырья для сорбентов обеспечивает максимальную эффективность очистки. Экспериментально получены данные, указывающие на преобладание в механизме очистки сорбционных процессов над процессами осаждения. Определены оптимальные параметры проведения сорбционной очистки.

Ключевые слова: Зола уноса, глина, сорбция, очистка воды.

1. Введение

Сорбционная очистка остаётся основополагающим методом очистки промышленных сточных вод от загрязняющих веществ, в том числе от тяжёлых металлов. Перспективными на сегодняшний день являются исследования применения при сорбционной очистке воды неуглеродных сорбентов. Неуглеродные сорбенты, в том числе сорбенты природного происхождения, являются более доступными, чем углеродные, такие как активированный уголь, поэтому их использование является экономически выгодным. Для неуглеродных сорбентов в то же время характерна избирательность [1]. На избирательность и другие характеристики этих сорбентов также может влиять их модификация.

2. Экспериментальная часть

Для целей исследования были использованы образцы золы уноса сухого отбора от электрофильтров ТЭЦ-5 г. Новосибирска, образующиеся при сжигании бурого угля Канско-Ачинского угольного бассейна, а также образцы глин: каолина и бентонита.

Навеска золы массой 20 г была перемолота в планетарной мельнице PULVERISETTE 5 classic line (соотношение 20 г железных шариков на 10 г золы) в течение 30 мин. После этого образцы золы, каолина и бентонита прошли термическую обработку при температуре 105 °С в сушильном шкафу с принудительной вентиляцией WiseVen WOF-50 в течение 8 ч. Прошедшие термическую обработку образцы затем были охлаждены путем нахождения в эксикаторе в течение часа.

Для модификации образцов золы был приготовлен водный раствор NaOH с концентрацией 3,5 моль/л. Была отобрана навеска прошедшей термическую обработку золы массой 10 г, которая была смешена с 80 мл 3,5 моль/л раствора NaOH и оставлена настояться в течение 30 мин. Обработанный щелочью образец золы затем был многократно промыт на центрифуге OHAUS Frontier 5000 FC5706 дистиллированной водой до достижения постоянного значения pH, равного 12. Последним этапом приготовления композита была сушка в сушильном шкафу в течение 24 ч при температуре 100 °С. Были получены четыре композита, выступавшие затем в роли сорбентов: композит из золы уноса; композит из золы уноса, прошедшей предварительную механическую активацию; композит из каолина; композит из бентонита.

Для исследования сорбционной способности по отношению к иону железа (III) был приготовлен модельный раствор 6-ти водного хлористого железа ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) концентрацией 0,0333 моль/л. Условия эксперимента были взяты из научной статьи на тему очистки воды от ионов железа [2].

С помощью ситового анализатора А30 с виброприводом ВП-30 были отобраны фракции приготовленных сорбентов с размером частиц 0,063 мм. Отобранные фракции были добавлены в приготовленные модельные растворы хлорида железа в соотношении 100 см³*г⁻¹ (50 мл к 0,5 г). Полученные суспензии в течение 72 ч перемешивали с помощью магнитной мешалки DAIHAN SMHS-3. Скорость перемешивания варьировали от 100 до 600 об/мин. Эксперименты проводились при комнатной температуре. После окончания

перемешивания суспензии центрифугировали с помощью центрифуги OHAUS Frontier 5000 FC5706 три минуты на скорости 6000 об/мин и отфильтровали на мембранном фильтре из ацетата целлюлозы. Степень очистки воды определялась подходящим для данных условий спектрофотометрическим методом [3] на двухлучевом спектрофотометре SPECORD 200 PLUS, при длине волны 400 нм.

Была также исследована кинетика процесса сорбционной очистки воды от ионов Fe^{3+} и Co^{2+} . Значение pH для раствора хлорида железа (III) составляло 1,4 до добавления сорбента и 4,2 после добавления сорбента. Значение pH для раствора нитрата кобальта составляло 5,4 до добавления сорбента и 7,9 после добавления сорбента. В качестве сорбентов выступали четыре образца: зола уноса; зола уноса, прошедшая механическую активацию на планетарной мельнице; зола уноса, прошедшая модификацию гидроксидом натрия; зола уноса, прошедшая механическую активацию на планетарной мельнице и модификацию гидроксидом натрия. Последний из образцов использовался как сорбент для первого в серии экспериментов, в котором сорбция модельного раствора хлорида железа (III) концентрацией 0,0333 моль/л проводилась в течение 6 ч с сопутствующим перемешиванием на магнитной мешалке со скоростью 500 об/мин при комнатной температуре. Отбор проб проводился с шагом в один час.

Для второго эксперимента были приготовлены водные растворы $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ концентрацией 0,0333 моль/л. В качестве сорбентов использовались поочерёдно все четыре вышеупомянутых образца. Отбор проб проводился с шагом в 15 мин. Для нитрата кобальта снятие значений поглощения проводилось на длине волны 500 нм.

Для определения особенностей механизма процесса сорбционной очистки было также проведено сравнение значений поглощения. Первое значение было снято для раствора хлорида железа (III) после сорбции модифицированным щёлочью сорбентом длительностью 1 час при перемешивании на скорости 500 об/мин при комнатной температуре. Второе значение поглощения было снято для свободного от сорбента модельного раствора после добавления в него по каплям раствора NaOH с концентрацией 3,5 моль/литр до достижения значения pH, равного 4,2. После достижения необходимого значения pH растворы также перемешивались на магнитной мешалке на скорости 500 об/мин в течение 90 мин при комнатной температуре. Аналогичное сравнение было проведено для раствора нитрата кобальта, где необходимое значение pH составляло 7,9. При добавлении щелочи к свободным от сорбента растворам наблюдалось выпадение характерных осадков, которые были отфильтрованы от проб раствора перед снятием показаний спектрофотометра.

Для определения зависимости эффективности сорбционной очистки от массы сорбента была поставлена серия экспериментов с условиями, идентичными предыдущим условиям, но с уменьшением массы сорбента с 0,5 г на 50 мл модельного раствора до 0,4 г, 0,3 г и 0,2 г. Для этого использовался сорбент в виде золы уноса, прошедшей предварительную механическую активацию и модификацию NaOH.

3. Результаты и обсуждение

В ходе сравнительного анализа эффективности различных сорбентов было установлено, что наиболее высокой сорбционной способностью обладают сорбенты на основе золы уноса при интенсивном перемешивании со скоростью 600 об/мин.

Величина оптической плотности раствора после сорбции, в которой сорбентом выступала зола уноса (0,147) в 16,4 раза ниже величины оптической плотности модельного раствора хлорида железа до сорбции (2,418).

