



– СНО  
нэти



ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ

## НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ

г. НОВОСИБИРСК  
8 – 12 ДЕКАБРЯ 2025 г.

# СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

ЧАСТЬ 9

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

---

# **НАУКА ТЕХНОЛОГИИ ИННОВАЦИИ**

---

**Сборник  
научных трудов**

**г. Новосибирск, 08 декабря – 12 декабря 2025 г.  
в девяти частях**

**Часть 9**

НОВОСИБИРСК  
2026

УДК 62(063)  
ББК 72.5я431  
Н34

Н34      **НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ** // Сборник научных трудов  
в 9 ч. / под редакцией Захаровой Е. В. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2026.

ISBN 978-5-7782-5564-7  
Часть 9: – 388 с.  
ISBN 978-5-7782-5573-9

В сборнике публикуются материалы по научным направлениям: «*Актуальные проблемы авиаракетостроения*», «*Экология и техносферная безопасность*».

---

## ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

**Председатель Оргкомитета:**  
Батаев А. А., д.т.н., профессор, ректор НГТУ

**Зам. председателя Оргкомитета:**  
Отто А. И., к.т.н., проректор по научной работе и инновациям НГТУ

**Программный комитет:**  
Драгунов В. П., д.т.н., профессор, начальник ОПК ВК,  
Корель И. И., к.ф.-м.н., доцент, декан ФТФ  
Осмук Л. А., д.соц.н., профессор, директор ИСТР  
Рева И. Л., к.н.т., доцент, декан АВТФ  
Мелехина Е. А., к.п.н., доцент, декан ФГО  
Чинахов Д. А., д.т.н., доцент, декан ФЛА  
Тимофеев В. С., д.т.н., доцент, декан ФПМИ  
Эзрох Ю. С., д.э.н., доцент, декан ФБ  
Стрельцов С. А., к.т.н., доцент, декан РЭФ  
Вильбергер М. Е., к.т.н., доцент, декан ФМА  
Тюрин А. Г., к.т.н., доцент, декан МТФ  
Русина А. Г., д.т.н., профессор, декан ФЭН

УДК 62(063)  
ББК 72.5я431

**ISBN 978-5-7782-5573-9 (Ч.9)**  
**ISBN 978-5-7782-5564-7**

© Коллектив авторов, 2026  
© Новосибирский государственный  
технический университет, 2026

# **НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ – АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АВИАРАКЕТОСТРОЕНИЯ**

## **Секция ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ПРОИЗВОДСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

### **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПЕРЕХОД В АВИАЦИИ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ: ВНЕДРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК ВМЕСТО ПОРШНЬЕВЫХ ДВС**

**Я. С. Абзалов**

**Новосибирский государственный технический университет,**

**г. Новосибирск, yaroslav.abzalov@yandex.ru**

**Научный руководитель: Рынгач Н. А., к.т.н., доцент**

*В работе выполнен сравнительный анализ перехода от поршневого двигателя Rotax 912 к электрическому двигателю M90C60 на самолёте Aeroprakt A-22. Рассмотрены энергетические параметры, профили полета и влияние плотности батарей на длительность полета. Показано, что при текущих технологиях электрификация ограничивает дальность и требует новых подходов к эксплуатации.*

*The study presents a comparative analysis of replacing the Rotax 912 piston engine with the M90C60 electric motor on the Aeroprakt A-22 aircraft. Mission profiles, energy parameters, and battery-density effects on endurance are examined. Results show that with current technologies, electrification significantly limits the range and requires new operational approaches.*

#### **Введение**

Тенденция экологизации авиации всё активнее распространяется на авиацию общего назначения (АОН). Электрификация силовых установок обещает снижение локальных выбросов, уменьшение шума и упрощение эксплуатации, но связана с серьёзными ограничениями по запасу энергии. Цель работы — выполнить детальную оценку и проектирование батарейного блока массой 150 кг., из элементов формата “18650” и оценить практическую применимость электромотора M90C60 на примере воздушного судна Aeroprakt A-22.

#### **Исходные данные**

Самолёт: Aeroprakt A-22

Исходный двигатель: Rotax 912 (80-100 л.с.)

Электродвигатель: M90C60, непрерывная мощность ≈45 кВт, пиковая кратковременная ≈60 кВт.

КПД цепочки «батарея → мотор → винт» принято:  $\eta = 0.85$ .

Масса батарейного блока: = 150 kg.

**Таблица 1. Параметры элемента типоразмера 18650**

Параметр	Значение
Элемент	18650
Ёмкость элемента	3.6 А*ч.
Номинальное напряжение	3.7 В.
Токоотдача элемента	10 А
Масса элемента	0.048 кг.

**Таблица 2. Параметры сборки**

Конфигурация	100s×10p 3шт.
Число ячеек	3000 шт.
Масса сборок	144 Кг.
Номинальное напряжение сборки	370 В.
Ёмкость сборок	108 А*ч.
Максимальный разрядный ток	300 А.
Доступная емкость сборки	80%
Ёмкость доступная	86,4 А.
Энергетическая плотность аккумуляторов	270 Вт/кг.

### **Целевой номинал батарейного пакета**

Предполагается использование трех аккумуляторных сборок соединенных параллельно. Таким образом при аварийном отключении одной из трех аккумуляторных батарей не произойдет снижение мощности, выдаваемой двигателем для продолжения полета. Соответственно общее количество ячеек в каждой сборке = 1000 шт. Выбираем число последовательно соединённых ячеек S так, чтобы Общее напряжение сборки составило  $\approx 400$  В.

Определено число параллельных ветвей P так, чтобы суммарная масса трех сборок не превышала  $\approx 150$  кг. Для  $S = 100$ , выбираем P так, чтобы количество ячеек было равно 1000.

Конечная конфигурация 100s×10p 3шт.

**Таблица 3. Режимы потребления тока**

Частота вращения винта, об/мин	Потребная мощность, кВт	Воздушная скорость, км/ч	Потребный ток, А	Ток разряда ячейки, С
1600	25	100-110	67	0,62 С
1770	30	125-130	81	0,75 С
1875	35	140-145	94	0,8 С
1979	40	150-155	108	1 С
2080	45	160	121	1,12 С
2187	50	180	135	1,25 С

**Таблица 4. Расчет полетного времени**

Режим полета	Время	Используемая энергия, А
Набор высоты	3	6,75
Крейсерский	60	81
Снижение	5	0

**Энергетическая оценка топлива**

Топливо: 90 L (типичный объём)  $\times$  плотность 0.72 кг/л = 64.8 кг.

Теплотворная способность  $\approx$  43 МДж/кг  $\rightarrow$  химическая энергия = 64.8  $\times$  43 = 2786.4 МДж.

1 кВтч = 3.6 МДж  $\rightarrow$  химическая энергия = 2786.4 / 3.6 = 774 кВтч (химической).

КПД ДВС (полезная доля)  $\approx$  27%  $\rightarrow$  полезная энергия  $\approx$  774  $\times$  0.27 = 209 кВтч.

Полётное время = 209 кВтч / 46 Квт = 4.54 ч.

**Сравнение**

Доступная полезная энергия ДВС  $\approx$  209 кВтч, а батарея даёт  $\approx$  31.9 кВтч.

Коэффициент: 209 / 31.9  $\approx$  6.5 — т.е. бензиновый вариант обеспечивает примерно в 6 раз больше полезной энергии.

**Конструкция пакета, BMS, охлаждение и безопасность**

Блок из 3000 цилиндрических ячеек удобно разбить на 3 больших модуля для удобства сборки, обслуживания и замены.

Модули крепятся в каркас с виброразвязанной фиксацией, применяются негорючие материалы с высокой термостойкостью.

BMS обязана контролировать: напряжение каждой серии (100 групп), температуру каждой группы/модуля, балансировку S-групп, токи

заряда/разряда, аварийные отключения, связь (CAN) с контроллером мотора и системой самолёта.

Встроенные предохранители на модульных линиях и распределительные контакторы высокого напряжения.

### **Охлаждение**

Рекомендуется жидкостная система охлаждения модулей (радиаторы, контур хладагента), либо продуманная канальная принудительная вентиляция с аварийным дренажем тепла. Для авиации предпочтительна жидкостная (меньше шум, компактнее, эффективней).

### **Пожарная безопасность**

Конструкция корпуса должна предусматривать автономное отключение, огнестойкие перегородки и вентиляционные каналы для отвода газов в безопасную зону; разрабатывается план реагирования на термальное событие.

### **Заключение**

На базе элементов формата 18650. Можно сконструировать пакет  $\approx 40$  кВтч. Это обеспечивает реальный крейсерский полет порядка 50 минут в зависимости от крейсерской мощности (25–45 кВт), угла установки винта, погодных условий и дальность порядка  $\approx 26\text{--}47$  км. Таким образом, полная замена Rotax 912 на электродвигатель M90C60 с таким батарейным пакетом делает Aerograkt A-22 пригодным прежде всего для коротких полетов, и первоначального обучения. Основным преимуществом данной конструкции является удешевление летного часа в целях использования АОН. Дальнейшая работа нацелена на создание съёмного блока аккумуляторов, моторамы, проектирование общей компоновки и увеличения полетного времени путем применения аккумуляторных батарей с большей плотностью тока.

### **Литература:**

1. Боровских Ю. И. Электрооборудование автомобилей: справочник / Ю. И. Боровских. - М.: Транспорт, 1971.
2. Брусов В. С. Оптимальное проектирование летательных аппаратов. Многоцелевой подход / В. С. Брусов, С. К. Баранов. - М.: Машиностроение, 1989. - 229, [1] с.: ил., табл.
3. Гидрогазодинамика летательных аппаратов и их систем: межвузовский сборник / Куйбышев. авиац. ин-т им. С. П. Королева; [редкол.: Г. В. летательных аппаратов: учебно-методическое пособие / Е.

Г. Подружин, С. И. Снисаренко, В. М. Степанов ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2008. - 90.

4. Системы и элементы электрооборудования летательных аппаратов: межвузовский сборник / Казан. авиац. ин-т; [редкол.: Л. И. Столов (отв. ред.) и др.]. - Казань: КАИ, 1987. - 107 с.: схемы.

5. ГОСТ Р МЭК 86-1-96 Батареи первичные.

6. ГОСТ Р 58849-2020 Авиационная техника гражданского назначения.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АДДИТИВНОЙ ПЕЧАТИ АВИАЦИОННОГО СПЛАВА ВТ6

**К. В. Кобылкин**

**Институт теоретической и прикладной механики им.**

**С. А. Христиановича СО РАН,**

**Новосибирский государственный технический университет,**

**г. Новосибирск,**

**Научный руководитель: Голышев А. А., к.ф-м.н.**

*В рамках экспериментального исследования проведена оптимизация параметров селективного лазерного плавления (СЛП) титанового сплава ВТ6 по критерию отсутствия дефектов (пор, трещин, непроплавов). Изготовлены серии образцов без подогрева и при температурах подогрева платформы 150 °C и 300 °C. Проведено исследование структуры и поверхности образцов, при котором изучена макро- и микроструктура, а также измерены параметры шероховатости. Результаты позволили найти режимы СЛП, обеспечивающие получение плотного материала без критических дефектов.*

*Within the framework of the experimental study, the parameters of selective laser melting (SLM) of Ti-6Al-4V alloy were optimized based on the criterion of defect-free structure (pores, cracks, lack of fusion). Series of samples were fabricated without preheating and with platform preheating at 150 °C and 300 °C. The structure and surface of the samples were investigated, including analysis of macro- and microstructure as well as measurement of surface roughness parameters. The results made it possible to identify SLM regimes that ensure the production of dense material without critical defects.*

В настоящее время аддитивные технологии демонстрируют интенсивное развитие в высокотехнологичных секторах, включая авиационную, аэрокосмическую, биомедицинскую и энергетическую промышленность [1]. Среди методов аддитивного производства особое место занимает селективное лазерное плавление, позволяющее изготавливать высокоточные и плотные изделия из металлических

порошковых материалов. Данная технология является востребованной для производства геометрически сложных конструкций, к которым предъявляются жёсткие требования по точности формы, прочности и функциональным характеристикам [2].

В условиях современных промышленных требований главной задачей является обеспечение воспроизводимости механических характеристик изделий и минимизация структурных дефектов. Качество изделий определяется технологическими параметрами установки, включающих мощность лазерного излучения, скорость сканирования, шаг между треками и температуру подогрева платформы [3]. Оптимизация этих параметров позволяет повысить плотность образцов, устраниТЬ дефекты (поры, трещины и непроплавы) и улучшить качество поверхности без дополнительной обработки.

Метод селективного лазерного плавления предполагает послойное формирование изделия путём расплавления металлического порошка сфокусированным лазерным излучением. В ходе процесса на платформу построения равномерно наносится слой порошкового материала, после чего лазерный луч, руководствуясь данными CAD-модели, создаёт ванну расплава, обеспечивающую сплавление частиц. По завершении наплавления слоя платформа опускается на заданную величину, и операция повторяется с новым слоем порошка. Данная технология даёт возможность изготавливать детали сложной геометрической формы с оптимизированным внутренним заполнением, что способствует существенному снижению массы готовых конструкций.

Проанализировав научно-техническую литературу, был взят начальный режим СЛП, рассматриваемый в качестве центральной (начальной) точки. Исследование осуществлялось в области, прилегающей к данному режиму. Параметры мощности лазерного излучения и скорости сканирования изменялись в каждую сторону относительно выбранного значения, что позволило охватить расширенную рабочую зону и понять картину возникновения дефектов в зависимости от режимов. По мере выявления областей, характеризующихся появлением дефектов, диапазон параметров последовательно сужался. Таким образом была определена зона режимов, обеспечивающих качественное сплавление без выраженных внутренних дефектов.

Оценка качества изготовленных образцов выполнялась с использованием оптического конфокального лазерного микроскопа «Olympus». Исследовались макро- и микроструктура (рис.1), проводился визуальный контроль, а также измерялась шероховатость поверхности(рис.2).

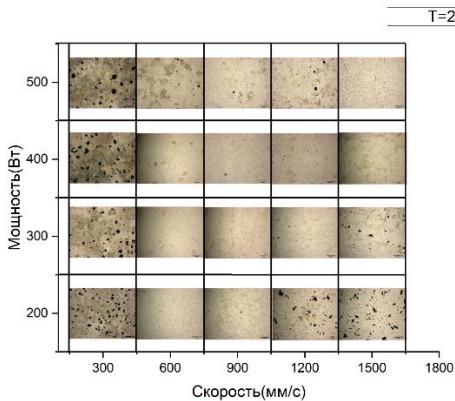


Рис.1 – фото зависимости структуры от скорости сканирования и мощности лазерного излучения

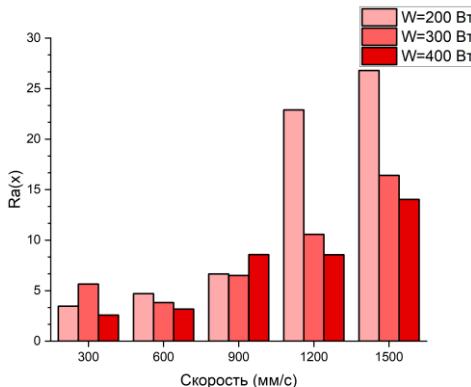


Рис.2 – графики зависимости скорости от шероховатости для различной мощности лазерного излучения

На основании полученных режимов без дефектов были изготовлены образцы в форме стандартных разрывных «гантелеек» согласно требованиям **ГОСТ 1497-84**. Проведены механические испытания на одноосное растяжение, в ходе которых определены предел прочности при растяжении ( $\sigma_b$ ), предел текучести ( $\sigma_0,2$ ) и относительное удлинение до разрушения ( $\delta$ ) (рис.3). Полученные данные позволили установить зависимость между выбранными параметрами СЛП-процесса и механическими свойствами напечатанных образцов.

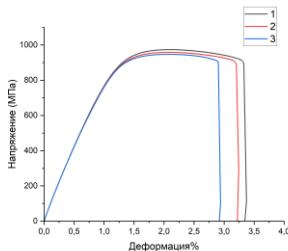


Рис.3 – график кривых напряжение-деформация для образцов без подогрева с горизонтальной ориентацией

### **Заключение**

В ходе исследования изучалось применение метода селективного лазерного плавления для изготовления образцов с бездефектной внутренней структурой и оценки их механических свойств. Для каждой серии образцов построена карта зависимости макроструктуры от мощности лазерного излучения и скорости сканирования. Проведена оценка шероховатости поверхности, из которой следует, что с увеличением скорости сканирования шероховатость возрастает, тогда как подогрев подложки способствует её снижению. Минимальное значение шероховатости Ra наблюдается при минимальной скорости 300 мм/с и максимальной мощности 400 Вт.