Для композита из золы, не прошедшей предварительную механическую активацию, величина оптической плотности раствора после сорбции (0,423) в 5,71 раза меньше величины оптической плотности модельного раствора (2,418). При скорости перемешивания в 100 об/мин наблюдается различие в значениях поглощения между образцами из золы в зависимости от того, прошли ли они предварительную механическую активацию на планетарной мельнице. Значение поглощения было ниже для образца, прошедшего активацию. Подобной разницы не наблюдалось при увеличении скорости перемешивания до 600 об/мин.

Эксперименты, где в качестве сорбентов использовались термически модифицированные глины (бентонит, каолин), продемонстрировали сходную с золой эффективность очистки.

Исследования кинетики процесса показали, что высокая степень очистки от ионов Fe^{3+} и Co^{2+} достигается уже в течение 15–20 мин и предварительная механическая активация сорбента положительно сказывается на скорости и эффективности очистки. Наилучшим по показателям является образец сорбента из золы уноса, прошедшей механическую активацию на планетарной мельнице и модификацию гидроксидом натрия.

Было выявлено, что значение поглощения после добавления жидкой щелочи превышает значение поглощения после сорбции модифицированным щёлочью сорбентом. Для раствора хлорида железа оно равнялось 1,150, для раствора нитрата кобальта – 0,135. В то же время значения после 90 мин сорбции составляли 0,440 и 0,056 соответственно.

Установлено, что для эффективной очистки исследуемых модельных растворов объёмом 50 мл от ионов Fe^{3+} и Co^{2+} минимальная необходимая масса сорбента составляет 0,3–0,4 г. Снижение навески до 0,2 г влечёт за собой значительное уменьшение эффективности очистки.

4. Выводы

Исследование особенностей процесса сорбционной очистки показало, что сорбенты на основе образцов золы уноса сухого отбора являются эффективными для очистки воды от ионов Fe^{3+} и Co^{2+} . Установлено, что высокая степень очистки от ионов Fe^{3+} и Co^{2+} достигается уже в течение 15–20 мин и предварительная механическая активация сорбента положительно сказывается на скорости и эффективности очистки. Сорбционные процессы в ходе очистки преобладают над процессами осаждения, что говорит в пользу использования подобных сорбентов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ермилова Е. Ю. Исследование сорбционных свойств природных алюмосиликатов по отношению к иону железа Fe (+ 3) при очистке воды //Известия. – 2024. – №. 3. – С. 69.
2. Kim J. S., Zhang L., Keane M. A. Removal of iron from aqueous solutions by ion exchange with Na-Y zeolite //Separation science and technology. – 2001. – Т. 36. – №. 7. – С. 1509-1525.
3. Ляшко И. А. Сорбция ионов тяжёлых металлов на основе цеолитов //Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XXI Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков Л.П. Кулёва и Н.М. Кижнера, посвящённой 110-летию со дня рождения профессора А.Г. Стромберга, 21–24 сентября 2020 г., г. Томск. – Томский политехнический университет, 2020. – С. 479-480.

STUDY OF THE EFFICIENCY OF ALUMINOSILICATE SORBENTS FOR WATER PURIFICATION FROM HEAVY METALS

Hayrov Lev Evgenevich, master's student;

Hudyakov Danil Andreevich, graduate student;

Gromov Nikolai Vladimirovich, Candidate of Chemical Sciences

Novosibirsk State Technical University,

20 Karl Marx Ave., Novosibirsk, 630073, Russia

Hayrov L.E., e-mail: plimgrape@yandex.ru

Hudyakov D.A., e-mail: gigadan4ik1999@yandex.ru

Gromov N.V., e-mail: n.v.gromov@corp.nstu.ru

Address for correspondence: Hayrov Lev Evgenevich,

Novosibirsk State Technical University,

20 Karla Marksa Ave., Novosibirsk, 630073, Russia.

Annotation: The study investigates the characteristics of water purification via adsorption of Fe³⁺ and Co²⁺ ions using adsorbents derived from ash and slag waste and natural clays. It was established that the combination of preliminary mechanochemical activation and alkali modification of the raw materials ensures maximum purification efficiency. Experimental data indicate the predominance of adsorption mechanisms over precipitation processes during the treatment. Optimal parameters for the adsorption process have been determined.

Keywords: Fly ash, sorption, water purification.

ГИДРОЛИЗ-ОКИСЛЕНИЕ УГЛЕВОДНОГО СЫРЬЯ В ПРИСУТСТВИИ НАНЕСЁННЫХ V-СОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРОВ

Черенков Илья Александрович, аспирант; Медведева Татьяна Борисовна, Чесалов Юрий Александрович, Тимофеева Мария Николаевна, Громов Николай Владимирович, Пармон Валентин Николаевич
Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 5.

Черенков И.А., e-mail: cherenkov@catalysis.ru

Медведева Т.Б., e-mail: tanmedvedeva@catalysis.ru

Тимофеева М.Н. e-mail: timofeeva@catalysis.ru

Чесалов Ю.А., Громов Н.В., Пармон В.Н. e-mail: gromov@catalysis.ru

Адрес для корреспонденции: *Громов Николай Владимирович*,
Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Россия, 630090, Новосибирск,
пр. Академика Лаврентьева, 5. gromov@catalysis.ru

Аннотация: В работе приготовлена серия ванадийсодержащих (2 и 5 масс.%) нанесённых на оксидные носители (TiO_2 , $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, MoO_3 , SBA-15, ZrO_2) катализаторов. Исследование стабильности приготовленных систем показало, что вымывание активного компонента из систем VO_x/TiO_2 , VO_x/MoO_3 , $\text{VO}_x/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\text{VO}_x/\text{SBA-15}$ варьируется от 24 до 100%. Катализаторы VO_x/ZrO_2 являются стабильными в условиях реакции. Каталитические испытания циркониевых V-содержащих систем VO_x/ZrO_2 в превращении глюкозы и крахмала показали, что основным продуктом реакции в водной фазе является муравьиная кислота (выход до 24 мол.%).

Ключевые слова: Углеводсодержащее сырьё, гетерогенные катализаторы, V-содержащие катализаторы, муравьиная кислота.

1. Введение

Общепризнанно, что растительные углеводы представляются перспективной альтернативой для получения экологически перспективного носителя водорода – муравьиной кислоты (МК). Традиционно процесс осуществляется с использованием растворимых ванадийсодержащих гетерополикислот состава $\text{H}_{3+x}\text{PMo}_{12-x}\text{V}_x\text{O}_{40}$ (где $x = 1-5$). В настоящее время особое внимание уделяется разработке новых твердых V-содержащих нанесенных катализаторов [1], облегчающих как отделение катализатора от реакционной смеси, так и повышающих эффективность расходования катализатора. В литературе показано, что при окислении глюкозы в водном растворе в присутствии 5%Mo- $\text{VO}_x/\text{ZSM-5}$ выход целевого продукта достигает 71 мол.% [2, 3].