Дополнительно проведены испытания образцов на растяжение, которые показали, что предел прочности составляет 990 МПа, предел текучести — 840 МПа, а относительное удлинение достигает примерно 3,5 %. Эти результаты подтверждают высокую прочность и однородность внутренней структуры образцов, полученных методом селективного лазерного плавления.

Исследование демонстрирует актуальность применения данных материалов в авиационной, аэрокосмической, биомедицинской и энергетической отраслях.

### **Благодарности.**

Работа выполнена в рамках государственного задания ИТПМ СО РАН (№ гос. регистрации: 124021500015-1). Эксперименты выполнены на базе ЦКП «Механика».

### **Литература:**

1. Маликов А. Г., Голышев А. А., Витошкин И. Е. Современные тенденции лазерной сварки и аддитивных технологий (обзор).

Прикладная механика и техническая физика. 2023. Т. 64. № 1 (377). С. 36- 59.

2. Голышев А. А. Аддитивное производство in-situ армированных композитов с металлической матрицей (обзор) Композиты и наноструктуры. 2022. Т. 14. № 2 (54). С. 93-116.

3. Widomski C. et al. Study of the microstructure and mechanical properties obtained by Laser Boost in SLM process for the Ti-64 alloy // Materials Science Forum. – Trans Tech Publications Ltd, 2021. – Т. 1016. – С. 1611-1617.

## **УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ФРЕЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ НА АВИАЦИОННОМ ПРЕДПРИЯТИИ**

**А. Ю. Маслов**

**Новосибирский государственный технический университет**

**г. Новосибирск, maslov.2019@stud.nstu.ru**

**Научный руководитель: Рынгач Н. А. к.т.н., доцент**

*В работе рассматривается метод усовершенствования фрезерной обработки на авиационном предприятии. Рассматриваемый метод направлен на снижение трудоёмкости и повышение рентабельности технологии производства. Метод применяется на этапе предварительной (черновой) обработки на крупногабаритных деталях. В результате данной работы будут сделаны выводы о целесообразности применения данного метода на предприятии.*

*This paper examines a method for improving milling processing at an aviation enterprise. The proposed method aims to reduce labor intensity and increase the cost-effectiveness of the production technology. It is applied during the preliminary (rough) machining stage for large-sized components. The study concludes with an assessment of the feasibility of implementing this method within the enterprise.*

### **Введение**

Основными параметрами во фрезерной обработке металлов являются подача инструмента, скорость резания и глубина обработки, а также коэффициент загрузки инструмента относительно его диаметра. Расчёт данных параметров на прямую влияет на показатели, достигаемые при обработке материала.

Традиционные методы черновой обработки часто приводят к:

- Избыточному износу инструмента из-за неоптимальных режимов резания;

- Длительному времени обработки, что снижает общую производительность;
- Повышенной вибрации, влияющей на точность и ресурс оборудования.

Далее будет рассмотрен в общих чертах предлагаемый метод относительно традиционного метода обработки, применяемого на предприятии.

#### **Предлагаемый метод**

Применяемый технологический метод на этапе первичной (черновой) обработки предполагает снятие материала путём погружения на заданную глубину режущей части инструмента в соответствии с расчетами подач и загрузки инструмента. Подразумевается обработка лишь частью режущей поверхности инструмента с его максимальной загрузкой относительно диаметра. (см., рис. 1, случай 1)

Ключевые недостатки:

1. Концентрация нагрузок на концевой зоне
  - Основное усилие резания приложено к крайним 3–5 мм режущей кромки, что вызывает:
    - ускоренный абразивный износ;
    - выкрашивание пластин у вершин зубьев.
    - Виброударные явления при обработке жаропрочных сплавов (типа BT6, BT8).
2. Неравномерное тепловое воздействие
  - Локальный перегрев контактной зоны (до 800–900°C при обработке титановых сплавов);
  - Термоциклические напряжения, ведущие к микротрецинам.
3. Ограничения по точности
  - Прогиб инструмента из-за одностороннего нагружения;
  - Ухудшение шероховатости ( $R_a$  возрастает на 20–25% при длительных циклах).

Предлагаемый метод подразумевает увеличение вылета инструмента в соответствии с его типом и геометрией, расчёт подач с условием минимальной загрузки инструмента относительно диаметра и максимальной глубиной обработки с использованием 85 % - 95 % высоты режущей поверхности инструмента. (см., рис. 1, случай 2)

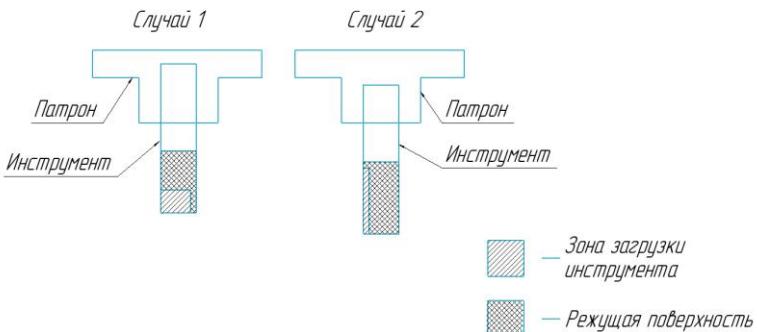


Рис. 1 Схема загрузки инструмента в двух случаях

Предлагаемый подход предусматривает:

- Оптимизацию геометрии обработки
- Увеличение рабочего вылета инструмента на 15-20%
- Использование 85-95% высоты режущей поверхности
- Снижение радиальной нагрузки до 10-15% диаметра

Применение данной методики уменьшит износ инструмента благодаря более равномерному нагреву инструмента и уменьшению нагрузки возникающих на режущей кромке инструмента. Так же данный метод позволит сократить время обработки порядка 20 % - 30 % в соотношении с предыдущим методом благодаря большей площади снятия материала и оптимизации режимов резания.

### **Вывод**

В работе был проведен анализ технологического метода по фрезерной обработке на основе которого был предложен метод для снижения трудоёмкости и повышения рентабельности производства. Предлагаемый метод должен выполнить поставленные задачи снижением износа инструмента и уменьшением времени на этапе первичной (черновой) обработки.

### **Литература:**

1. Авиационное материаловедение и технология обработки металлов. / Абраимов Н.В., Елисеев Ю.С., Крымов В.В. [и др.]. 1988 г.
2. ГОСТ 25761-83. «Виды обработки резанием. Термины и определения общих понятий».
3. Клепиков В. В., Борисов В. В. Современные методы фрезерной обработки в авиастроении. – СПб.: Политехника, 2018. – 320 с.

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗДВИЖНОГО КРЫЛА И ФИКСИРОВАННОГО КРЫЛА ДЛЯ ПСЕВДОСПУТНИКОВ

Р. И. Семухин<sup>1,2</sup>, А. А Мешков<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Новосибирский государственный технический университет,

<sup>2</sup>Институт теоретической и прикладной механики

им. С.А. Христиановича СО РАН

г. Новосибирск, semtrom9@yandex.ru

Научный руководитель: Зверков И. Д.<sup>1,2</sup>, д. т. н., профессор

*Работа посвящена сравнительному анализу двух различных подходов к созданию несущего крыла для высотных летательных аппаратов: классического крыла большого удлинения и раздвижного крыла*

*The paper is devoted to a comparative analysis of two different approaches to the creation of a lifting wing for high-altitude aircraft: a classic high-aspect-ratio wing and a sliding wing.*

Разработка крыльев для стратосферных самолётов [1] традиционно связана с необходимостью обеспечения высокой аэродинамической и энергетической эффективности при минимальной массе конструкции. Существуют два концептуально различных подхода. В работе [2] А. А. Самойловским предложено крыло большого удлинения без механизации, элементов управления и с фиксированной геометрией для самолёта с питанием от солнечных батарей, который предназначен для устойчивого круглосуточного и круглогодичного полёта на высоте 18-20 км. В работе [3], предложено раздвижное крыло с изменяемым размахом, предназначенное для оптимизации нагрузок и аэродинамического качества в разных режимах полёта.

Крыло самолёта конструкции А. А. Самойловского [2] представляет собой фиксированную конструкцию большого удлинения и большой площади, рассчитанную на обеспечение максимальных значений коэффициента мощности  $C_y^{3/2}/C_x$  в полёте на больших высотах. В основе конструкции крыла коробчатый углепластиковый лонжерон (Рисунок 1), воспринимающий значительные изгибающие и крутящие моменты.

Раздвижное крыло [3] представляет собой систему с двумя телескопическими алюминиевыми лонжеронами (Рисунок 1), позволяющими изменять размах в три раза в полёте. Данное крыло состоит из трёх секций с каждой стороны с полотняной обшивкой, находящихся в центральной секции и раздвигающихся за счёт телескопических лонжеронов. Такая конструкция позволяет уменьшать размах при полёте на малых высотах, где атмосферная турбулентность

создаёт наибольшие перегрузки, снижая изгибающий момент в корневой части, а крейсерский полёт на высоте 18-20 км выполнять с максимальным размахом и наибольшим аэродинамическим качеством.

Большое удлинение и площадь крыла [2] при малой массе позволяют существенно снизить энергозатраты на полёт, однако именно это приводит к большим прогибам крыла за счёт собственного веса и полётных нагрузок, которые наиболее опасны на взлёте и посадке, риску развития флаттера и значительным напряжениям в лонжероне на этапах полёта в неспокойном воздухе на малой высоте, из-за чего требуется дополнительные мероприятия по увеличению прочности и жёсткости крыла. Это может привести к увеличению массы конструкции, невозможности обеспечить заданные характеристики и выполнить техническое задание.

В раздвижном крыле при уменьшении размаха изгибающий момент в лонжероне снижается квадратично, а прогиб крыла – пропорционально размаху в третьей степени, что позволяет больших прогибов крыла как в полёте, так и на земле. Однако такая конструкция сложнее, предполагает добавку к массе крыла за счёт приводов, замков и подвижных частей. Применение солнечных батарей на выдвижных секциях затруднительно. Энергопотребление такого самолёта будет больше, чем у самолёта конструкции Самойловского, а значит необходимо применение водородной либо комбинированной силовой установки.

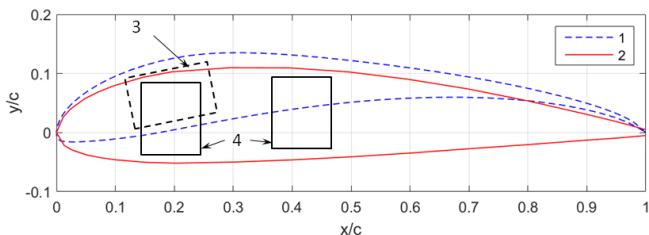


Рис. 1 – Сравнение профилей крыла стратосферного самолёта прототипа и с раздвижным крылом.

1 – профиль крыла прототипа Selig1223 [2]; 2 – профиль раздвижного крыла CLARK M. Предполагаемые профили лонжеронов: 3 – для крыла прототипа; 4 – для разрабатываемого раздвижного крыла

По сравнению с классическим крылом для стратосферного самолёта с неизменяемой геометрией, раздвижное крыло позволяет применить профиль крыла, геометрия которого позволяет разместить два лонжерона с большей, чем на классическом крыле высотой лонжерона. Это должно позволить увеличить как жёсткость крыла на изгиб, так и стойкость

самолёта к атмосферной турбулентности при прохождении нижних слоёв атмосферы. Возможность уменьшения общего веса крыла раздвижной конструкции должен показать детальный прочностной расчёт конструкции.

Работа поддержана грантом РНФ 24-29-00329.

Литература:

1. Цуканов И. Р., Азман А. В. /Решаемые проблемы, преимущества и перспективы развития стратосферных беспилотных летательных аппаратов// Известия ТулГУ. Технические науки. 2023. Вып. 2, С. 335- 339.
2. Самойловский А. А., Лисейцев Н. К. Методика определения основных проектных параметров беспилотных летательных аппаратов, использующих для полёта энергию солнечного излучения // Вестник Московского авиационного института, выпуск №3, 2015.
3. Зверков И. Д. Новые подходы к определению облика стратосферного воздушного судна самолётного типа / И. Д. Зверков, А. В. Крюков, Р. И. Семухин. – [Электронный ресурс] // Наука и кадры для авиастроения = Science and staff for aircraft engineering : тр. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 65-летию ФЛА и 75-летию Новосиб. гос. техн. ун-та, Новосибирск, 17–21 дек. 2024 г. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2024. – С. 7–15. - 150 экз. - ISBN 978-5-7782-5293-6. - Работа выполнена: Работа поддержана грантом РНФ 24-29-00329.

## Секция ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ МАШИН

# ВЫБОР И РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОЙ СИЛОВОЙ СХЕМЫ КРЫЛА ИЗ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ЛЕГКОГО СКОРОСТНОГО САМОЛЁТА

**И. Е. Анников**

**Новосибирский государственный технический университет,**

**г. Новосибирск, kozhevnikov.2010@corp.nstu.ru**

**Научный руководитель: Кожевников А. Н., к.т.н.**

*В работе представлена методика прочностного расчета и проектирования силовой конструкции трапециевидного двухлонжеронного крыла самолета. Рассмотрены этапы сбора исходных данных, определения аэродинамических и массовых нагрузок, построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов. Приведен алгоритм пересчета нагрузок из скоростной системы координат в связанную. На основе расчетных нагрузок выполнено определение толщины обшивки и потребной площади сечения пояса лонжерона. Описана конструктивная схема рассчитываемого крыла, включая наличие центроплана.*

*The paper presents a methodology for the strength calculation and design of the load-bearing structure of a trapezoidal two-spar aircraft wing. The stages of collecting initial data, determining aerodynamic and mass loads, and constructing diagrams of transverse forces and bending moments are considered. An algorithm for recalculating loads from the velocity coordinate system to the associated one is given. Based on the design loads, the skin thickness and the required cross-sectional area of the spar chord are determined. The structural layout of the calculated wing, including the presence of a center section, is described.*

### **Введение**

Проектирование силовой конструкции крыла является одной из ключевых задач в авиастроении, определяющей его массу, прочность и надежность. Целью данной работы является расчет и проектирование крыла на основе заданных параметров самолета-прототипа. Задачи включают сбор исходных данных, расчет внешних и внутренних силовых факторов, а также проектировочный расчет основных элементов конструкции.

### **Конструкция крыла**

Рассчитываемая силовая конструкция представляет собой двухлонжеронное, трапециевидное, прямое крыло. Данная схема является классической и широко распространена в авиации. Основными силовыми элементами конструкции являются два лонжерона, расположенные на определенных процентах от местной хорды

(например, в зоне 20% и 60-70%), которые воспринимают изгиб и перерезывающую силу. Поперечный набор состоит из нервюр, обеспечивающих сохранение аэродинамического профиля и передачу местных нагрузок на лонжероны. Продольный набор включает стрингеры, которые совместно с работающей обшивкой воспринимают осевые нагрузки от изгибающего момента.

На первом этапе на основе параметров самолета-прототипа определяются основные геометрические и весовые характеристики крыла: вес самолета  $G$ , расчетная перегрузка  $n_p$ , размах крыла  $L$ , площадь крыла  $S$ , удлинение  $\lambda$  и сужение  $\eta$ . Вычисляются веса агрегатов крыла  $G_{kp}$  и топлива  $G_t$ .

Аэродинамическая нагрузка распределяется по размаху в соответствии с изменением относительной циркуляции  $\bar{\Gamma}_x$  (Рис. 1), что позволяет определить погонную аэродинамическую силу  $q_{yaer}$ . Массовые нагрузки от конструкции крыла и топлива распределяются пропорционально местным хордам  $b_z$  и рассчитываются как  $q_{ukp}$  и  $q_{topl}$  соответственно.

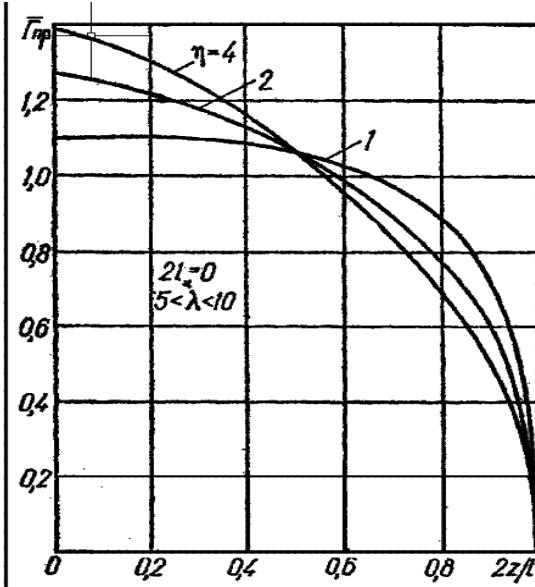


Рис.1 – распределение относительной циркуляции по размаху крыла

Суммарная погонная нагрузка определяется как разность:

$$q_{y,i} = q_{yaer,i} - q_{ukp,i} - q_{topl,i}$$

### **Построение эпюор.**

Интегрированием суммарной погонной нагрузки получаются эпюры поперечной силы  $Q_y$  и изгибающего момента  $M_x$  в скоростной системе координат.

Интегрированием суммарной погонной нагрузки получаются эпюры поперечной силы  $Q_y$  и изгибающего момента  $M_x$  в скоростной системе координат.

**Переход в связанную систему координат.** Для прочностных расчетов необходимо перейти от скоростной системы координат к связанной, жестко связанной с крылом. Пересчет выполняется через углы атаки ( $\alpha$ ) и скольжения ( $\beta$ ). В случае угла атаки  $\alpha = 16^\circ$  и нулевого скольжения  $\beta = 0^\circ$  формулы пересчета для нормальной силы и изгибающего момента принимают вид:

$$Q_{ncb} = (-\sin(\alpha) \cos(\beta))Q_{xck} + \cos(\alpha)Q_{yck} + \\ + (\sin(\alpha) \sin(\beta))Q_{zck} = \cos(\alpha)Q_{yck}$$

$$M_{ncb} = (\cos(\alpha) \cos(\beta))M_{xck} + \sin(\alpha)M_{yck} + \\ + (-\cos(\beta) \sin(\alpha))M_{zck} = \cos(\alpha)M_{xck}$$

### **Расчет крутящего момента.**

Крутящий момент определяется относительно оси жесткости (принята на 40% САХ) от аэродинамических и массовых сил, приложенных в своих центрах (давления – 25% САХ, тяжести – 50% САХ). Суммарный приведенный крутящий момент  $\sum M_{z\text{прив},i}$  находится как алгебраическая сумма моментов от этих сил.

Проектировочный расчет. На основе расчетных значений изгибающего момента  $M_z$  и крутящего момента  $M_{zi}$  выполняется определение толщины обшивки  $\delta_{ob}$  из условия восприятия кручения:

$$\delta_{ob} = \frac{M_{zi}}{\tau_{разр} P_k \sum \frac{\Omega_k}{P_k}}$$

Где  $\tau_{разр}$  – разрушающее касательное напряжение.

Потребная площадь сечения растянутого пояса наиболее нагруженного лонжерона рассчитывается по формуле:

$$F_{op} = \frac{kN}{X\sigma_B \sum \left( \frac{H_j}{H_0} \right)^2}$$

## **Заключение**

В работе представлена последовательная методика расчета силовой конструкции двухлонжеронного крыла. На основе параметров прототипа определены действующие нагрузки, построены эпюры внутренних силовых факторов и выполнен проектировочный расчет основных элементов – обшивки и пояса лонжерона. Полученные результаты являются основой для дальнейшего детального прочностного анализа и оптимизации конструкции. Описанная конструктивная схема крыла подтверждает свою эффективность для данного класса летательных аппаратов.

## **Литература:**

1. Лавров Б. А. Нагрузки, действующие на самолет: учебное пособие. – 2-е изд. – Куйбышев, 1979.
2. Тарасов Ю. Л., Лавров Б. А. Расчет на прочность элементов конструкции самолета. – Самара, 2000.
3. Микеладзе В. Г., Титов В. М. Основные геометрические и аэродинамические характеристики самолета и крылатых ракет. – М.: Машиностроение, 1974.

## **СТЕСНЁННОЕ КРУЧЕНИЕ СТЕРЖНЯ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ ПРИ ПОЛЗУЧЕСТИ**

**Н. О. Воронин<sup>1</sup>, И. А. Банщикова<sup>1,2</sup>**

**<sup>1</sup>Новосибирский государственный технический университет,**

**<sup>2</sup>Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН,**

**г. Новосибирск, vvv00742@gmail.com**

**Научный руководитель: Банщикова И. А, д.ф.-м.н.**

*Выполнен расчёт напряжённо-деформированного состояния скручиваемого стержня прямоугольного сечения из материала Сталь 45 под действием постоянного момента в условиях изотропной ползучести. Исследована сходимость решения в зависимости от плотности разбиения сетки в конечно-элементном пакете Ansys. Показано, что стеснение торцов стержня существенно снижает угол закручивания по сравнению со стержнем, у которого точки торцов могут свободно смещаться в направлении оси стержня.*

*A stress-strain analysis of a twisted rectangular rod made of Steel45 subjected to a constant moment under isotropic creep conditions was performed. The convergence of the solution was studied depending on the mesh density in the Ansys finite element package. It was shown that constraining the rod ends significantly reduces the twist angle compared to a rod whose end points are free to move in the direction of the rod axis.*

Многие элементы конструкций, например, полуоси автомобилей, валы двигателей, лонжероны крыльев или фюзеляжа летательного аппарата в процессе работы подвергаются кручению. В процессе действия на конструкции постоянных или переменных нагрузок во времени, в них могут протекать процессы ползучести. Процесс кручения изотропного стержня прямоугольного сечения, осложняется возникновением депланации поперечного сечения [1]. У стержня круглого она не возникает. Рассмотрим стержни прямоугольного сечения при стеснении и без стеснения его торцов при скручивании в условиях ползучести. Аналогичные задачи исследованы в [2].

Конечно-элементная сетка строится с использованием твердотельного элемента с восемью узлами Solid45, который рекомендуется в случае деформаций пластичности и ползучести. Поперечное сечение испытанного образца имеет размеры  $a = 0,010016$  м,  $b = 0,19997$  м, длина  $L = 0,070338$  м, время ползучести  $t = 7200$  с. На торце также формируются конечные элементы Shell181 с толщиной  $h = 0,002$  м для прикладывания крутящего момента  $M = 21$  Нм. Константы ползучести Сталь 45 ( $T = 725^\circ\text{C}$ ) для закона Нортона:  $n=5,22$ ;  $B_0 = 3,5 \cdot 10^{-14} (\text{МПа}^{-n} \text{с}^{-1})$ .

Исследовано влияние плотности конечно-элементного разбиения стержня со стеснёнными торцами на угол закручивания. Количество элементов вдоль оси стержня было задано 10. Для расчёта угла закручивания был выбран узел с координатами  $(a/2 ; 0 ; L/2)$  в середине образца. Угол закручивания вычислялся по перемещению  $UY$  в плоскости поперечного сечения в этом узле по формуле  $\theta = 2UY/a$ . График зависимости угла закручивания от числа конечных элементов представлен на рисунке 1.

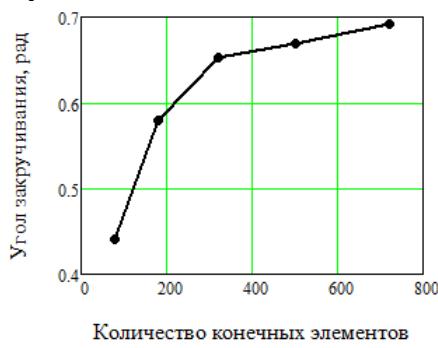
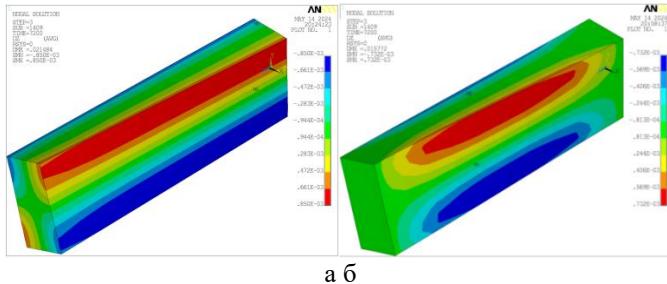


Рис. 1 – зависимость угла закручивания от количества конечных элементов

Из рисунка 1 следует, что в момент времени, когда количество конечных элементов Solid45 превышает 300, график начинает выходить на траекторию с малым углом наклона, что свидетельствует о сходимости решения.

На рисунке 2 изображено перемещение в направлении оси стержня (депланация) при  $t = 7200$  с для стеснённого (а) и нестеснённого (б) образцов.

Полный угол закручивания вычисляем по узлу  $B(a/2 ; 0 ; L)$ . Формула, по которой будем вычислять полный угол закручивания для стержня в условиях стеснения, имеет следующий вид  $\theta = 2UY_B/a$ . На рисунке 3 приведены зависимости полного угла закручивания от времени.



а б

Рис. 2 – распределение перемещения в направлении оси стержня при  $t = 7200$  с для стеснённого (а) и нестеснённого (б) образцов

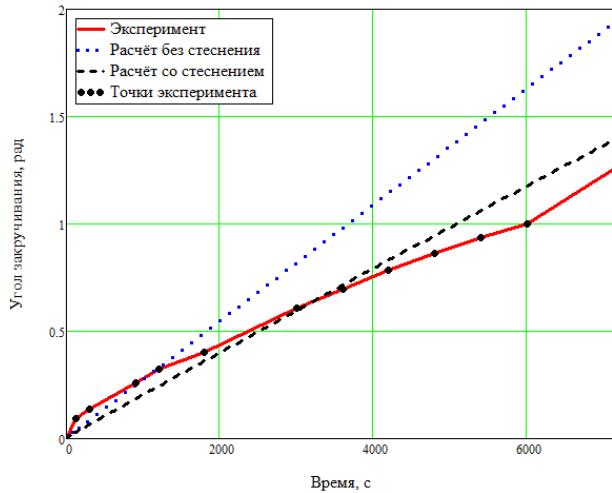


Рис. 3 – зависимость полного угла закручивания от времени для стержня прямоугольного сечения

## **Заключение**

Анализируя полученные решения, можно сделать следующий вывод: результаты расчёта для образца в условиях стеснения и без него имеют существенные различия; расчёт с учётом стеснения удовлетворительно совпадает с экспериментом, а не учёт стеснения способствует значительному завышению угла закручивания.

## **Литература:**

1. Банщикова И. А., Горев Б. В., Сухоруков И. В. Двумерные задачи формообразования стержней в условиях ползучести // Прикладная механика и техническая физика. – 2002. – Т. 43, №3. – С. 129-139.
2. Банщикова И. А, Стеснённое кручение стержней при ползучести / И.А. Банщикова, И.В. Сухоруков, Юань Бяо // Вычислительные технологии. – 2004. – Т.9. – С. 248-253 / Вестник КазНУ, серия математика, механика, информатика. – 2004. – № 3(42). – С. 248-253.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ НА СПЕКТР ЧАСТОТ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ЗАЩЕМЛЕННЫХ ОДНОРОДНЫХ ПЛАСТИН**

**С. Р. Газизов**

**Новосибирский государственный технический университет,**

**г. Новосибирск, kozhevnikov.2010@corp.nstu.ru**

**Научный руководитель: Кожевников А. Н., к.т.н.**

*В работе представлены результаты модельного исследования влияния центрального отверстия на спектр частот собственных колебаний закрепленной по контуру однородной пластины. Показано, что расположение повреждения в зоне максимальной амплитуды формы колебаний приводит к изменению соответствующей частоты при отсутствии влияния на остальные формы колебаний.*

*This paper presents the results of a model study examining the influence of a central hole on the eigenvalues of a uniform plate clamped to its contour. It is shown that locating a fault in the zone of maximum amplitude of the vibration mode provides a change in the corresponding frequency, with no effect on other eigenvectors.*

Влияние локальных дефектов на спектр частот собственных колебаний защемленных пластин является актуальной современной проблемой в области механики конструкций и неразрушающего контроля. Неоднородности в пластинах, такие как отверстия, трещины, изменения толщины или материала, существенно влияют на их динамические характеристики, что может привести к снижению несущей

способности и даже разрушению. Изучение колебаний пластин позволяет разрабатывать методы диагностики и прогнозирования состояния конструкций [1].

Актуальность темы обусловлена широким применением пластинчатых конструкций в машиностроении, строительстве, авиационной и других отраслях [2]. В процессе эксплуатации такие силовые элементы подвергаются статическим и динамическим нагрузкам, что может приводить к образованию дефектов. Своевременное выявление и оценка серьезности этих повреждений критически важны для предотвращения аварий и оптимизации технического обслуживания. Таким образом, разработка надежных и эффективных методов неразрушающего контроля является ключевой задачей для обеспечения долговечности и безопасной эксплуатации машиностроительной конструкции.

Повреждение корпуса или защитной обшивки приводит к тому, что защищаемое оборудование оказывается уязвимым к воздействию окружающей среды: перепады температур, радиационное воздействие, запыление. Все это приводит к повреждению оборудования, снижению его эксплуатационных характеристик или даже выходу из строя.

В данной работе представлены результаты расчета спектра частот собственных колебаний пластин в зависимости от размера и расположения отверстия в пластине [3]. Полученные зависимости позволяют разработать методы мониторинга состояния конструкций и прогнозирования развития подобных повреждений. Основное внимание уделено дефекту в виде сквозного отверстия, расположенного в центре пластины.

Численное исследование проведено для квадратной алюминиевой пластины толщиной 1.2 мм с габаритными размерами  $200 \times 200$  мм, закрепленной по контуру. В качестве модели дефекта рассматривалось отверстие диаметром от 30 до 60 мм, расположенное в центре пластины. Месторасположение дефекта совпадает с областью пучности нескольких низших форм собственных колебаний [4].

Модальный анализ пластины выполнен с применением метода конечных элементов в программном комплексе «ANSYS» [5]. Расчет спектра частот и форм собственных колебаний выполнен с использованием модуля MODAL ANALYSIS пакета «ANSYS». Геометрическая модель конструкции разработана в системе автоматизированного проектирования «КОМПАС-3Д» с последующим импортом в расчетный комплекс.

Для построения конечно-элементной сетки использован восьмиузловой оболочечный элемент SHELL 281, широко применяемый для

моделирования тонкостенных конструкций. Для обеспечения сходимости результатов максимальный размер конечного элемента принят равным 5 мм, а в зоне концентрации напряжений вокруг отверстия сетка сгущена до размера элемента 1 мм.

На рисунке 1 приведены зависимости изменения первой и третьей частот собственных колебаний относительно их значения в случае рассмотрения пластины без дефекта. Введение дефекта в виде центрального отверстия диаметром от 30-60 мм привело к существенному изменению спектра собственных частот пластины. Частота первой формы колебаний ( $f_1$ ) увеличилась, что свидетельствует либо о повышении жёсткости либо о снижении массы пластины, что приводит к увеличению значений частот. Основная причина уменьшения частоты третьей формы колебаний ( $f_3$ ) заключается в том, что соотношение жесткость/масса уменьшается и частота снижается.

В других формах собственных колебаний этот дефект находится вблизи узла формы, поэтому его влияние практически не проявляется.

**Собственные частоты первой и третьей формы колебаний**

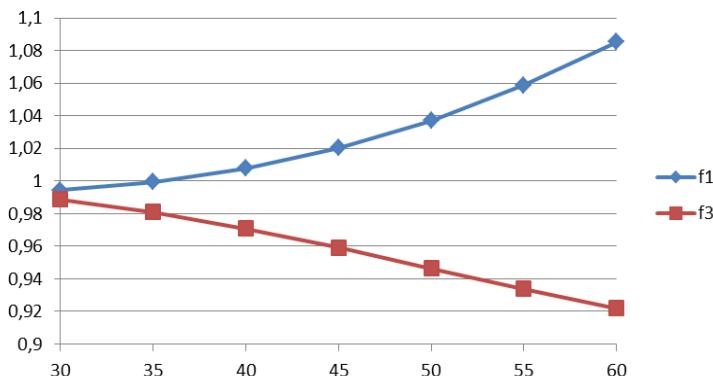


Рис.1 – собственные частоты первой и третьей форм колебаний

#### Заключение

Перспективным направлением для дальнейших исследований является выполнение экспериментальных исследований: определение частот и форм собственных колебаний пластины с четырьмя закреплениями и внесение в нее дефекта в виде центрального отверстия с целью подтверждения полученных расчетным способом результатов.