Основной проблемой применения таких систем является вымывание активного компонента с поверхности носителя в условиях реакции с образованием растворимых форм, активных в окислении V-содержащих частиц.

Целью данной работы является исследование стабильности нанесенных катализаторов типа VO_x/Ox (где Ox - TiO_2 , $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, MoO_3 , SBA-15, ZrO_2) в условиях реакции и определение возможности получения муравьиной кислоты из углеводного сырья в их присутствии.

2. Экспериментальная часть

В работе использовали в качестве субстратов глюкозу (х.ч., Fisher Chemical) и крахмал (х.ч., ООО «Амилорос»), в качестве носителей – коммерческие TiO_2 (P25, Acros Organics), $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (Merck), SBA-15 (Sisco research), MoO_3 (Реахим) и приготовленный $\text{ZrO}_2 \cdot 1.2\text{H}_2\text{O}$. Синтез $\text{ZrO}_2 \cdot 1.2\text{H}_2\text{O}$ осуществляли путем обработки $\text{ZrO}(\text{NO}_3)_2$ (99%, Acros Organic) в СВЧ печи при 320 °C [4]. Нанесение оксида ванадия (2 и 5 масс.% в расчете на элемент V) проводили путем пропитки носителей раствором оксалата ванадила по влагеёмкости с последующей термообработкой при 320-350 °C в течение 2ч.

Исследование смываемости (стабильности) активного компонента проводили в реакторе-автоклаве высокого давления при 150°C в атмосфере искусственного воздуха и постоянном перемешивании в течение 3ч. После гидротермальной обработки раствор отделяли от катализатора и определяли в нем количество вымытого ванадия методом АЭС-ИСП. Стабильные каталитические системы были исследованы комплексом физико-химических методов (низкотемпературная адсорбция N_2 , ЭСДО, $\text{pH}_{\text{ТНЗ}}$, спектроскопия КР) и испытаны в гидролизе-окислении крахмала и глюкозы в автоклаве высокого давления при 130 и 150°C соответственно, давлении искусственного воздуха 20 атм и при постоянном перемешивании. Во время процесса периодически производился отбор проб для анализа методом ВЭЖХ и определения общего органического углерода (ООУ). С целью определения состава газовой фазы методом ГХ были проведены аналогичные эксперименты без отбора проб жидкой фазы.

3. Результаты и обсуждение

Для систем VO_x , нанесенных на оксиды Ti, Al, Mo и SBA-15 показано значительное вымывание активного компонента (24-100%) в гидротермальной среде. Серия VO_x/ZrO_2 демонстрирует высокую стабильность (потеря активного компонента <1%) и была выбрана для исследования превращения углеводов в муравьиную кислоту.

Катализаторы VO_x/ZrO_2 представляют собой микро-мезопористый материал с развитой удельной поверхностью (172 и 163 $\text{м}^2/\text{г}$ для катализаторов, содержащих 2 и 5 мас.% ванадия соответственно). Значение поверхностной кислотности, оцененной по величине $\text{pH}_{\text{ТНЗ}}$, составило 1.6 и 1.5 для катализаторов 2% VO_x/ZrO_2 и 5% VO_x/ZrO_2 соответственно и было ниже по сравнению с немодифицированным носителем ($\text{pH}_{\text{ТНЗ}}$ – 1.7). Ванадийсодержащие образцы, а также исходный оксид циркония имеют рентгеноаморфную структуру по данным РФА. На дифрактограммах

отсутствуют рефлексy, относящиеся к $V=O$, свидетельствуя об отсутствии образования крупных агломератов оксида ванадия (V). Введение активного компонента подтверждено методом ИК-спектроскопии. Для всех образцов было рассчитано значение ширины запрещённой зоны по данным ЭСДО. При введении ванадия на поверхность ZrO_2 значение E_g уменьшается с 5.6 для немодифицированного носителя до 2.9 и 3.2 эВ для катализаторов 2 и 5 масс.% VO_x соответственно. Структуру активного компонента исследовали спектроскопией КР. В КРС спектрах V-содержащих образцов наблюдается полоса около $880-890\text{ см}^{-1}$, которую можно отнести к валентному колебанию $V-O-V$. При увеличении загрузки ванадия в составе катализатора с 2 до 5 масс.% в спектре появляются следующие полосы: при 1015 см^{-1} , соответствующая валентным колебаниям $V=O$, и при 150, 703 и 995 см^{-1} , относящиеся к ромбическому V_2O_5 . Таким образом, анализ образцов физико-химическими методами позволяет сделать вывод, что ванадийсодержащие циркониевые образцы представляют собой кислотный рентгеноаморфный материал, где ванадий преимущественно находится в виде полимерных частиц $(VO_x)_n$. В случае образца $5\%VO_x/ZrO_2$ зафиксировано образование и частиц V_2O_5 малых размеров и/или высокой дефектности структуры.

Каталитические испытания VO_x/ZrO_2 показали, что как в случае использования в качестве субстрата глюкозы, так и крахмала, основным продуктом в жидкой фазе является муравьиная кислота с выходом 19-24 мол.%. В жидкой фазе были зафиксированы интермедиаты процесса, такие как фруктоза (до 11 мол.%), арабиноза (до 8 мол.%), следовые количества дигидроксиацетона, глицеральдегида. В качестве побочных продуктов обнаружены уксусная (до 2 мол.%) и гликолевая (до 5 мол.%) кислоты. Селективность образования МК по водорастворимым продуктам в присутствии обеих систем VO_x/ZrO_2 достигает 37-57%. Анализ газовой фазы показал, что образуется основной побочный продукт – углекислый газ с выходом до 25 мол.%. Данные результаты подтверждаются анализом реакционной смеси на содержание ООУ: в растворе наблюдается снижение содержания общего органического углерода в течение реакции. Расчёт удельной активности катализаторов показал, что $A_{уд}$ системы $2\%VO_x/ZrO_2$ составляет $21\text{ г}_{МК}\cdot\text{г}_V^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$, что в 2,6 раз выше, чем для катализатора $5\%VO_x/ZrO_2$.