**Литература:**

1. Вибродиагностика и мониторинг технического состояния машин и оборудования: учебное пособие / А.С. Клюев, Р.А. Макаров, В.В. Никифоров. – М.: Инфра-Инженерия, 2018. – 276 с.
2. Ендогур А. И. «Проектирование авиационных конструкций. Проектирование конструкций деталей и узлов»: учебное пособие. — М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2009.
3. Биргер И. А. Расчет на прочность, устойчивость и колебания пластин и оболочек / И.А. Биргер, Я.Г. Пановко. – М.: Машиностроение, 1979. – 280 с.
4. Влияние концентраторов напряжений на собственные частоты колебаний пластин / Д.В. Кондрашов, И.И. Павлов // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Физико-математические науки. – 2019. – Т. 23, № 2. – С. 378–392.
5. Бакаев В. Н., Гаврилов Г. Н., Ефремов А. В. Численное моделирование в механике деформируемого твердого тела на основе программного комплекса ANSYS. — М.: ДМК Пресс, 2021. — 256 с.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
СОУДАРЕНИЯ ИНДЕНТОРА С АЛЮМИНИЕВОЙ ПРЕГРАДОЙ**

**Г. Ю. Ерохин, Я. С. Крюкова**

**Новосибирский государственный технический университет,**

**г. Новосибирск, georgi-erokhin@yandex.ru**

**Научный руководитель: Крюкова Я. С., к.т.н., доцент**

*Задачи исследования соударения индентора с преградой актуальны для разработки средств защиты. Численное моделирование в ANSYS LS-DYNA дополняет эксперименты, позволяя с меньшими затратами изучать влияние свойств материалов и толщины. Цель работы – построить конечно-элементную модель ударного воздействия и провести баллистические испытания пластин для изучения поведения металлов при среднескоростном контакте.*

*Research on indenter impact on barriers is relevant for developing protective equipment. Numerical simulation in ANSYS LS-DYNA complements experiments, allowing for a cost-effective analysis of factors like material properties and thickness. This work aims to build a finite element model of the impact and conduct ballistic tests on plates to study metal behavior under medium-velocity contact.*

Объектом исследования является процесс разрушения индентора (ударного элемента) и преграды из алюминиевого сплава АК4 толщиной 2,9 мм. При проведении баллистических испытаний пластин жёсткое

крепление пластины обеспечивалось установкой для фиксации пластины, которая представляет собой баллистический стенд с жёстким креплением мишени и системой противовеса (рис. 1 а). Скорость индентора до и после пробития преграды была измерена рамочным хронографом (рис. 1 б).

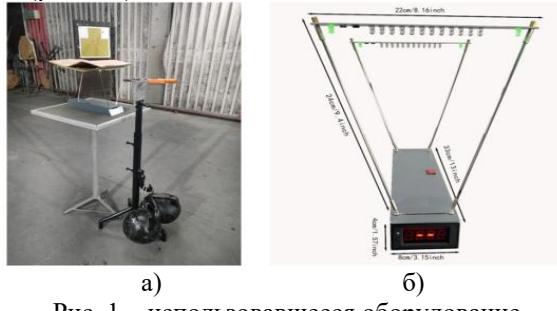


Рис. 1 – использовавшееся оборудование

- а) – установка для фиксации пластин с сосредоточенной массой.
- б) – хронограф рамочный

Стрельба велась из пистолета Ярыгина патронами 9×19 мм Parabellum с оболочечной пулей массой 7,45 г. Начальная скорость пули — 320 м/с. Дистанция стрельбы составляла 3м. Было проведено 7 выстрелов по 7 образцам (рис. 2).

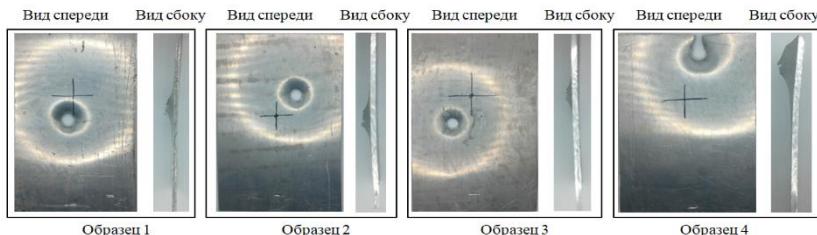


Рис. 2 – примеры образцов после пробития

Численное моделирование ударного воздействия выполнялось с использованием упрощённой модели Джонсона-Кука [3]. В зоне контакта индентора и пластины выполнено локальное уплотнение сетки для оптимизации времени расчёта, индентор моделировался деформируемым. Материал индентора был рассчитан как усреднённый материал, учитывающий как пластичность свинцового сердечника, так и прочность латунной оболочки в процентном соотношении, соответствующем объёму каждого из материалов. При моделировании баллистического воздействия упрощённая модель Джонсона-Кука была

дополнена критерием разрушения, учитывающим накопление пластической деформации. Это позволило воспроизвести процесс пробития пластин из сплава АК4 и получить картину разрушения, близкую к экспериментально наблюдаемой (рис. 3 и 4).

В таблице 1, представлено сравнение результатов, полученных экспериментальным путём и путём численного моделирования, разница составила менее 1 процента.

**Таблица 1 – Сравнение результатов**

Материал	Эксперимент	Модель	Процент расхождения
АК4	232	230	0.86%

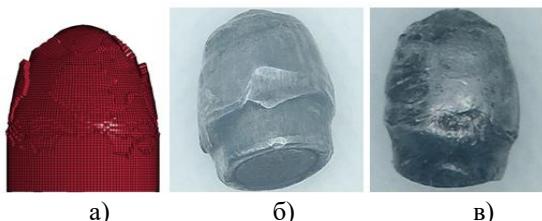


Рис. 3 – сравнение формы индентора после пробития:  
а) – конечно-элементный индентор, б), в) – реальный индентор

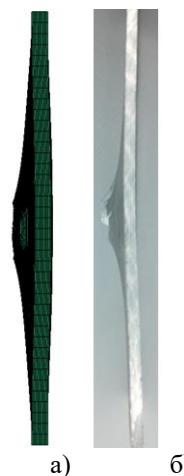


Рис. 4 – сравнение характера повреждения:  
а) – конечно-элементная пластина, б) – реальная пластина

## **Заключение**

В рамках проведённого исследования была успешно разработана и верифицирована численная модель баллистического воздействия индентора на преграду из упругопластического материала.

## **Литература:**

1. Павлюченко А. Н., Воротилин М. С., Потоцкий С. В., Громов А. А., Ишков А. С. Экспериментальные и численные исследования по оценке пробития баллистических защитных пластин / Павлюченко А. Н., Воротилин М. С., Потоцкий С. В., Громов А. А., Ишков А. С. [Текст] // Известия ТулГУ. — Тула: Технические науки, 2024. — С. 159-163.
2. LS-DYNA® Keyword user's manual volume II Material Models August 2012 Version 971 R6.1.0 Livermore Software Technology Corporation (LSTC).
3. Johnson, G.R. and Cook, W.H. (1983) A Constitutive Model and Data for Metals Subjected to Large Strains, High Strain Rates, and High.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ И ЖЕСТКОСТИ СЕТЧАТОЙ И ТОНКОСТЕННОЙ КОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ОСЕВОМ СЖАТИИ**

**Д. Д. Козырев, Т. В. Бурнышева, Л. М. Ковальчук**  
**Новосибирский государственный технический университет,**  
**г. Новосибирск, kozyrev.daniil.20xx@mail.ru**  
**Научный руководитель: Бурнышева Т. В., д.т.н., доцент**

*Проведено исследование устойчивости и жесткости сетчатой и тонкостенной цилиндрических оболочек из композитного материала при осевом сжатии. Исследование устойчивости от критической нагрузки показало, что сетчатая оболочка способна воспринимать нагрузку в 5 раз больше в сравнении с тонкостенной оболочкой. Жесткость тонкостенной оболочки меньше жесткости сетчатой оболочки на два порядка. Для вычислительного эксперимента взята сетчатая оболочка, у которой варьировались угол наклона спиральных ребер и их количество. В результате вычислительного эксперимента установлено, что наибольшие значения жесткости и устойчивости достигается при числе пар спиральных ребер равном 80 и угле наклона спирального ребра к образующей 17°- 21°.*

*A study on the stability and stiffness of composite lattice and thin-walled cylindrical shells under axial compression was conducted. The stability analysis based on the critical load showed that the lattice shell can withstand a load five times greater than that of the thin-walled shell. The stiffness of the thin-walled shell is two orders of*

*magnitude lower than that of the lattice shell. For the computational experiment, a lattice shell was used with a fixed cross-section of the helical and circumferential ribs, while the angle of the helical ribs and their number were varied. The computational experiment established that the highest values of stiffness and stability are achieved with 80 pairs of helical ribs and a helical rib angle of 17° to 21° relative to the generatrix.*

В исследовании рассматривается задача устойчивости и расчет жесткости сетчатой и тонкостенной оболочечных конструкций. За исходную была принята конструкция с параметрами  $R=0.229H$ , где  $R$  – радиус оболочки,  $H$  – высота оболочки по образующей. В качестве материала выбран углепластик, механические которого представлены таблице 1.

**Таблица 1 – Упруго-механические свойства материала**

Модуль Юнга, Па	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент Пуассона
1,9E11	1781	0,3

Построение дискретных моделей проводилось в программном комплексе Ansys Mechanical APDL. Принимались следующие допущения: упругие характеристики материала задаются осредненными, материал считаем как анизотропный. Нагрузка прикладывается через мнимый узел на высоте верхнего шпангоута, в качестве закрепления выступают сферические шарниры на нижнем шпангоуте [1]. На рисунке 1 представлены формы потери устойчивости конструкций и соответствующие им значения критической силы.

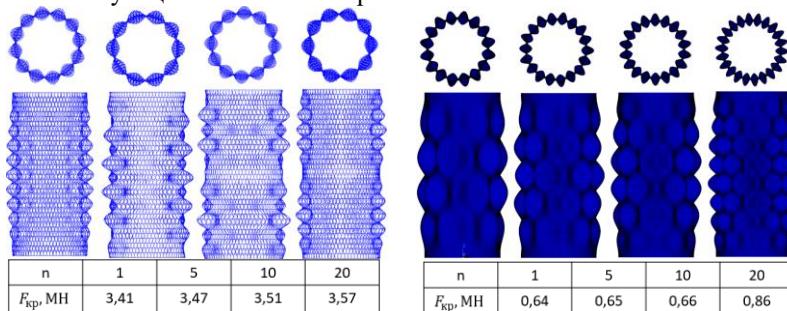


Рис. 1 – формы потери устойчивости сетчатой оболочки (а)  
и тонкостенной оболочки (б)  
(n-номер формы потери устойчивости)

Для сетчатой оболочки значения критической нагрузки для различных форм находятся в диапазоне от 3,41 до 3,57 МН. Для сплошной оболочки значения критической нагрузки существенно ниже и составляют от 0,64 до 0,86 МН. Формы потери устойчивости характеризуются образованием симметричных вмятин, регулярно распределенных по высоте [2]. При равенстве масс конструкций сетчатая оболочка воспринимать нагрузку в 5 раз больше в сравнении с тонкостенной оболочкой, у которой ввиду особенности материала и отсутствия подкрепляющей структуры происходит выпучивание структуры. Проведен вычислительный эксперимент, цель которого определить влияние параметров исходной модели сетчатой оболочки на напряженное состояние конструкции. Варьировались ключевые параметры: угол наклона спиральных ребер ( $\alpha$ ) и числа пар спиральных ребер ( $N$ ) [3]. Всего в расчете участвовало 60 моделей. Количество пар спиральных ребер варьировалось от 50 до 80, угол наклона спирального ребра к образующей варьировался от 7 до 29 градусов.

Поверхности а) и б) на рисунке 2 отображают результаты вычислительного эксперимента.



Рис. 2 – поверхности результатов вычислительного эксперимента:

- а) поверхность зависимости значений критической силы от угла наклона спирального ребра к образующей ( $\alpha$ ) и числа пар спиральных ребер ( $N$ );
- б) поверхность зависимости значений жесткости от угла наклона спирального ребра к образующей ( $\alpha$ ) и числа пар спиральных ребер ( $N$ );

Проведенный вычислительный эксперимент позволил определить, нелинейный характер зависимости критической силы и жесткости от угла наклона спирального ребра к образующей ( $\alpha$ ) и числа пар спиральных ребер ( $N$ ). Увеличения числа пар спиральных ребер приводит к росту геометрической плотности структуры и повышает жесткость конструкции. Так же более частая сетчатая структура эффективнее противодействует потере устойчивости, что и приводит к росту значений критической силы.

В таблице 2 сведены полученные значения критической нагрузки для каждой конструкции. В таблице 3 сведены полученные значения жесткостей конструкций.

**Таблица 2 – Значения критической нагрузки в сетчатой оболочке при осевом сжатии**

$N \alpha^o$	F <sub>Kр</sub> , МН				
	50	60	70	72	80
7	0,36	0,59	0,86	0,88	1,20
9	0,48	0,89	1,25	1,28	1,63
11	0,74	1,07	1,45	1,69	2,11
13	0,88	1,43	1,87	2,16	2,64
15	1,03	1,62	2,34	2,40	3,16
17	1,37	2,02	2,80	2,90	3,71
19	1,53	2,24	3,33	3,41	4,28
21	1,70	2,68	3,84	3,93	4,88
23	2,05	3,14	4,36	4,47	5,75
25	2,23	3,37	4,89	5,00	6,33
27	2,60	3,81	5,40	5,54	6,90
29	2,79	4,26	5,91	6,31	7,71

**Таблица 3 – Значения жесткостей конструкций**

$N \alpha^o$	k, МН/м				
	50	60	70	72	80
7	2,74	3,33	3,89	4,00	4,44
9	2,71	3,25	3,81	3,88	4,37
11	2,63	3,20	3,76	3,84	4,27
13	2,58	3,09	3,65	3,72	4,16
15	2,51	3,03	3,53	3,64	4,03
17	2,38	2,89	3,39	3,49	3,89
19	2,30	2,81	3,23	3,38	3,75
21	2,23	2,65	3,07	3,22	3,58
23	2,06	2,49	2,93	3,04	3,32
25	1,98	2,39	2,75	2,87	3,17
27	1,81	2,23	2,57	2,70	2,99
29	1,73	2,07	2,40	2,46	2,74

### Заключение

Зеленым цветом выделены конструкций, у которых расчетные значения выше, чем у исходной оболочки с параметрами  $\alpha=19^\circ$ ,  $N=72$ . С ростом числа спиральных ребер наблюдается значительный прирост критической силы, при этом жесткость конструкций в сравнении с исходной увеличилась в среднем на 12%. В результате можно выделить конструкции с наилучшими результатами по совокупности параметров. Они выделены в таблице синим цветом. Это конструкции с числом пар спиральных ребер 80 и углами наклона в диапазоне от 17 до 21 градуса.

Литература:

1. Васильев В. В., Бунаков В. А. Проектирование сетчатых композитных цилиндрических оболочек, сжатых в осевом направлении //Конструкции из композиционных материалов. – 2000. – №. 2. – С. 68.
2. Васильев В. В. К задаче устойчивости цилиндрической оболочки при осевом сжатии // Изв. РАН, Механика твердого тела. 2011. №2. С.5– 15.
3. Ковальчук Л. М., Бурнышева Т. В. Исследование напряженного состояния и оценка устойчивости анизогридной цилиндрической оболочки при изменении параметров реберной структуры при статическом нагружении //Сибирский аэрокосмический журнал. – 2022. – Т. 23. – №. 1. – С. 81-92.

## **НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТОНКОСТЕННЫХ ОБОЛОЧЕЧНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ С ПОДКРЕПЛЕНИЯМИ ПРИ ОСЕВОМ СЖАТИИ**

**В. М. Копылов, Л. М. Ковальчук, Т. В. Бурнышева**  
**Новосибирский государственный технический университет,**  
**г. Новосибирск, Kopylovv61@mail.ru**  
**Научный руководитель: Кожевников А. Н., к.т.н.**

*В наше время, все больше становится популярным применять композитные оболочки в различных сферах деятельности. Таких как авиастроение, ракетостроение и других сферах деятельности.*

*Nowadays, it is becoming increasingly popular to use composite shells in various fields. These include aircraft manufacturing, rocket engineering, and other industries.*

Тонкостенные оболочечные конструкции с подкреплениями активно используются в аэрокосмической и авиационной отраслях. Поэтому актуальным является исследование оболочечных конструкций на напряженное состояние. В исследовании рассматривались восемь типов конструкций (рис.1) с фиксированной массой: гладкая оболочка и оболочки с силовыми наборами.

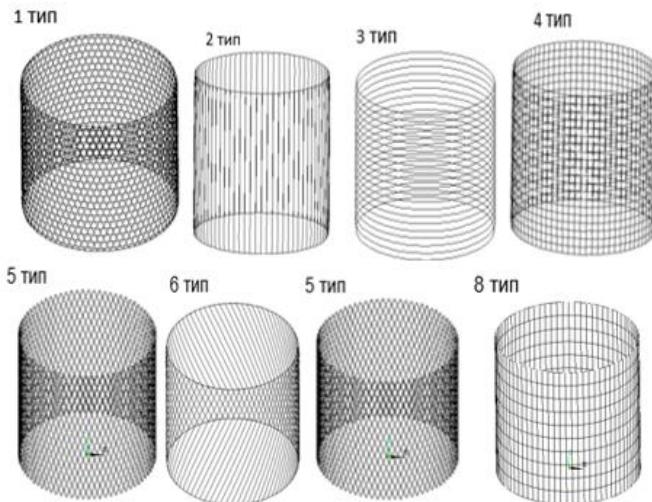


Рис.1 – типы подкреплений цилиндрических оболочечных конструкций

По кромкам конструкций расположены шпангоуты. Нижний шпангоут консольно защемлен, к верхнему шпангоуту приложена эксплуатационная осевая сжимающая нагрузка равная 108 т.с. Материал оболочек углепластик.

Разработка параметрических моделей была выполнена в конечно-элементном программном комплексе ANSYS [1]. Для формирования реберной структуры применялся двухузловой балочный конечный элемент BEAM4 [2,3] с шестью степенями свободы в каждом узле.

Обшивка моделировалась четырехузловым с шестью степенями свободы в каждом узле конечным элементом SHELL181. На рис.2 приведена форма потери устойчивости, для тонкостенных оболочек с различными типами подкрепления при осевом сжатии.

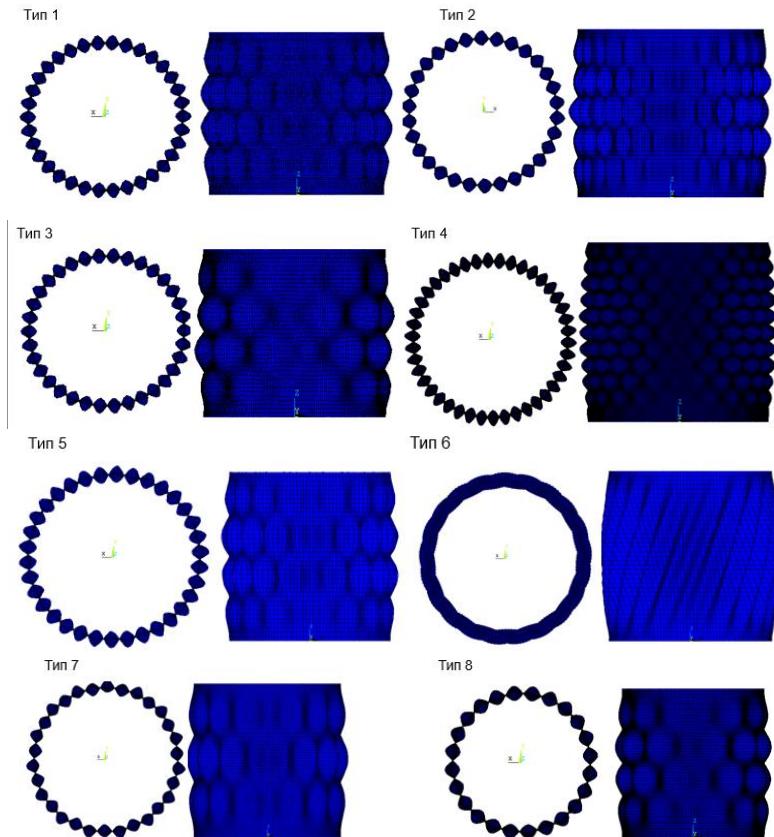


Рис.2 – Форма потери устойчивости в подкрепленных оболочках

Проводился расчет на устойчивость конструкций. Формы потери устойчивости симметричны и волнобразны, зоны потери устойчивости расположены по высоте конструкции и локализуются к верхнему и нижнему шпангоуту.

#### Заключение

Наибольшая критическая нагрузка выявлена у анизогридной конструкции с вертикальными ребрами. Оболочка с кольцевыми ребрами не выдерживает эксплуатационную нагрузку.

#### Литература:

1. Ковальчук Л. М. Исследование анизогридных цилиндрических оболочек на прочность, устойчивость и жесткость при кручении =

Investigation of anisogrid cylindrical shells for strength, stability and torsional / Л. М. Ковальчук, Т. В. Бурнышева. – DOI 10.26732/j.st.2025.1.03. – Текст: непосредственный // Космические аппараты и технологии = Spacecrafts and technologies: науч. журн. – 2025. – Т. 9, № 1 (51). – С. 23–40.

2. Исследование напряженно-деформированного состояния и устойчивости изогридной и сплошной конструкций при осевом сжатии / Д. Д. Козырев, Т. В. Гульков, Л. М. Ковальчук, Т. В. Бурнышева. – Текст: непосредственный // Аэродинамика, динамика полета, прочность и конструирование летательных аппаратов: сб. тез. докл. 2 Всерос. науч.-техн. конф. аспирантов, Новосибирск, 10 дек. 2024 г. – Новосибирск: Изд-во СибНИИ им. С. А. Чаплыгина, 2024. – С. 30–33. - 50 экз. - ISBN 978-5-6051783-1-6.

3. Kovalchuk L. M. Investigation of the stress state and assessment of the stability of an anisogrid cylindrical shell when changing the parameters of the rib structure under static loading / L. M. Kovalchuk, T. V. Burnysheva. – DOI 10.1134/S1063784223700081. – Text: direct // Technical Physics. – 2023. – Vol. 68, iss. 10. – P. 328–335.

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСЧЕТА СТЕРЖНЕВОЙ ФЕРМЫ НА УСТОЙЧИВОСТЬ**

**Я. С. Леонтьев, Я. С. Крюкова**

**Новосибирский государственный технический университет,**

**г. Новосибирск, dragon215z@mail.ru**

**Научный руководитель: Крюкова Я. С. к.т.н., доцент**

*В данной статье получены расчётные зависимости, позволяющие оптимизировать сечения стержней, обеспечивая минимальную массу конструкции при соблюдении требований прочности и устойчивости.*

*This article presents computational dependencies that allow for the optimization of rod cross-sections, ensuring minimal structural weight while meeting strength and stability requirements.*

Основную роль в напряженном состоянии стержней ферм играют продольные силы. Моменты и перерезывающие силы в стержнях являются второстепенными факторами. При расчете принимают следующие допущения:

- 1) Стержни фермы соединены идеальными шаровыми шарнирами;

2) Торцевые сечения фермы при деформации считают плоскими, то есть считают, что узлы фермы, соединяющие ее со шпангоутом, прикреплены к твердому телу и лежат в одной плоскости.

Благодаря жесткости обшивки изгибающие напряжения шпангоутов, направленные перпендикулярно плоскости шпангоута, как правило, невелики.

Шпангоуты рассчитывают как плоские рамы, нагруженные в узлах крепления стержней. Стержневая ферма крепится  $n$  узлами к шпангоутам первой и второй ступеней. Обозначим номер узла через  $i \in 0, \dots, n - 1$ , где  $i = 0$  – номер узла, лежащего в плоскости  $XZ$ .

Рассмотрим геометрию ферменной конструкции. Угол между направлениями на соседние узлы. Угол между вертикалью и плоскостью, образованной двумя соседними стержнями, обозначим за  $\gamma$ . Угол между стержнем и высотой треугольника, образованного соседними стержнями и отрезком, соединяющим узлы этих стержней, обозначим за  $\beta$ . Отрезок СЕ равен высоте фермы. Длина стержня обозначается  $L$ .

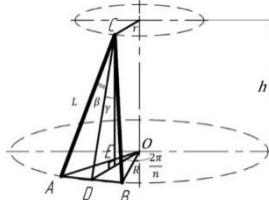


Рис. 1 – геометрия фермы

По теореме косинусов найдем длину АВ. Для отрезка DE справедливо соотношение (4, с.45). Длина стержня определяется по теореме Пифагора. Угол при вершине стержневого треугольника:

$$\beta = \arcsin\left(\frac{R}{L} \sin \frac{\pi}{n}\right).$$

Угол наклона плоскости стержневого треугольника

$$\gamma = \arccos\left(\frac{h}{\sqrt{L^2 - R^2 \sin^2 \frac{\pi}{n}}}\right).$$

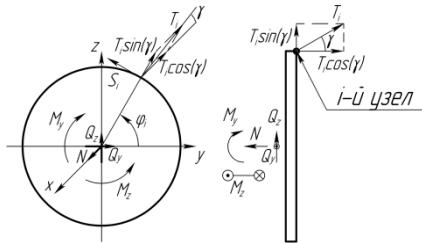


Рис. 2 – схема силового нагружения шпангоута

Сила, действующая в i-ом узле:

$$T_i = \frac{1}{\cos \gamma} \left( \frac{N}{n} - \frac{M_y \sin \phi_i}{R \sum_{i=0}^{n-1} \sin^2 \phi_i} - \frac{M_z \cos \phi_i}{R \sum_{i=0}^{n-1} \cos^2 \phi_i} \right).$$

Перерезывающая сила в проекциях на оси у и z ([1], с.110-113.).

Выведем суммарную узловую перерезывающую силу (действует в касательном направлении):

$$S_i = S^y_i + S^z_i = \frac{Q_y - \frac{M_z}{R} \tan \gamma}{\sum_{i=0}^{n-1} \sin^2 \phi_i} \sin \phi_i - \frac{Q_z - \frac{M_y}{R} \tan \gamma}{\sum_{i=0}^{n-1} \cos^2 \phi_i} \cos \phi_i.$$

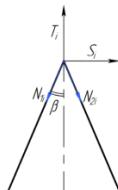


Рис. 3 – схема распределения сил в стержнях

Наиболее сжатый стержень находится справа. Обозначим его номером 2. Так в каждом узле будет два стержня с номерами 1 и 2. Усилия в стержнях компенсируют нагрузки на узлы:

$$N_{1i} = \frac{T_i \sin \beta + S_i \cos \beta}{2 \sin \beta \cos \beta}, \quad N_{2i} = \frac{T_i \sin \beta - S_i \cos \beta}{2 \sin \beta \cos \beta}.$$

Для каждого стержня можно найти внутренние усилия и определить максимальное. Оно является расчетно-разрушающей нагрузкой (PPH)

для стержня, при которой стержень теряет устойчивость, то есть возникающие в нем напряжения являются критическими. Размеры конструкции будут зависеть от РРН, а также от соотношения между размерами. Радиус выбирается исходя из требований к шпангоутам и узлам крепления стержней.

#### Заключение

Оптимальное соотношение – это такое соотношение, при котором вес стержня минимален при условии, что габариты фермы не превышают допустимых, определяемых конструктивно. Вес стержня можно определить по формуле  $G = 2\rho\pi r^2 L\delta$ , где дельта – отношение толщины к радиусу сечения стержня.

#### Литература:

1. Балабух Л. И., Алфутов Н. А., Усюкин В. И. Строительная механика ракет. М.: Высшая школа, 1984. стр. 391.
2. Печников В. П. Лекции по строительной механике. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2024.
3. Дарков А. В., Шпиро Г.С.Сопротивление материалов. — М.: Высшая школа, 1989. — 624 с
4. Ржаницын А. Р. Строительная механика. — М.: Высшая школа, 1991. — 440 с.

## АНАЛИЗ НДС УПРУГОГО ЭЛЕМЕНТА ДАТЧИКА КОНТРОЛЯ УСИЛИЙ ПРИ ПРИЛОЖЕНИИ КВАЗИСТАТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

С. А. Самошкин, К. С. Гунько, Т. В. Бурнышева  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, semn2002@mail.ru;  
Научный руководитель: Бурнышева Т. В., д.т.н., доцент

В космической технике датчики контроля усилий необходимы для мониторинга нагрузки в узлах. Поскольку их упругие элементы в ходе эксплуатации испытывают существенные перегрузки, требуется проведение квазистатического расчёта.

*In space technology, force monitoring sensors are necessary to monitor the load in nodes. Since their elastic elements experience significant overloads during operation, a quasi-static calculation is required.*

Датчик контроля усилия (ДКУ) служит для измерения механических нагрузок — сжатия и растяжения. В основе его работы лежит принцип

упругой деформации чувствительного элемента, возникающей под внешним воздействием. Конструкция датчика включает корпус, внутри которого размещён упругий элемент. Элемент герметично защищён от внешней среды, а на участках его поверхности установлены тензорезисторы, которые и фиксируют изменение нагрузки. Стоит отметить, что научно-техническая литература описывает широкий спектр конструктивных решений и материалов, используемых для создания этих элементов [1-2].

Широкое распространение измерительных устройств в промышленности обусловлено их ключевой ролью в системах мониторинга и регулирования механических напряжений. К областям их применения относятся: контроль момента затяжки болтовых и анкерных соединений, ресурсные испытания материалов на усталость, точное взвешивание и мониторинг нагрузок в элементах инженерных конструкций [3].

При проектировке ДКУ необходимо учитывать большое количество различных факторов. Одним из факторов является инерционное воздействие, которому подвергается датчик в процессе транспортировки или эксплуатации. Квазистатический расчет позволяет смоделировать экстремальную механическую нагрузку от собственной массы элемента как простую статическую силу, с гарантией того, что упругий элемент ДКУ не разрушится.

Квазистатический расчёт упругих элементов производился численно в программном комплексе Ansys WorkBench. Упругий элемент жёстко закреплялся по верхней и нижней поверхности (см. рис. 1). Нагрузка в 40g прикладывается к телу поочерёдно вдоль направления каждой оси координат (см. рис. 2).

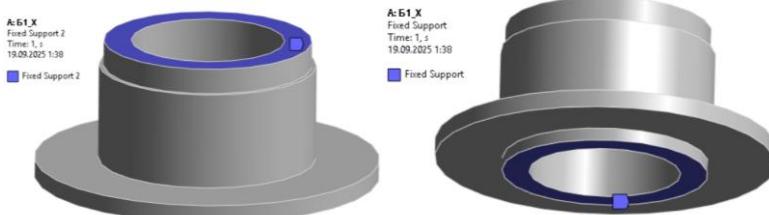


Рис. 1 – закрепление упругого элемента

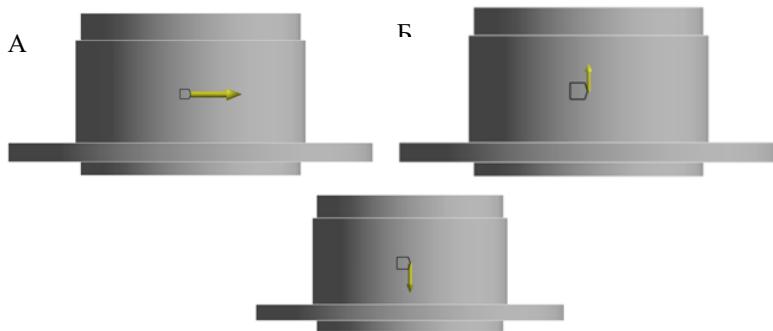


Рис. 2 – нагружение упругого элемента: А – по оси Х; Б – по оси Y-; В – по оси Y+

В качестве материала для упругого элемента был выбран сплав 50ХФА. Величина предела текучести для данного материала составляет 1100 МПа (пруток по ТУ 14-1-950-74). Распределение напряжений в упругом элементе при данном нагружении представлено на рис. 3.

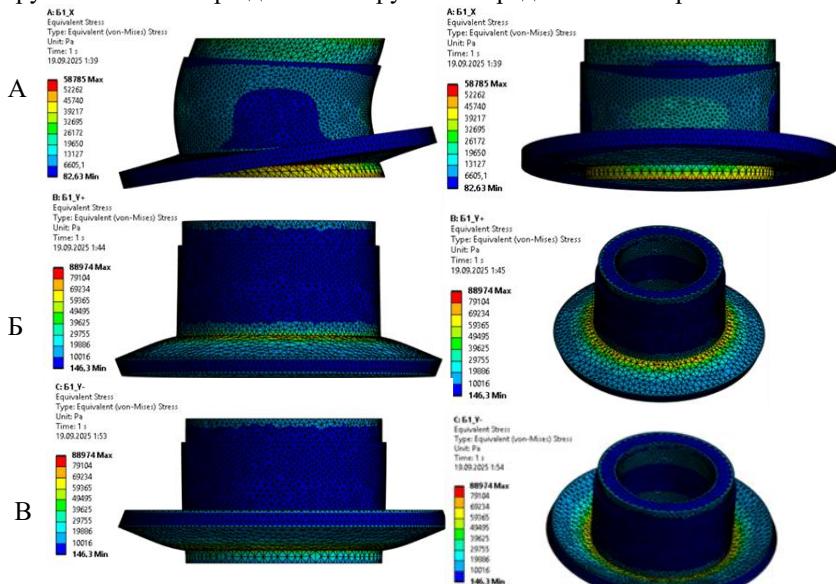


Рис. 3 – нагружение упругого элемента: А – по оси Х; Б – по оси Y-; В – по оси Y+

## **Заключение**

Из расчёта видно, что зоны концентрации напряжений располагаются в месте резкого изменения геометрии упругого элемента: соединение полей «Шляпы» с цилиндром. Значения максимальных напряжений не превышают 88974 Па (не превышает предел текучести). Данный упругий элемент можно использовать в условиях перегрузки 40g.