4. Выводы

Проведён синтез серии ванадийсодержащих (2 и 5 масс.%) нанесённых на оксидные носители (TiO_2 , $\gamma-Al_2O_3$, MoO_3 , SBA-15, ZrO_2) катализаторов. Испытания катализаторов в гидротермальных условиях показали, что из всех приготовленных материалов только ванадийсодержащие циркониевые системы оказались стабильны. В присутствии VO_x/ZrO_2 может быть получена муравьиная кислота из глюкозы и крахмала с выходом до 24 мол.%. Удельная активность катализатора $2\%VO_x/ZrO_2$ составляет $21\text{ г}_{МК}\cdot\text{г}_V^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$, что в 2,6 раз выше, чем для катализатора $5\%VO_x/ZrO_2$.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 25-43-02194).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Gromov N. V., Medvedeva T. B., Lukoyanov I. A., Ogorodnikova O. L., Panchenko V. N., Parmon V. N., Timofeeva M. N. Hydrolysis-oxidation of starch to formic acid in the presence of vanadium-containing molybdophosphoric heteropoly acid ($H_{3+x}PMo_{12-x}V_xO_{40}$): Effect of acidity and vanadium content on the yield of formic acid // *Renewable Energy*. – 2024. – Т. 220. – С. 119534.
2. Álvarez-Hernández D., Ivanova S., Domínguez M. I., Blanes J. M. M., Centeno M. Á. V_2O_5/TiO_2 Catalyst for Catalytic Glucose Oxidation to Formic Acid in Batch Reactor: Vanadium Species Nature and Reaction Conditions Optimization // *Topics in Catalysis*. – 2025. – Т. 68, № 1. – С. 49-58.
3. Wei S., Sun T., Huang M., Li Z., Sun Y. Highly efficient oxidation of biomass-derived glucose into formic acid by Mo-V oxide nanoparticle catalysts anchored on ZSM-5 in water // *Separation and Purification Technology*. – 2025. – Т. 361. – С. 131464.
4. X.S. Cherepanova, I.A. Cherenkov, T.B. Medvedeva, N.V. Gromov. Influence of microwave synthesis conditions optimized by response surface methodology on the surface area of sulfated ZrO_2 / *Russian Journal of Applied Chemistry* (в печати).

HYDROLYSIS-OXIDATION OF CARBOHYDRATE RAW MATERIALS OVER SUPPORTED V-CONTAINING CATALYSTS

***Cherenkov Ilya Alexandrovich, Ph.D. student; Medvedeva Tatiana Borisovna,
Chesalov Yuriy Aleksandrovich, Timofeeva Maria Nikolaevna, Gromov Nikolay
Vladimirovich, Parmon Valentin Nikolayevich***

Boreskov Institute of Catalysis SB RAS, 5 Lavrentiev av., Novosibirsk, 630090,
Russia

Cherenkov I.A., e-mail: cherenkov@catalysis.ru

Medvedeva T.B., e-mail: tanmedvedeva@catalysis.ru

Timofeeva M.N., e-mail: timofeeva@catalysis.ru

Chesalov Y.A., Gromov N.V., Parmon V.N. e-mail: gromov@catalysis.ru

Address for correspondence: ***Gromov Nikolay Vladimirovich***, Boreskov Institute of
Catalysis SB RAS, 5 Lavrentiev av., Novosibirsk, 630090, Russia
gromov@catalysis.ru

Annotation: In this work, a series of V-containing catalytic systems (2 and 5 wt.% V) supported on oxide materials (TiO_2 , $\gamma-Al_2O_3$, MoO_3 , SBA-15, ZrO_2) were prepared. A stability investigation of the prepared systems showed that the leaching of the active component from the VO_x/TiO_2 , VO_x/MoO_3 , $VO_x/\gamma-Al_2O_3$, $VO_x/SBA-15$

systems varied from 24 to 100%. The VO_x/ZrO_2 catalysts were stable under the reaction conditions. Catalytic activity testing of zirconium V-containing VO_x/ZrO_2 systems in the conversion of glucose and starch process showed that the main product in the liquid phase was formic acid (yield up to 24 mol.%).

Keywords: Carbohydrate-containing biomass, heterogeneous catalysts V-containing catalysts, formic acid.

УДК 579:504.054

ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБНОСТИ АБОРИГЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ПЕСКА С ПОБЕРЕЖЬЯ ЧЕРНОГО МОРЯ ДЕСТРУКТИРОВАТЬ НЕФТЕПРОДУКТЫ

Ширин Аюша Орлановна^{1,2}, студент; *Елистратова Елена Владимировна*¹, доцент, к.м.н.; *Адаменко Любовь Сергеевна*², м.н.с.; *Шестопалов Александр Михайлович*², профессор, д.б.н.

¹Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20.

²Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной
медицины,

630060, Россия, г. Новосибирск, ул. Тимакова, 2, тел.+7(800)222-60-86

Ширин А.О., e-mail: alic.sho@yandex.ru

Елистратова Е.В., e-mail: e.elistratova@corp.nstu.ru

Шестопалов. А.М., e-mail: shestopalov2@mail.ru

Адаменко Л.С., e-mail: aminisib@yandex.ru

Адрес для корреспонденции: Ширин Аюша Орлановна,
Новосибирский государственный технический университет,
кафедра инженерных проблем экологии (ИПЭ).
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20.

Аннотация: В работе объектом исследования являлись микроорганизмы, выделенные из загрязненного мазутом песка с побережья Чёрного моря. В ходе годовичного исследования проведён микробиологический мониторинг почвенных образцов, загрязнённых мазутом. В первые 1,5 месяца было выделено 12 типов аборигенных микроорганизмов, однако к концу наблюдений стабильную жизнеспособность сохранили только 4 типа. Химический анализ подтвердил тенденцию к снижению концентрации нефтепродуктов в образцах, что указывает на наличие нефтедеструктирующей активности у микрофлоры. В условиях минеральной среды с нефтью как единственным источником углерода 4 типа микроорганизмов продемонстрировали наибольшую эффективность деградации и длительную выживаемость. Все микроорганизмы депонированы в коллекции НИИ вирусологии ФИЦ ФТМ для дальнейших исследований.

Результаты работы подтверждают наличие в загрязненных почвах устойчивых аборигенных микроорганизмов-деструкторов, перспективных для разработки биотехнологий очистки нефтезагрязнённых сред.

Ключевые слова: Песок, нефтепродукты, загрязнение почвы, нефтедеструкторы, микроорганизмы.

1. Введение

В настоящее время экология превратилась в главенствующую междисциплинарную науку, решающую проблемы с последствиями воздействия антропогенных факторов на биосферу Земли. Наряду с решением природоохранных проблем идут поиски и создание современных технологий для очистки загрязнённых нефтью и нефтепродуктами участков воды и суши. Среди существующих методов очистки, биоремедиация является наиболее перспективным и экологически безопасным методом [1,2].

Актуальность нефтедеструкторов ярко демонстрируется на примере загрязнения песка мазутом, подобного тому, что случилось 15 декабря 2024 года в Керченском проливе когда произошёл масштабный экологический инцидент, в результате которого Чёрное море было загрязнено десятками тысяч тонн нефти. Причиной трагедии стал разлив мазута с двух танкеров, «Волгонефть 212» и «Волгонефть 239», которые перевозили более 9 тысяч тонн мазута, предназначенного для поставок в порты Черноморского региона [3,4].