## **Литература:**

1. Клокова Н. П. Тензорезисторы: Теория, методики расчёта, разработки, - М.: Машиностроение, 1990. – 224 с.
2. Тензорезисторы общее описание и принципы работы / [Электронный ресурс] // tmljp: [сайт]. — URL: [https://www.tmljp.ru/information/tenzorezistory\\_obshchee\\_opisanie/](https://www.tmljp.ru/information/tenzorezistory_obshchee_opisanie/) (дата обращения: 08.09.2024). [https://novosibirsk.tenso-m.ru/tenzodatchiki/szhatija-kolonna/83/](https://novosibirsk.tensom.ru/tenzodatchiki/szhatija-kolonna/83/).
3. Сухарев И. П. Экспериментальные методы исследования деформаций и прочности / И. П. Сухарев. - М., 1987. - 212 с.: ил/

## Секция АЭРОДИНАМИКА И АЭРОУПРУГОСТЬ

# О РАЗЛИЧИЯХ ЛИНЕЙНОЙ И ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИЙ В АЛГОРИТМЕ ЖИЛИНА

Е. А. Бельтиков

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, znenya.b8@gmail.com

Научный руководитель: Галёв Р. В., к.т.н., доцент

Минимизация звукового удара (ЗУ) — ключевая задача при проектировании самолетов нового поколения. Целью данного исследования является модификация алгоритма для быстрой оценки уровня ЗУ на основе анализа эпюры давления вблизи самолета с целью повышения его надежности. Предлагается заменить линейную интерполяцию на параболическую. Проведенное сравнение модифицированного алгоритма с исходным показало, что при недостаточно частом разбиении исходных данных использование параболической интерполяции позволяет получить существенно более точный результат.

*Minimizing the sonic boom is a key objective in the design of next-generation aircraft. The aim of this study is to modify an algorithm for the rapid assessment of the sonic boom level based on the analysis of the pressure signature near an aircraft, in order to enhance its reliability. Proposed replacing the linear interpolation with parabolic interpolation. A comparison of the modified algorithm with the original one demonstrated that when the initial data segmentation is not sufficiently dense, the use of parabolic interpolation yields a significantly more accurate result.*

Минимизация звукового удара является актуальной задачей современной аэродинамики. Как показала практика эксплуатации сверхзвуковых гражданских самолетов первого поколения (ТУ-144, «Конкорд»), одной из проблем являются жалобы населения (судебные иски) на высокий уровень шума на земле при пролете сверхзвукового самолета на высоте порядка 10 км. - явление так называемого звукового удара (ЗУ).

В настоящее время, в связи с появлением в ряде стран, в том числе и в России, государственного заказа на создание сверхзвукового гражданского самолета второго поколения, задача снижения уровня ЗУ стала вновь актуальной.

Среди прочих причин, на уровень ЗУ влияет компоновка самолета. Для каждой компоновки уровень ЗУ оценивается по эпюре давления слабой ударной волны на большом расстоянии от траектории самолета.

С целью уменьшения времени получения оценки ЗУ, при том обстоятельстве, что для выбора компоновки с приемлемым уровнем ЗУ,

требуется перебрать большое количество компоновок, имеет смысл пользоваться быстрыми способами оценки, разработанными на заре появления компьютерной техники, основанными на анализе уравнений Эйлера.

Одним из таких способов является алгоритм Жилина [1]. Алгоритм - по эпюре давления, заданной непосредственно вблизи самолета - строит эпюру давления на удалении от трассы самолета. Здесь используется отображение эпюры в особое пространстве, где эпюра имеет вид самопересекающейся кривой, и в этом пространстве ищутся точки самопересечения, имеющие смысл местоположения разрывов (ударных волн).

В процессе реализации алгоритма Жилина, авторы данной статьи выдвинули предположение, что алгоритм, описанный в статье [1], можно сделать более надежным - за счет использования параболической интерполяции вместо предложенной в статье [1] линейной интерполяции.

В данной работе используется выражение [1]:

$$\Phi(\eta, F(\eta)) = \frac{2}{k} \int_{-\infty}^{\eta} F(x) dx - F^2(\eta).$$

В декартовом двумерном пространстве  $\{x, y\}$  следует построить параметрическую кривую  $\tilde{\Phi} : \{x = t(\eta, F(\eta)); y = \Phi(\eta, F(\eta))\}$ , и найти ее верхнюю огибающую, после чего отобразить найденную огибающую обратно в пространство  $\{t; F\}$  (Рисунок 1) - отображенная  $f(t)$  окажется искомой функцией. В статье [1] функция  $F(\eta)$  задается набором точек, причем вводятся довольно частые равномерные сетки по переменной  $\eta$  и по безразмерному времени « $\tilde{t}$ », а точки самопересечений кривой  $\tilde{\Phi}$  в пространстве  $\{t, \Phi\}$  предлагается вычислять с использованием линейной интерполяции: как пересечение двух отрезков (в смысле, участков прямых линий), соединяющих образы в пространстве  $\{t, \Phi\}$  точек из заданного набора. Однако, если между заданными точками  $F(\eta)$  предполагать, что  $F(\eta)$  линейна, то в пространстве  $\{\eta, F\}$  задан набор отрезков. При этом отрезок пространства  $\{\eta, F\}$  переходит при отображении в  $\{t, \Phi\}$  не в отрезок, а в дугу параболы.

Следует проверить, насколько отличается  $f(t)$ , построенная путем поиска точек самопересечения  $\tilde{\Phi}$ , как пересечение двух отрезков (обозначена в работе как  $f(t)$ ), от  $f(t)$ , построенной путем поиска точек самопересечения  $\tilde{\Phi}$ , как пересечение двух дуг парабол (обозначена в работе как  $f^*(t)$ ).

Если разбиение функции  $F$  обеспечено «довольно часто», то отличие  $f(t)$  от  $f^*(t)$  — несущественно (Рисунок 2), в противном случае отличие существенно (Рисунок 3).

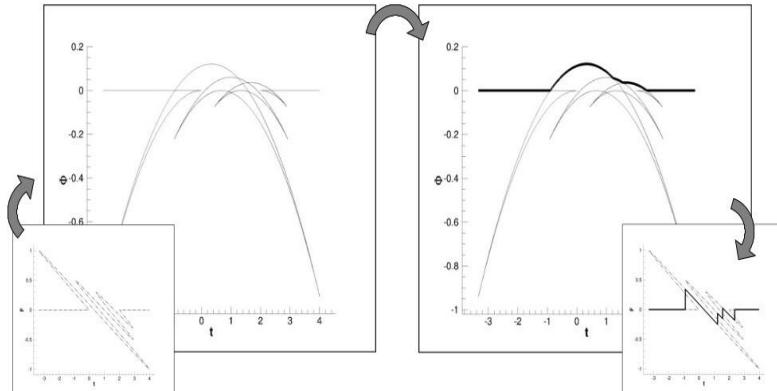


Рис. 1 – Идея алгоритма Жилина

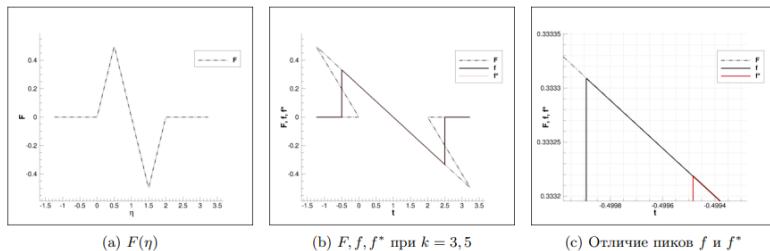


Рис. 2 – Пример несущественного отличия между  $f(t)$  и  $f^*(t)$

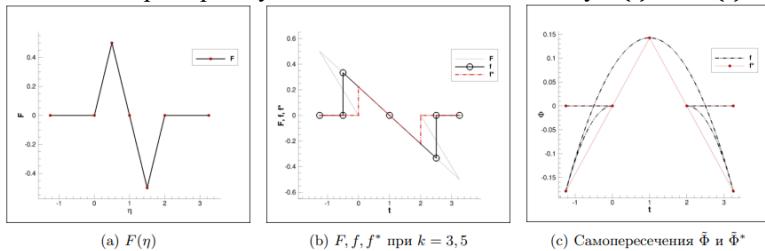


Рис. 3 – Пример существенного отличия между  $f(t)$  и  $f^*(t)$

Таким образом, по ходу исследования, мы реализовали алгоритм для обеих интерполяций и показали, что способ интерполяции может

существенно влиять на результат работы алгоритма, на вычисленную эпюру, на величину и местоположения скачков давления в слабых ударных волнах.

Так как при отображении, использующемся в алгоритме, прямой отрезок аналитически точно отображается в дугу параболы, то в алгоритме, который во всех прочих отношениях удовлетворяет актуальному запросу, мы, вместо линейной интерполяции, упомянутой в статье [1], предлагаем использовать параболическую.

Литература:

1. Жилин Ю. Л., Чернышев С. Л. Алгоритм построения эпюры избыточного давления при звуковом ударе // Труды ЦАГИ. – 1981. – Вып. 2110. – С.8–11.

## ВОЗБУЖДЕНИЕ ЛОКАЛИЗОВАННЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ РАЗЛИЧНОЙ АМПЛИТУДЫ В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ ПЛАСТИНЫ ПРИ ЧИСЛЕ МАХА 2

И. А. Бондарев<sup>1,2</sup>, А. А. Яцких<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт теоретической и прикладной механики  
им. С.А. Христиановича СО РАН,

<sup>2</sup>Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, ivan\_bond@bk.ru

Научный руководитель: Яцких А. А., к.ф-м.н.

В работе экспериментальным методом исследуется возбуждение управляемых возмущений, имеющих локализацию как в пространстве, так и во времени, в ламинарном пограничном слое пластины в потоке с числом Маха  $M=2$ . Изучается структура возмущений от импульсного тлеющего разряда различной энергии, зажигающегося на поверхности пластины. В результате идентифицирована структура контролируемых возмущений, генерируемых импульсным разрядом при варьировании энергии.

*This experimental investigation examines the generation of controlled disturbances, localized in both space and time, within the laminar boundary layer on a flat plate in a  $M=2$  flow. The research focuses on the structure of perturbations produced by a pulsed glow discharge of different energy levels initiated on the plate surface. Consequently, the structure of the controlled perturbations generated by the pulsed discharge was identified for a range of energy input levels.*

Турбулентность течения в пограничном слое на поверхностях летательных аппаратов влияет на аэродинамические характеристики, а при высоких скоростях потока на тепловой поток к поверхности, который

может значительно возрасти по сравнению с ламинарным режимом течения. Ламинарно-турбулентный переход течения является сложным трехмерным нестационарным процессом и связан с нарастанием возмущений вниз по потоку.

Экспериментальные исследования процессов возникновения турбулентности в пограничном слое базируются в основном на двух принципиально разных методах. Первый - анализ развития естественных возмущений, изначально присущих течению. Одним из ключевых ограничений этой методики выступает её ориентация на интегральные параметры и спектральный анализ, что не даёт возможности реконструировать волновую картину возмущений и напрямую сопоставлять её с данными линейного анализа устойчивости и расчётом методом прямого численного моделирования. Альтернативу составляют методы активной экспериментальной диагностики, основанные на генерации в потоке искусственных возмущений заданной природы. Такой подход обеспечивает точное определение пространственно-временной и волновой структуры возмущений и их прямое сравнение с результатами, полученными с помощью вычислительных моделей.

При дозвуковых скоростях в пограничный слой контролируемые возмущения вводятся различными способами [1-3]. При сверхзвуковых скоростях потока наиболее эффективным способом является тлеющий электрический разряд [4-5]. Целью данной работы было изучение структуры возмущений сверхзвукового пограничного слоя от импульсного воздействия различной интенсивности.

На Рисунке 1 приведена схема экспериментальной установки. Испытания выполнялись на малошумной сверхзвуковой аэrodинамической трубе Т-325 ИТПМ СО РАН в режиме течения с числом Маха  $M=2$  и единичным числом Рейнольдса  $Re_1 = 6 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$ . В качестве экспериментальной модели использовалась плоская пластина, оснащённая острой передней кромкой и встроенным генератором контролируемых возмущений. Генератор состоял из двух электродов, изолированных как друг от друга, так и от модели, и установленных заподлицо с её поверхностью.

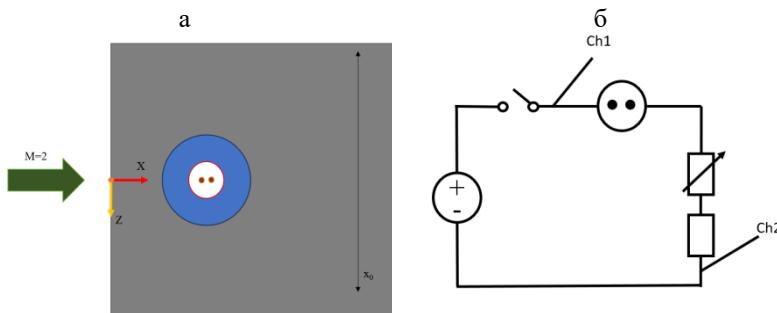


Рис. 1 – Постановка экспериментов (а),  
схема инициирования разряда (б)

Принципиальная схема инициирования разряда показана на Рисунке 1б. Подача высокого постоянного напряжения на электроды модели осуществлялась через быстродействующий ключ. Энергия импульса регулировалась посредством изменения сопротивления в цепи разряда. В ходе экспериментов производилась синхронная фиксация напряжения на электродах и силы тока разряда с использованием осциллографа.

Измерение возмущений в пограничном слое производилось с помощью ниточного датчика термоанемометра. Сигнал термоанемометра записывался одновременно с сигналом управления быстродействующего ключа. В каждой точке измерения записано множество реализаций «пролёта» возмущений. Выделение возмущений от разряда на фоне естественных пульсаций пограничного слоя достигалось путём синхронного усреднения множества реализаций сигнала.

Исследования проведены при трёх различных энергиях импульсного разряда. На Рисунке 2 представлены результаты измерения по центру возмущения от разряда в виде временной динамики массового расхода при различных уровнях энергии импульсного разряда.

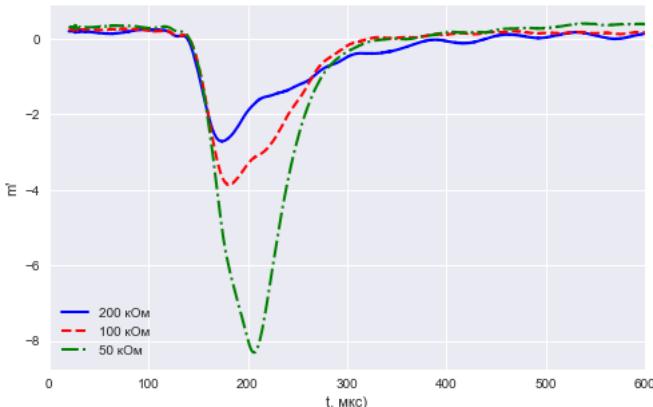


Рис. 2 – Пульсации массового потока в центре возмущения от электрического разряда

Рост энергии разряда приводит к увеличению амплитуды возбуждаемых в пограничном слое возмущений. Получены данные для амплитуд в диапазоне от 3 до 8 % от локального значения. При этом временные масштабы генерируемых возмущений близки. Возмущение от разряда регистрируется в одно и тоже время относительно момента его зажигания, что указывает на одинаковую скорость распространения возмущений различной амплитуды.

#### Литература:

- Бойко А. В., Грек Г. Р., Довгаль А. В., Козлов В. В. Физические механизмы перехода к турбулентности в открытых течениях. М.; Ижевск: РХД, 2006. – 304 с.
- Альфредссон П. Х., Катасонов М. М., Козлов В. В. Генерация и развитие “пассивных” возмущений в пограничном слое Блазиуса // Теплофизика и аэромеханика. – 2001. – Т. 8, № 3. – С. 363–370.
- Borodulin V. I., Kachanov Y. S., Roschektayev A. P. Experimental detection of deterministic turbulence // Journal of Turbulence. – 2011. – Vol. 12. No. 23. – P. 1–34.
- Косинов А. Д., Маслов А. А. Развитие искусственно вызванных возмущений в сверхзвуковом пограничном слое // Известия Академии наук СССР. Механика жидкости и газа. – 1984. – № 5. – С. 37.
- Яцких А. А., Ермолаев Ю. Г., Косинов А. Д., Семенов Н. В. Исследование влияния параметров импульсного разряда на порождаемые в сверхзвуковом пограничном слое локализованные возмущения // Письма в журнал технической физики. – 2019. – Т.45, вып.5. – С. 59–62.

# ВЛИЯНИЕ ВЯЗКОСТИ НА ОТРАЖЕНИЕ СКАЧКА УПЛОТНЕНИЯ ОТ ОСИ СИММЕТРИИ В ПЕРЕРАСПШИРЕННОЙ ГАЗОВОЙ СТРУЕ

М. П. Бухтияров

Институт теоретической и прикладной механики

им. С. А. Христиановича СО РАН,

г. Новосибирск, buxtyarov@itam.nsc.ru

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск

Научный руководитель: Бондарь Е. А., к.ф.-м.н.,

Шоев Г.В., к.ф.-м.н.