Задачи работы:

- 1) Оценить жизнеспособность макроорганизмов в условиях бедной среды с единственным источником питания - нефтепродукт;
- 2) Оценить безопасность выделенных микроорганизмов;
- 3) Создать коллекцию полученных микроорганизмов.

2. Материалы и методы исследования

Объектом исследования стали двенадцать чистых культур микроорганизмов, выделенных из песка с побережья Чёрного моря, загрязненного мазутом. Для выполнения задач применялись классические методы микробиологии [5].

3. Результаты и обсуждение

В течение года нами проводились высевы на твёрдую питательную среду почвенных образцов, загрязненных мазутом. Было показано, разнообразие аборигенных микроорганизмов, которое в первые полтора месяца, достигало двенадцати типов колоний. В последующие месяцы оно снизилось до четырёх типов, которые проявляют стабильную жизнеспособность до сегодняшнего времени.

Химический анализ загрязненного песка (ФГБУ «ЦЛАТИ») показал тенденцию к снижению концентрации нефтепродуктов в образцах, что свидетельствует о присутствии микроорганизмов способных деструктировать нефть. Оценка жизнеспособности выделенных микроорганизмов в минеральной среде с нефтью, как единственным источником питания выявила четыре типа

микроорганизмов, которые продемонстрировали лучший результат разложения нефти и способность к продолжительному выживанию.

Одним из важных факторов оценки микроорганизмов является их безопасность для человека и животных. Тест на гемолитическую активность исследуемых микроорганизмов показал отсутствие гемолиза, подтвердив их безвредность.

Для дальнейших исследований все выделенные микроорганизмы были сохранены в сахарозожелатиновой среде и хранятся в коллекции НИИ вирусологии ФИЦ ФТМ.

4.Выводы

1. По истечении 11 месяцев способность к выживанию в условиях загрязнения мазутом сохранили 4 типа микроорганизмов.

2. На данный момент 4 образца проявили нефтедеструктирующие способности в условиях бедной среды с единственным источником питания нефтепродукт.

3. Из 12 типов аборигенных микроорганизмов, выделенных из песка, отсутствует гемолиз в тесте на гемолитическую активность.

4. Создана коллекция микроорганизмов, выделенных из песка, загрязненного мазутом для дальнейших исследований.

Благодарности

Выражаем благодарность техническому директору ООО «Биоойл» Глушкову А.В. за предоставленный материал для микробиологических исследований.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Калимуллин Р.Д. Загрязнение окружающей среды нефтегазовой промышленностью в РФ / Р. Д. Калимуллин, Н. В. Дукмасова. — Текст : электронный // Система управления экологической безопасностью : сборник трудов XVIII международной научно-практической конференции (Екатеринбург, 23-24 мая 2024 г.). — Екатеринбург: УрФУ, 2024. — С. 81-85.

2. Chunyan X, Qaria MA, Qi X, Daochen Z. The role of microorganisms in petroleum degradation: Current development and prospects. Sci Total Environ. 2023 Mar 20;865:161112. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.161112. Epub 2022 Dec 28. PMID: 36586680

3. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации: официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mnr.gov.ru/>. (дата обращения: 23.03.2026);

4. Аварии и последствия танкерной перевозки мазута (Керченский пролив - 2007 г., г. Анапа - 2024 г.) / Г. Г. Матишов, А. В. Клещенко, В. В. Кулыгин, С. В. Бердников ; Федеральный исследовательский центр, Южный научный центр Российской академии наук. - Ростов-на-Дону : ЮНЦ РАН, 2025. - 139 с.;

5. Плотников А.О. Частная микробиология и систематика микроорганизмов: методические указания к лабораторному практикуму /А.О.

STUDYING STUDY OF THE ABILITY OF NATIVE MICROORGANISMS ISOLATED FROM SAND FROM THE BLACK SEA COAST TO DESTRUCT OIL

Shirin Ayusha Orlanovna^{1,2}, student;

*Elistratova Elena Vladimirovna¹, Associate Professor, Candidate of Medical
Sciences; Adamenko Lyubov Sergeevna², Junior Researcher; Shestopalov
Alexander Mikhailovich², Professor, Doctor of Biological Sciences*

¹Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, pr-t K.
Marksa, 20.

²Federal Research Center for Fundamental and Translational Medicine, 630060,
Russia, Novosibirsk, st. Timakova, 2, tel. +7(800)222-60-86

Shirin A.O., e-mail: alic.sho@yandex.ru

Elistratova E. V., e-mail: e.elistratova@corp.nstu.ru

Shestopalov. A.M., e-mail: shestopalov2@mail.ru

Adamenko L.S., e-mail: aminisib@yandex.ru

Address for correspondence: Shirin Ayusha Orlanovna,
Novosibirsk State Technical University,
630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marx Ave., 20.

Annotation: This article examines microorganisms isolated from fuel oil-contaminated sand along the Black Sea coast. Microbiological monitoring of soil samples contaminated with fuel oil was conducted over the course of a year-long study. During the first 1.5 months, 12 types of indigenous microorganisms were isolated; however, by the end of the study, only four types remained viable. Chemical analysis confirmed a downward trend in the concentration of petroleum products in the samples, indicating the presence of oil-degrading activity in the microflora. In a mineral environment with oil as the sole carbon source, these four types of microorganisms demonstrated the highest degradation efficiency and long-term survival. All microorganisms have been deposited in the collection of the Virology Research Institute of the Federal Research Center for Physical, Microbiological and Microbiological Technologies for further research. The results of this study confirm the presence of resilient indigenous degrading microorganisms in contaminated soils, which hold promise for the development of biotechnologies for the treatment of oil-contaminated environments.

Keywords: Sand, microorganisms, soil pollution, oil destructors.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ВЫБРОСА УСТАНОВКИ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ МЕТАЛЛА

*Штанько Евгений Олегович, студент; Немущенко Дмитрий
Андреевич, старший преподаватель*

Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

Штанько Е.О., e-mail: e_shtanko_2004@icloud.com

Немущенко Д.А., e-mail: nemuschenko@corp.nstu.ru

Адрес для корреспонденции: Немущенко Дмитрий Андреевич,

Новосибирский государственный технический университет,
кафедра инженерных проблем экологии (ИПЭ).

630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20.

Аннотация: Проведён анализ методик выполнения измерений концентраций вредных аэрозолей, образующихся при проведении сварочных работ и лазерной резке. Изучены титрометрические и фотометрические методы анализа химического состава аэрозоля.

Ключевые слова: Нормативно-правовые акты, методики измерений, вентиляционный выброс, лазерная резка металла.