В данной работе, основываясь на численном моделировании, была поставлена и решена задача отражения косого скачка уплотнения в перерасширенной осесимметричной струе аргона. Показано, что при уменьшении числа Рейнольдса трехсачковая конфигурация сменяется двухсачковой с дозвуковой зоной за отраженным скачком.

In this work, based on numerical modeling, the problem of oblique shock wave reflection in an overexpanded axisymmetric argon jet was solved. It is shown that with a decrease the Reynolds number, the three-shock configuration is replaced by a two-shock configuration.

В невязком потоке теоретически невозможно регулярное отражение косого скачка уплотнения от оси симметрии [1, 2] (Рисунок 1). Однако в экспериментах со сверхзвуковыми струями низкой плотности, когда влияние вязкости существенно, наблюдаются структуры, визуально совпадающие с регулярным отражением [3, 4]. Цель работы – исследовать возможность возникновения двухсачковой конфигурации в осесимметричном потоке вязкого теплопроводного аргона и изучить ее структуру. Задача – изучить влияние вязкости на отражение скачка уплотнения от оси симметрии в перерасширенной газовой струе.

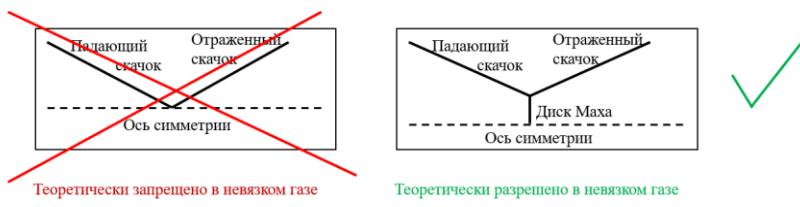


Рис. 1 – Регулярное и нерегулярное отражение ударной волны

Рассчёты проводились для числа Рейнольдса  $Re = 2000$  и  $1000$ . Найдем число Кнудсена (отношение средней длины свободного пробега в набегающем потоке к характерному масштабу задачи), оно связано с числом Рейнольдса следующей формулой [5]:

$$Kn = \frac{2(5-2\omega)(7-2\omega)}{15\pi^{1/2}} \frac{\gamma^{1/2}}{2} \frac{M}{Re},$$

где  $\omega$  – показатель степени температуры в степенном законе коэффициента динамической вязкости,  $\gamma = 5/3$  – показатель адиабаты,  $M = 20$  – число Маха набегающего потока. Используя эту формулу и определение числа Кнудсена получим длину свободного пробега молекулы, и в будущем обезразмерим все графики на данную длину.

Численное моделирование проводилось в программе Ansys Fluent с использованием решателя, основанного на плотности в неявной постановке с словером AUSM для расчета невязких потоков на грани контрольного объема. Границные условия приведены на Рисунке 2.

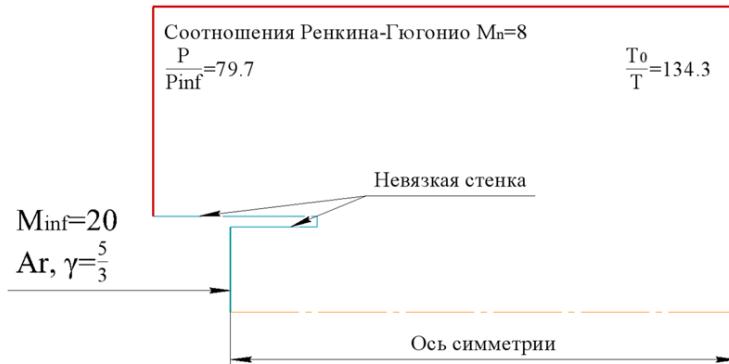


Рис. 2 – Граничные условия

Сходимость численного решения на последовательности изменяющихся сеток представлена на Рисунке 3. Размер ячейки самой плотной сетки составлял  $1.25$  мм, эта сетка и использовалась как основная.

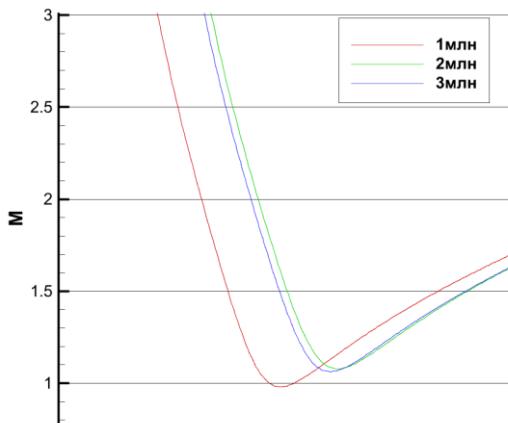


Рис. 3 – Сходимость на последовательности измельчающих сеток

Влияние числа Рейнольдса на течение в сверхзвуковой зоне представлено на Рисунке 4. Как видно на этом рисунке, при  $Re=2000$  наблюдается прямой скачок уплотнения, тогда как при  $Re=1000$  явно выраженного прямого скачка не видно.

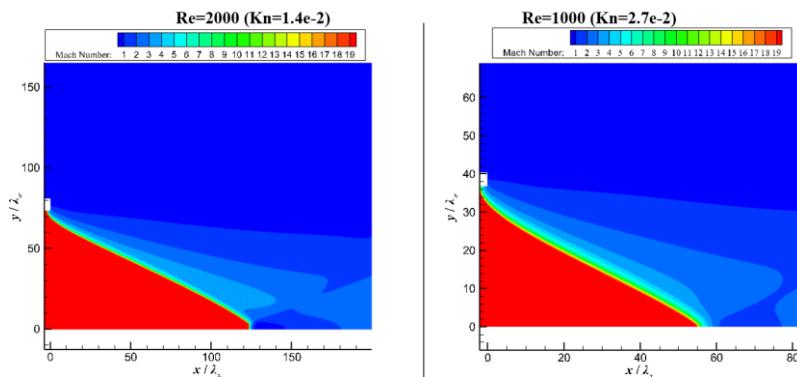


Рис. 4 – Влияние числа Рейнольдса на течение в сверхзвуковой зоне

На Рисунке 5 представлены графики изменения статического давления и числа Маха для разных чисел Рейнольдса. На графике изменения числа Маха можно заметить, что при  $Re=2000$  имеется дозвуковая зона, а при  $Re=1000$  дозвуковой зоны нет, из чего следует отсутствие прямого скачка уплотнения.

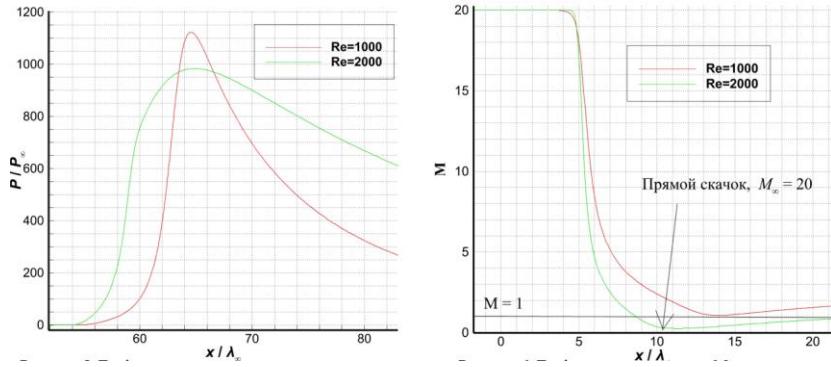


Рис. 5 – Графики статического давления (слева) и числа Маха (справа)

Таким образом, вязкость влияет на отражение скачка уплотнения от оси симметрии: при снижении числа Рейнольдса радиус диска Маха и следующая за ним дозвуковая область уменьшаются, а при повышении числа Рейнольдса они увеличиваются. Полученные результаты позволяют заключить, что существует некоторое число Рейнольдса, ниже которого трехсачковая конфигурация переходит в двухсачковую (теоретически невозможную в невязком потоке). В будущем планируется провести дополнительное моделирование в программном комплексе SUNSHyNE [6] и на основе кинетического подхода в программном комплексе SMILE++ [7].

#### Литература:

1. Rylov A. I. On the impossibility of regular reflection of a steady-state shock wave from the axis of symmetry // Journal of Applied Mathematics and Mechanics. – 1990. – Volume 54, Issue 2. – P. 201–203.
2. The amplification of weak shock waves in axisymmetric supersonic flow and their reflection from an axis of symmetry / N.P. Isakova, A.N. Kraiko, K.S. P'yankov, N.I. Tillyayeva // Journal of Applied Mathematics and Mechanics. – 2012. – Volume 76, Issue 4. – P. 451–465.
3. Experimental study on hysteresis phenomena of shock wave structure in an over-expanded axisymmetric jet / S. Matsuo, T. Setoguchi, J. Nagao et al. // J Mech Sci Technol. – 2011. – Issue 25. – P. 2559–2565.
4. Visualization of supersonic free jet flow structures subjected to various temperature and pressure ratio conditions / Hadi Samsam-Khayani, Binqi Chen, Mirae Kim, Kyung Chun Kim // Optics and Lasers in Engineering. – 2022. – Volume 158, 107144.
5. Bird G. A. Molecular gas dynamics and the direct simulation of gas flows. – Oxford: Oxford University Press, 1994. – 480 p.

6. Программный комплекс SUNSHYNE для моделирования течений сжимаемого газа на вычислительных системах гибридной архитектуры / А. А. Шершнев, А. Н. Кудрявцев, А. В. Кашковский, Г. В. Шоев, С. П. Борисов, Т. Ю. Шкредов, Д. П. Полевщикова, Д. В. Хотяновский, Ю. В. Кратова, П. В. Ващенков, А. С. Литвинцов, Т.А. Полянский, Е.А. Бондарь // Прикладная механика и техническая физика. – 2025. – Т. 66, №5. – С. 157–177.

7. Семейство программных систем SMILE для прямого статистического моделирования течений разреженных газов / А. В. Кашковский, П. В. Ващенков, А. А. Шевырин, А. Н. Молчанова, А.С. Литвинцов, Л.В. Ярков, Т.А. Полянский, Д.П. Полевщикова, А.А. Шершнёв, Г.А. Жукова, Е.А. Бондарь. // Инженерно-физический журнал. – 2025. – Т. 98, №7. – С. 1850.

## ВЛИЯНИЕ ОРГАНОВ УПРАВЛЕНИЯ И ФЮЗЕЛЯЖА НА ОТРЫВНОЕ ОБТЕКАНИЕ МОДЕЛИ СТРЕЛОВИДНОГО КРЫЛА

**Е. М. Дубовицкий<sup>1,2</sup>, А. М. Павленко<sup>1</sup>, Б. Ю. Занин<sup>1</sup>,  
Н. С. Алпацкий<sup>1,2</sup>**

**<sup>1</sup>Институт теоретической и прикладной механики  
им. С. А. Христиановича СО РАН,**

**<sup>2</sup>Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, dubovitsky.e.m@gmail.com**

**Научный руководитель: Павленко А. М., к.ф.-м.н., с.н.с.**

Данное исследование демонстрирует результаты проведения экспериментов, в ходе которых было изучено влияние элевонов и фюзеляжа на структуру отрывного обтекания модели летательного аппарата со стреловидным крылом. Для режимов глобального срыва был исследован метод их устранения путем установки на модель источников стационарного возмущения. В результате для всех режимов были построены кривые нарастания пульсаций, профили скорости, частотные составы пульсаций, а также получены картины течения с соответствующим построением топологий течения.

*This study presents the results of experiments conducted to investigate the influence of elevons and the fuselage on the separated-flow structure of a swept-wing aircraft model. For the global-stall regimes, a method for their suppression was examined by installing steady perturbation sources on the model. Curves of fluctuation growth, velocity profiles, fluctuation spectra, and flow visualizations with the corresponding flow topologies were produced.*

В процессе полета летательного аппарата (ЛА), на его поверхности, в частности на поверхности крыла, может возникать явление отрыва пограничного слоя, которое обусловлено наличием вязкости среды и неблагоприятного градиента давления [1]. На данный момент существует 3 вида отрывных течений, а именно отрывной пузырь, отрыв турбулентного пограничного слоя и глобальный отрыв [2].

Данные явления негативно сказываются на полете, из-за того, что влекут за собой возникновение поперечных колебаний ЛА [3], сваливание самолета [4], что в свою очередь, может привести к катастрофическим последствиям. В связи с этим большой интерес представляет исследование стреловидного крыла при условии дополнения его геометрии фюзеляжем, а также изменения геометрии крыла, путем отклонения элевонов, так как возникновение отрыва и его вид определяются множеством параметров, таких как угол атаки ЛА, геометрия его крыла, скорость набегающего потока [5]. Так, например, на модели прямого крыла влияние данных параметров сказывается на структуре отрывного обтекания [6].

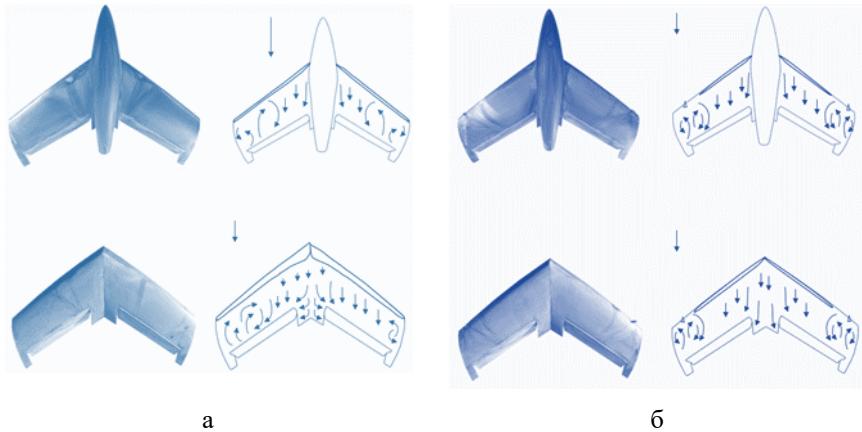
Серия экспериментов была проведена на дозвуковой аэродинамической трубе с рабочей частью закрытого типа Т-324 ИТПМ СО РАН, которая имеет малую степень турбулентность, а именно менее 0.04% [7]. Эта труба замкнутого типа, она имеет квадратное сечение с длиной стороны в 1 м, протяженность рабочей части составляет 4 м.

Эксперименты проводились на модели летательного аппарата со стреловидным крылом, имеющим профиль крыла NACA 4415, с размахом 750 мм, хордой 250 мм и углом стреловидности 34°. Исследования были проведены при жестко закрепленной модели в рабочей части трубы на углах атаки 5° и 18°. Угол скольжения составлял 0° для всей серии экспериментов. Углы отклонения элевонов составляли +30°, 0°, -30°.

Результаты визуализации были получены с использованием смеси, содержащей в составе диоксид титана и керосин. Весь процесс проведения эксперимента фиксировался на камеру, закрепленную в рабочей части аэродинамической трубы, камера не вносила возмущения в поток.

Количественные измерения проводились с помощью термоанемометра постоянного сопротивления модели AN-1003, разработанного компанией A.A. Labs. В данной серии экспериментов была использована нить, изготовленная из вольфрама, с габаритными размерами диаметра и длины 5 мкм и 2 мм соответственно. Измерения проводились на расстоянии трети размаха крыла от законцовки левой консоли.

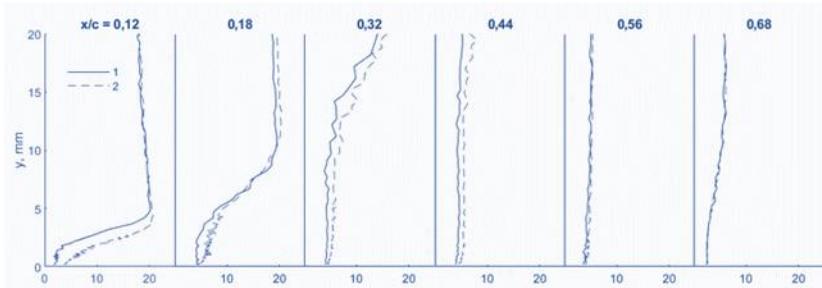
Ниже представлены результаты для режима угла атаки  $18^\circ$  и угла отклонения элевонов  $30^\circ$  (Рисунки 1-3).



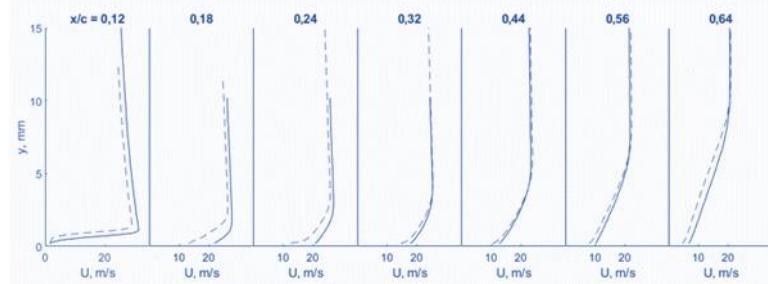
а

б

Рис. 1 – Визуализация течения для крыла с наличием и отсутствием фюзеляжа, без выступов (а) и с выступами (б)



а



б

Рис. 2 – Профили средней скорости для крыла без выступов (а) и с выступами (б):  $x/c$  — продольная координата, отнесенная к хорде модели; модель с фюзеляжем (1) и без него (2).