1. Введение

Вентиляционные системы установок лазерной резки предназначены для улавливания высокотоксичного аэрозоля, содержащего мелкодисперсные частицы металлов. Заявленная производителями оборудования эффективность очистки часто достигает 99,9 %, однако на практике эти данные могут не соответствовать действительности.

Данное исследование направлено на решение конкретной производственной проблемы: отсутствие достоверной информации об эффективности работы системы очистки вентиляционного выброса, образующегося при работе лазерного станка.

2. Цель и задачи работы

Цель исследования: оценить эффективность работы установки сухого пылеулавливания в отношении мелкодисперсного аэрозоля, образующегося при лазерном раскрое металла.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- провести обзор инструментальных методов контроля концентраций аэрозолей, образующихся при проведении сварочных работ и лазерной резке, изучить методологию отбора проб;
- организовать пост отбора проб вентиляционных газов от установки лазерной резки металла и после очистки;

- провести измерение параметров газопылевого потока комплектом аппаратуры КИТОЙ-2 (поля скоростей, температур, расходов);
- провести варьирование режимов сухой очистки вентиляционного газопылевого потока, образующегося при работе установки лазерной резки металла, от аэрозолей (режимы работы установки лазерной резки, режимы работы газоочистной установки, типы обрабатываемых материалов);
- для определения запылённости гравиметрическим методом провести отбор проб вентиляционных газов до и после очистки, а также проб воздуха рабочей зоны, с концентрированием на фильтры типа АФА;
- провести отбор проб воздуха рабочей зоны с концентрированием на фильтры типа АФА-ХА для изучения химического состава аэрозоля;
- химическими методами в условиях лаборатории провести обработку проб аэрозолей для определения концентраций железа, никеля, хрома;
- провести обработку полученных результатов: рассчитать погрешности измерения, составить протоколы, рассчитать эффективность установки по удалению аэрозолей, разработать рекомендации по модернизации системы вентиляции.

3. Результаты и обсуждение

В процессе работы был проведён анализ следующих нормативно-технических и методических материалов, регламентирующих требования к качеству воздушной среды, методам отбора проб и инструментальному контролю параметров газопылевых потоков:

1. ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [1]:

- классификация вредных веществ по степени опасности и величины предельно допустимых концентраций (ПДК) в воздухе рабочей зоны;
- установлены численные критерии оценки опасности аэрозоля лазерной резки (соединения хрома, никеля, марганца, оксиды азота, озон), что необходимо для обоснования требуемой степени очистки вентиляционных выбросов и оценки профессионального риска оператора.

2. ГОСТ Р 50820-95 «Оборудование газоочистное и пылеулавливающее. Методы определения запылённости газопылевых потоков» [2]:

- требования к выбору измерительного сечения газотока, методика обеспечения изокINETичности отбора проб, алгоритм расчета объемного расхода газа через пробоотборное устройство, правила применения методов внутренней и внешней фильтрации;
- документ является методической основой для планирования и проведения экспериментальной части работы на реальном объекте (вентиляционный канал установки лазерной резки).

3. ГОСТ 17.2.4.06-90 «Охрана природы. Атмосфера. Методы определения скорости и расхода газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения» [4], Руководство по эксплуатации комплекса аппаратуры КИТОЙ-2 [3]:

- порядок и методика измерения скорости газового потока и точного учёта объёма пропущенного газа с помощью трубки Пито, измерение температурного поля, позволяет провести измерения в соответствии с требованиями ГОСТ Р 50820-95;

- устройство, принцип действия и порядок работы с автоматизированным комплексом для измерения параметров газопылевых потоков.

4. МИ ПрВ-2015/3 «Промышленные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Методика измерений массовой концентрации пыли в газах организованных ИЗА» [5]:

- алгоритм выполнения прямого гравиметрического метода контроля запылённости с применением метода внешней фильтрации;

- процедуры подготовки фильтров и выбора точек отбора проб, их количества.

5. Методические указания по определению вредных веществ в сварочном аэрозоле (твёрдая фаза и газы) № 4945-88 [6]:

- физико-химические методы анализа состава аэрозоля (ТССА) и газовой составляющей (ГССА); рассмотрены методики озонения фильтров АФА, перевода составляющих аэрозоля в раствор, а также фотометрические методы определения концентраций отдельных компонентов (Fe, Mn, Cr (III/VI), Ni, Cu);

- данный документ закладывает теоретическую базу для последующего углублённого химического анализа проб, отобранных до и после установки очистки, с целью оценки не только общей массы пыли, но и эффективности улавливания конкретных токсичных металлов.

4. Выводы

Практическая значимость работы:

1) Обеспечение достоверного производственного контроля. Традиционные методы отбора проб не способны уловить субмикронные частицы сварочного аэрозоля и аэрозоля лазерной резки, что приводит к ошибочно завышенным показателям эффективности очистки.

2) Снижение профессиональных рисков. Установлено, что аэрозоли лазерной резки содержат частицы размером менее 0,4 мкм, которые не задерживаются альвеолами лёгких и проникают в кровоток, вызывая системные интоксикации и онкологические заболевания. Без точных данных об эффективности очистки невозможно оценить реальную нагрузку на оператора и необходимость применения дополнительных СИЗов.

3) Соблюдение экологического законодательства. Достоверные результаты инструментальных исследований позволяют уточнить номенклатуру и массы выбросов загрязняющих веществ и снизить нагрузку на окружающую среду и человека.

В дальнейшем планируется провести отбор проб в соответствии с поставленными выше задачами, что обеспечит объективную оценку профессиональных рисков и возможность сформулировать рекомендации по

замене фильтрующих элементов, модернизации вытяжных систем и защите здоровья операторов лазерных комплексов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны // Введён 01-01-1989. – М.: Стандартиформ, 2005. – 48 с.
2. ГОСТ Р 50820-95. Оборудование газоочистное и пылеулавливающее. Методы определения запылённости газопылевых потоков // введен 27-09-1995. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1996. – 32 с.
3. ГСП. Комплект аппаратуры для измерений параметров газопылевых потоков КИТОЙ-2: Руководство по эксплуатации // Ангарское ОКБА. – 2007. – 41 с.
4. ГОСТ 17.2.4.06-90. Охрана природы. Атмосфера. Методы определения скорости и расхода газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения // Введён 01.01.1991. – М., 1991. – 20 с.
5. МИ ПрВ-2015/3. Промышленные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Методика измерений массовой концентрации пыли в газах организованных ИЗА // Утверждена ген. директором ООО «РУСАЛ ИТЦ» 25-12-2015 г. – СПб, Красноярск, 2015. – 24 с.
6. Методические указания по определению вредных веществ в сварочном аэрозоле (твёрдая фаза и газы) № 4945-88 // Утверждены Госкомсанэпиднадзором РФ 22-12-1988. – М.: МП «Рарог», 1992. – 110 с.

METHODOLOGICAL PRINCIPLES FOR DETERMINING THE EFFICIENCY OF CLEANING THE VENTILATION OUTLET OF A METAL LASER CUTTING INSTALLATION

Shtan`ko Evgenij Olegovich, student;

Nemushchenko Dmitry Andreevich, senior lecturer

Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

Shtan`ko E.O., e-mail: e_shtanko_2004@icloud.com

Nemushchenko D.A., e-mail: nemuschenko@corp.nstu.ru

Address for correspondence: Nemushchenko Dmitry Andreevich,
Novosibirsk state technical university,
630073, Russia, Novosibirsk, pr. K. Marks, 20.

Annotation: An analysis of methods for measuring the concentrations of harmful aerosols generated during welding and laser cutting was conducted. Titrimetric and photometric methods for analyzing the chemical composition of aerosols were studied.

Keywords: Regulatory legal acts, measurement methods, ventilation exhaust, laser cutting of metal.

Оглавление

СЕКЦИЯ: ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

В ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	6
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ Вдовин П. О., Рынгач Н. А.....	6
ПОДБОР СМАЗОЧНОГО СОСТАВА ДЛЯ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ТИТАНА Зеленина А. В., Гилета В. П.....	11
РАЗРАБОТКА И БИОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОТЕЗОВ СТОПЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ FDM-ПЕЧАТИ Куракин А. Ю., Сергеев А. Д., Коростовская Д. А., Куренкова А. Ю., Сердюков В. С.	16
ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ГОРЯЧЕГО ДОУПЛОТНЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ СЛС СПЛАВА Al-10Sn-10Pb Лихарев В. Е., Скоренцев А. Л. Русин Н. М., Акимов К. О.	22
МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЛОЕВ, ФОРМИРУЕМЫХ МЕТОДАМИ ТРЕНИЯ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ НА СТАЛЬНЫХ ПОДЛОЖКАХ Неустроев И. Ю.	27
ИМПОРТОНЕЗАВИСИМЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ЦИКЛОПЕНТАНА - ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОГО ВСПЕНИВАТЕЛЯ ДЛЯ ЖЁСТКИХ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПЛАСТИКОВ Филина М. П.....	32

СЕКЦИЯ: БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ	38
МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ ПО УПРАВЛЕНИЮ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ И ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМИ РИСКАМИ	
<i>Арцыбашева А. С., Гуськов А. В.</i>	<i>38</i>
АНАЛИЗ РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ НА МЕТАЛЛОПЛАВИЛЬНОМ ЗАВОДЕ	
<i>Бикмаев И. А., Сергейчик С. Ю.</i>	<i>42</i>
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОДУКТОВ РАЗРУШЕНИЯ КОНТАКТОВ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА	
<i>Ведерников Д. С.</i>	<i>45</i>
АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ТРУДА	
<i>Генрих А. А., Поляков Ю. О.</i>	<i>50</i>
АНАЛИЗ УРОВНЯ ШУМА В СЕЛИТЕЛЬНЫХ ЗОНАХ	
<i>Давыдов Д. Р., Парахин А. М.</i>	<i>54</i>
ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА СЛЕСАРЯ ПО СБОРКЕ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ НА ПРИМЕРЕ РАБОТНИКА НПО «ЭЛСИБ» ПАО	
<i>Дармажапова Ю. Б., Виноградов А. В.</i>	<i>58</i>
ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ТРУДА ОПЕРАТОРА ЛИНИИ РОЗЛИВА НА ПИВОВАРЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ	
<i>Козлова В. А., Ломан В. А.</i>	<i>63</i>
АНАЛИЗ ОПАСНОСТЕЙ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ВЫБРОСОВ	
<i>Макаренко М. И., Коробенков А. Д.</i>	<i>67</i>

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА, А ТАКЖЕ МЕХАНИЗМОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ	
<i>Мельников Р. Д., Ридель А. В.</i>	70
ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА РОССИЙСКИХ СКЛАДАХ: РИСКИ, БАРЬЕРЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ	
<i>Прокофьев П. Р., Поляков Ю. О.</i>	74
МЕТОД ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ НА ОСНОВЕ МАТРИЧНОГО ПОДХОДА И СИСТЕМЫ ЭЛМЕРИ	
<i>Рыбкина Е. А., Леган М. В.</i>	80
АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПО «СЕВЕР» И РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ЕЁ УЛУЧШЕНИЮ	
<i>Сатпаков Е. Б., Цыганков Д. А.</i>	84
АНАЛИЗ ВРЕДНЫХ И ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ НА УЧАСТКЕ ПРЕССОВАНИЯ-ВУЛКАНИЗАЦИИ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ АО «НОВОСИБИРСКИЙ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ЗАВОД»	
<i>Трунова О. А., Белоусова Н. С.</i>	89
АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ	
<i>Тюрина А. В., Милевский К. Е.</i>	94
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВОЗГОРАНИЙ НА НЕФТЕХРАНИЛИЩАХ	
<i>Тюшникова Д. А., Белоусова Н. С.</i>	99
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ: МОДЕРНИЗАЦИЯ ОБУЧЕНИЯ	
<i>Федотова А. А., Гуськов А. В.</i>	105
АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ И ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ	
<i>Чередов А. Р.</i>	109

ВЛИЯНИЕ ВОДОПОДГОТОВКИ НА ОТЛОЖЕНИЯ НАРУЖНЫХ
И ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА ПАРОВОГО КОТЛА

Чумакова А. В., Гуськов А. В. 115

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ТРУДА СЛЕСАРЯ ПО РЕМОНТУ КОТЕЛЬНОГО
ОБОРУДОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ООО «ТЕПЛОЭНЕРГОРЕМОНТ»,
Г. ПРОКОПЬЕВСК)

Шакирова Л. Р., Ломан В. А. 118

СЕКЦИЯ: ЭКОЛОГИЯ, ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ, ЗАЩИТА

ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ 122

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОЛИГОНА ЗАХОРОНЕНИЯ ОПАСНЫХ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Безрукова Д. А., Немущенко Д. А. 122

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОМАССЫ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ
РОДА *CHLORELLA* ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ

Беляева А. О., Болтенков В. В., Громов Н. В. 125

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОПЫТНОЙ УСТАНОВКИ
ОЧИСТКИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ УГОЛЬНОЙ КОТЕЛЬНОЙ
ОТ ОКСИДОВ АЗОТА, СЕРЫ И УГЛЕРОДА

Ворожбянский К. Н., Немущенко Д. А., Стрижичковский А. В. 131

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ЗОЛЬКЕТАЛЯ
ИЗ ГЛИЦЕРИНА И АЦЕТОНА В ПРИСУТСТВИИ КИСЛОТНО-
АКТИВИРОВАННОГО МОНТМОРИЛЛОНИТА ВОЗДЕЙСТВИЕМ
МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Гоман А. Р., Панченко В. Н. 136

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СБОРА И ОРГАНИЗАЦИИ ХРАНЕНИЯ
ОТХОДОВ СТРАТЕГИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫХ МЕТАЛЛОВ
ДЛЯ ВТОРИЧНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ

Гончаренко О. И., Александров В. Ю. 140

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОТХОДОВ АО НАРЗ И РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ ОБЪЁМАМИ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ <i>Дзюина П. В., Цыганков Д. А.</i>	146
СИНТЕЗ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОГНЕТУШАЩЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОРОШКОВЫХ СОСТАВОВ НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛОГИДРАТОВ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЛЕЙ <i>Дорохина Д. О., Гуровский В. В., Громов Н. В., Пармон В. Н.</i>	149
АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ЭФИРОВ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В ЦЕЛЯХ СОЗДАНИЯ СОРБЕНТОВ ОЧИСТКИ ЗАГРЯЗНЁННЫХ ВОД <i>Евсина В. А., Милюшина А. С., Громов Н. В.</i>	154
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ УГЛЕРОДНЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИИ <i>Ельсуква С. Н., Федосеева Ю. В.</i>	158
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВПИТЫВАНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ КОМПОЗИЦИОННЫМ СОРБЦИОННЫМ МАТОМ <i>Казарезов А. А., Ларичкин В. В.</i>	161
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТНОШЕНИЯ ПАРОВ ВОДЫ К СЫРЬЮ В ТРУБЧАТОМ ЗМЕЕВИКЕ ПЕЧИ ПИРОЛИЗА ЭТАНА МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ <i>Канзафаров Д. А., Верниковская Н. В., Чумаченко В. А.</i>	165
СИНТЕЗ АТОМАРНОЙ ПЛАТИНЫ И СВОЙСТВА КАТАЛИЗАТОРА Pt-Me/N-ГРАФЕН В РЕАКЦИИ РАЗЛОЖЕНИЯ МУРАВЬИНОЙ КИСЛОТЫ <i>Коростина В. А., Чесноков В. В.</i>	170
ОЦЕНКА ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО ВБЛИЗИ ПОЛИГОНА ТВЁРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ <i>Кривопустов И. В., Колоберда А. Е., Елистратова Е. В.</i>	174

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ФОСФАТНОГО ГЕОХИМИЧЕСКОГО БАРЬЕРА ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ МИГРАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ХВОСТОХРАНИЛИЩ ЯТЦ	<i>Круглова М. С., Богуславский А. Е.</i>	180
АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ УСЛОВИЙ ТРУДА РАБОЧИХ ПО «СЕВЕР» И РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ИХ УЛУЧШЕНИЮ	<i>Макаров Н. А., Цыганков Д. А.</i>	185
РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ НА ГОРНОПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ	<i>Меркурьева Н. А.</i>	188
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО УДОБРЕНИЯ ИЗ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА НА УРОЖАЙНОСТЬ КАПУСТЫ БЕЛОКОЧАННОЙ	<i>Немущенко Д. А., Рубцов А. А., Сулейманова Г. Ш., Бустонов Р. Х.</i>	191
ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ СВЯЗУЮЩЕГО ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ И ЛИГНОЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ	<i>Несов Н. А., Овсянникова А. А., Немущенко Д. А.</i>	194
СОЗДАНИЕ СЕПАРАТОРОВ НА ОСНОВЕ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, ВЫДЕЛЕННОЙ ИЗ БИОМАССЫ МИСКАНТУСА, ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ	<i>Перебейнос А. А., Мозылева М. А., Медведева Т. Б., Лебедева М. В., Громов Н. В., Пармон В. Н.</i>	198
ИССЛЕДОВАНИЕ И ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ХРАНИЛИЩА ОПАСНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ Г. НОВОСИБИРСКА В ЧАСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НЕДРА И ЗЕМЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ	<i>Петелина М. С., Шеболтасов А. Г., Богуславский А. Е.</i>	201

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПИРОЛИЗА ЭТАНА В ТРУБЧАТОМ ЗМЕЕВИКЕ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ: ВЛИЯНИЕ ЛИНЕЙНОЙ СКОРОСТИ НА ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССА	
<i>Петров А. В., Верниковская Н. В., Чумаченко В. А.</i>	206
ИССЛЕДОВАНИЕ И ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ХРАНИЛИЩА ОПАСНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ Г. НОВОСИБИРСКА В ЧАСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДЫ	
<i>Семенова Е. И., Богуславский А. Е.</i>	211
ВЛИЯНИЕ ПРОМОТОРОВ (Re, Pd, Mo) НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КАТАЛИЗАТОРА $\text{Ce}_{0.2}\text{Ni}_{0.8}\text{O}_{1.2}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ДЛЯ ПРОЦЕССА КИСЛОРОДНО-УГЛЕКИСЛОТНОЙ КОНВЕРСИИ МЕТАНА	
<i>Стрельцова Д. А., Матус Е. В., Яшник С. А., Никитин А. П., Хайрулин С. Р.</i>	216
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ СОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ	
<i>Хайров Л. Е., Худяков Д. А., Громов Н. В.</i>	220
ГИДРОЛИЗ-ОКИСЛЕНИЕ УГЛЕВОДНОГО СЫРЬЯ В ПРИСУТСТВИИ НАНЕСЁННЫХ V-СОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРОВ	
<i>Черенков И. А., Медведева Т. Б., Чесалов Ю. А., Тимофеева М. Н., Громов Н. В., Пармон В. Н.</i>	225
ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБНОСТИ АБОРИГЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ПЕСКА С ПОБЕРЕЖЬЯ ЧЕРНОГО МОРЯ ДЕСТРУКТИРОВАТЬ НЕФТЕПРОДУКТЫ	
<i>Ширин А. О., Елистратова Е. В., Адаменко Л. С., Шестопалов А. М.</i>	229
МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ВЫБРОСА УСТАНОВКИ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ МЕТАЛЛА	
<i>Штанько Е. О., Немущенко Д. А.</i>	233

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Наука. Промышленность. Оборона
ТРУДЫ XXVII ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ

г. Новосибирск, 22-24 апреля 2026 г.

Том III

Под редакцией *Гуськова Анатолия Васильевича*

Компьютерная верстка

Зубашевский Константин Михайлович

Борисенко Юрий Андреевич

Подписано в печать 31.08.2026. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная

Тираж 20 экз. 14,18. Печ.л. 15,25. Заказ № 05677

Отпечатано в типографии

Новосибирского государственного технического университета

630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

Тел: (383)-346-31-87