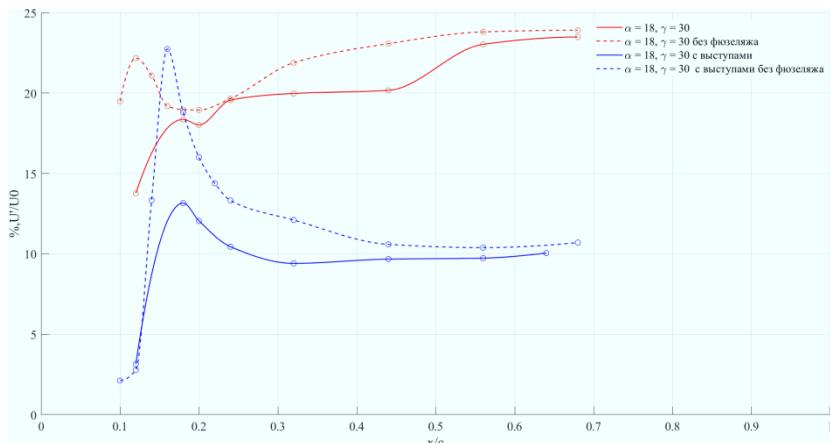


Рис. 3 – Кривые нарастания пульсаций

В ходе проведенного экспериментального исследования было изучено развитие возмущений на модели стреловидного крыла с фюзеляжем при одних и тех же условиях, которые были при проведении исследования для модели крыла без фюзеляжа. Менялись углы атаки и углы отклонения органов управления. Угол скольжения оставался постоянным и был равен  $0^\circ$ . В результате сравнения было установлено, что характер течения на крыле модели с фюзеляжем имеет схожую структуру с отрывным обтеканием модели крыла без фюзеляжа.

Для представленного выше режима наличие фюзеляжа на модели уменьшает предельный уровень пульсаций скорости на 10% (Рисунок 3). А наличие источников стационарного возмущения (выступов) в особых точках на модели крыла, а именно 46 мм от законцовок вблизи передней кромки, приводит к частичному присоединению потока и уменьшению области глобального отрыва (Рисунки 1-3), что позволяет продолжать безопасный полет на столь большом угле атаки.

Исследование выполнено в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2024–2026 гг. (№ 124021400038-1) с использованием оборудования ЦКП «Механика».

**Литература:**

1. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. – М.: Наука, Физматлит, 1969. – 744 с.
2. Чжен П. Отрывные течения. – М.: Мир, 1972. Т. 1. – 300 с.
3. Gresham N. T., Wang Z., Gursul I. Self-induced roll oscillations on non-slender wings // AIAA J. – 2009. – Vol. 47, N 3. – P. 481–483.
4. Чернигин К. О., Кубаков И.А. Особенности полета воздушных судов на больших углах атаки // Научный Вестник МГТУ ГА. Серия Студенческая наука. – 2006. – №110. – С. 12–15.
5. Белоцерковский С. М., Ништ М. И., Котовский В. Н., Федоров В. М. Трехмерное отрывное обтекание тел произвольной формы. – М.: Изд. отд. ЦАГИ. – 2000. – 266 с.
6. Исследование влияния органов управления и фюзеляжа на структуру отрывного обтекания модели летательного аппарата классической компоновки / А.М. Павленко, Е.А. Мельник, Н.С. Алпацкий, Б.Ю. Занин // Теплофизика и аэромеханика. – 2024. – Т. 31, № 2. – С. 309–323.
7. Аэродинамическая труба малых скоростей Т-324 с пониженной степенью турбулентности / Г.И. Багаев, В.К. Голов, Г.В. Медведев, Н.Ф. Поляков // Аэрофизические исследования. – Новосибирск: ИТПМ СО АН СССР. – 1972. –Вып. 1. – С. 5–8.

**РАСЧЁТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ  
ДАВЛЕНИЯ НА ЗЕМЛЮ ПРОЕКТИРУЕМОГО  
СВЕРХЗВУКОВОГО ГРАЖДАНСКОГО САМОЛЕТА  
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОМПОНОВКИ МЕТОДОМ,  
ИСПОЛЬЗУЮЩИМ ФУНКЦИЮ УИЗЕМА**

**А. В. Лазарев, Е. А. Бельтиков, И. С. Миськов**  
**Новосибирский государственный технический университет,**  
**г. Новосибирск, andrey.lazarev.2001@mail.ru**  
**Научный руководитель: Галёв Р. В., к.ф.-м.н.**

*В данной работе предложен метод расчета функции Уизема для различных аэrodинамических компоновок. Метод основан на алгоритме С.Л. Чернышева. Проведена верификация разработанной программы путём сравнения с опубликованными эталонными данными.*

*This work proposes a method for calculating the Whitham function for different aerodynamic layouts, based on S.L. Chernyshev's algorithm. The developed program was verified against published benchmark data.*

Актуальность работы обусловлена необходимостью создания быстрого алгоритма оценки звукового удара (ЗУ) для сверхзвуковых гражданских самолетов (СГС). Существующие методы численного моделирования требуют значительных вычислительных ресурсов и времени, что затрудняет оперативный анализ и оптимизацию проектных решений. Разработка эффективного алгоритма позволит проводить быструю оценку акустических характеристик на стадиях проектирования, что критически важно для создания СГС, соответствующего нормативным требованиям по уровню шума.

Целью данной работы является разработка быстрого алгоритма оценки ЗУ компоновок СГС, основанного на методе Чернышева С.Л., но обладающего существенно меньшей вычислительной сложностью при сохранении приемлемой точности расчетов.

Научная новизна исследования заключается в предложенной модификации классического метода, позволяющей увеличить скорость расчета. Практическая значимость работы обусловлена возможностью применения разработанного алгоритма при проектировании перспективных СГС.

Методологическую основу исследования составили методы математического моделирования и численного решения дифференциальных уравнений. Особое внимание удалено оптимизации вычислительных алгоритмов для повышения их эффективности. Теоретической базой послужили фундаментальные положения аэродинамики и акустики, взятые из трудов Чернышева С.Л. по теории ЗУ [1].

Для верификации вычислительного алгоритма была создана трехмерная геометрическая модель СГС Ту-144. Моделирование проводилось в среде CAD SolidWorks на основе опубликованных проектных чертежей [2]. Внешний вид созданной модели представлены на Рисунке 1.

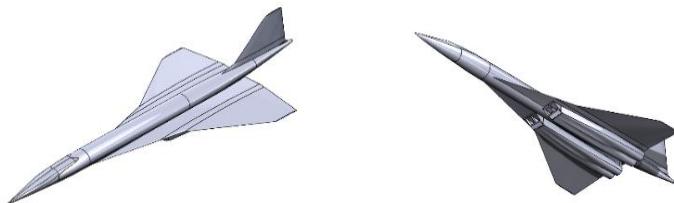


Рис. 1 – Геометрическая модель Ту-144 (виды сверху и снизу)

Для реализации метода нам потребуется представить модель как эквивалентное тело вращения  $S(x)$  (ЭТВ). После вычислить функцию Уизема  $F(\eta)$ , пропорциональную избыточному давлению вблизи тела [3]. Исходными данными метода является объемная модель самолета. Сначала вычисляется распределение площади поперечного сечения  $S_A$  вдоль компоновки ЭТВ и площади эквивалентной подъемной силы  $S_Y$ :

$$S(x) = S_A + S_Y.$$

Функция  $F(\eta)$  вычисляется согласно формулам, представленных в работе [1]:

$$F(\eta) = \frac{d\Phi(\eta)}{d\eta}, \quad \Phi(\eta) = \int_x^\eta \frac{S'(x)}{\sqrt{\eta - x}} dx,$$

где  $\eta$  – расстояние вдоль оси тела.

Для сравнения были использованы результаты  $S_A$ ,  $S_Y$  и  $S(x)$ , полученные Чернышевым [1] (Рисунок 2).

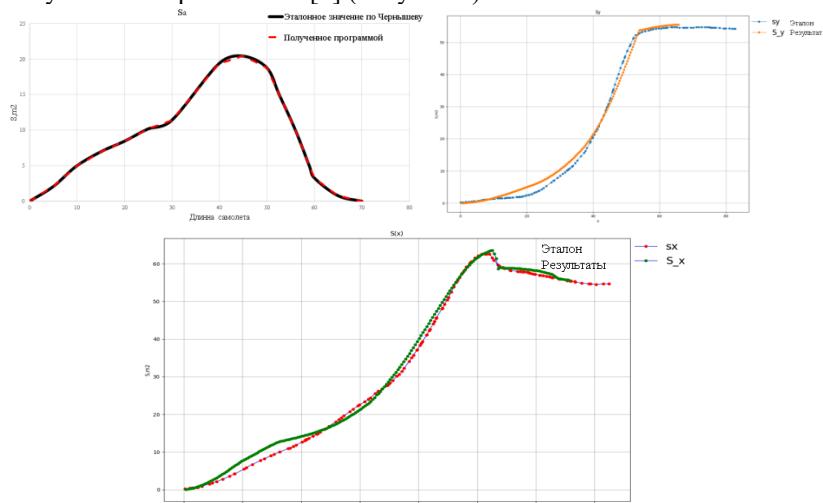


Рис. 2 – Сравнение результатов авторов и [1] по  $S_A$ ,  $S_Y$  и  $S(x)$

Верификация расчетного метода на геометрии Ту-144 подтвердила его корректность и практическую применимость. Результаты демонстрируют хорошую сходимость с данными исследования Чернышева [1]. Ключевым преимуществом методики является использование автоматизированной обработки геометрии из CAD-модели, что обеспечивает высокую точность расчетов. Анализ выявил четкую корреляцию пиковых значений  $F(\eta)$  с характерными зонами изменения сечения конструкции. Ввиду отсутствия возможности

сравнения полноразмерной функции Уизема, можем сопоставить с теорией и проверить правильность получившейся функции (Рисунок 3).



Рис. 3 – График функции  $F(\eta)$  для Ту-144

В характерных зонах модели Ту-144 (носовой обтекатель, стык крыла с фюзеляжем, хвостовое оперение) функция  $F(\eta)$  демонстрирует ожидаемое поведение: резкие скачки амплитуды коррелируют с областями крутого градиента площади поперечного сечения  $S_A$ . Данное наблюдение полностью согласуется с теорией Чернышева [1], где такие особенности интерпретируются как зоны генерации ударных волн.

Следует отметить, что текущая версия метода позволяет рассчитывать  $S_A$  и  $S_Y$  (ЭТВ) в статическом приближении. Основным ограничением является отсутствие учета параметров полета, таких как число Маха и скоростной напор, что определяет направления для дальнейшего развития алгоритма. Перспективы совершенствования метода включают введение поправок на сжимаемость среды и учет реальных условий полета.

Ключевым направлением дальнейших исследований является развитие метода для перехода от анализа локальной функции  $F(\eta)$  к прямому прогнозированию эпюры избыточного давления на поверхности земли. Реализация этой задачи предусматривает решение двух основных проблем:

- интеграция параметров полета (число Маха, высота, скоростной напор, угол атаки) через безразмерные коэффициенты Жилина [3]. Это позволит связать аэродинамические нагрузки с реальными условиями полета, учитывая сжимаемость потока и динамическое давление;
- моделирование атмосферных эффектов путем введения поправок на температуру, влажность и вертикальные градиенты давления для учета рефракции и затухания ударных волн в неоднородной атмосфере.

Верификация усовершенствованного алгоритма будет выполнена путем сравнения с экспериментальными данными [1].

Таким образом, предложенный алгоритм на основе метода Чернышева уже обеспечивает быструю и корректную идентификацию зон формирования ударных волн через анализ  $F(\eta)$ . Его развитие за счет учета динамических параметров по методике Жилина [3] направлено на создание универсального инструмента для инженерного анализа. Такой инструмент позволит сочетать высокую скорость расчетов с точностью, необходимой для предварительной сертификации перспективных летательных аппаратов.

Литература:

1. Чернышев С. Л. Звуковой удар. – М.: Наука, 2011. – 351 с.
2. Чертеж Ту-144 // AVSIM [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.avsim.su/f/chertezhi-17/chertezh-tu-144-4988.html?ysclid=mi5q1yn89i3118224> (дата обращения: 1.03.2025).
3. Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны. – М.: Мир, 1977. – 622 с.
4. Жилин Ю. Л., Чернышев С. Л. Алгоритм построения эпюры избыточного давления при звуковом ударе // Труды ЦАГИ. – 1981. – Вып. 2110.

## РАСЧЁТ ТРАКТА НАСТОЛЬНОЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЫ МАЛЫХ ДОЗВУКОВЫХ СКОРОСТЕЙ

**Ф. А. Мороз<sup>1,2</sup>, А. М. Гильманов<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup>Новосибирский государственный технический университет,**

**г. Новосибирск, feodor.moroz@gmail.com,**

**<sup>2</sup>ФАУ «СибНИА им. С. А. Чаплыгина»**

**Научный руководитель: Зайцев В. Ю., к.т.н.**

*В рамках развития системы авиастроительных классов в общеобразовательных учреждениях актуальной задачей является популяризация основ аэродинамики. Для её решения предлагается оснащение аэрокосмических классов и кружков настольными аэродинамическими трубами (НАДТ). На основе численного моделирования, была подобрана наилучшая геометрия внутреннего тракта НАДТ с точки зрения наименьшего сопротивления и качества потока в рабочей части НАДТ.*

*As part of the initiative to develop aerospace engineering programs within general education institutions, a pertinent objective is the popularization of fundamental aerodynamic principles. To address this need, a proposal has been made to equip*

*aerospace classrooms and clubs with Desktop Aerodynamic Wind Tunnels (DAWTs). Utilizing numerical simulation, the optimal configuration for the internal flow path was selected. This selection was made based on the dual objectives of minimizing flow resistance and maximizing flow quality within the test section.*

Исследованы несколько вариантов сопла, спрофилированных сплайнами и методом Витошинского [1]. Для наилучшего варианта сопла было подобрано входное устройство, отвечающее требованиям компактности и менее всего влияющее на качество потока на входе в сопло. Исследование также было дополнено расчётом связки «входное устройство» + «сопло» с установленным между ними хонейкомбом. Проведен расчёт рабочей части, отвечающей требованиям наглядности, а также расчёт диффузора, отвечающий требованиям компактности. Характеристики простых элементов тракта НАДТ определены с помощью эмпирической методики [1]. Для определения характеристик сложных участков тракта использовался метод численного моделирования. При расчётах использовалась модель турбулентности «spalart-allmaras», рассматриваемое течение – осесимметричное.

По результатам проведённых расчётов сформирована конечная геометрия тракта НАДТ.

#### Литература:

- Харитонов А. М. Техника и методы аэрофизического эксперимента. Ч.1. Аэродинамические трубы и газодинамические установки: Учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005. – 220 с.
- Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. 3-е изд. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.

## ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МАЛОМОЩНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВИНТОМОТОРНЫХ УСТАНОВОК С ПОМОЩЬЮ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ВЕСОВ

**В. М. Морозов**

**Новосибирский государственный технический университет,**

**г. Новосибирск, sahavova24@yandex.ru**

**Научный руководитель: Зайцев В. Ю., к.т.н.**

*В работе разработан упрощённый стенд на базе Arduino Mega 2560 и тензодатчиков 5 кг для испытаний маломощных ЭВМУ. Экспериментально определены характеристики двигателя RS 2205 с винтом RC5051 в диапазоне до 11 000 об/мин: средний КПД установки составил 40% из-за износа двигателя и*

погрешностей измерений. Это позволяет определять механическую мощность ЭВМУ на любых оборотах, зная силу тока, напряжение и КПД.

*The work developed a simplified stand based on Arduino Mega 2560 and 5 kg load cells for testing low-power electric motors. The characteristics of the RS 2205 motor with the RC5051 screw were experimentally determined in the range up to 11000 rpm: the average efficiency of the installation was 40% due to engine wear and measurement errors. This allows you to determine the mechanical power of the EVMU at any speed by knowing the current, voltage, and efficiency.*

Цель работы – разработка, изготовление и статические испытания двухкомпонентных аэродинамических весов на тензодатчиках для измерения характеристик маломощных винтомоторных установок. Традиционное измерение механической мощности на валу электрической винто-моторной установки (ЭВМУ) требует сложных динамометрических стендов или аэродинамических весов. В связи с развитием маломощных электрических двигателей необходим упрощённый метод, позволяющий оценивать мощность через доступные электрические параметры.

Если определить зависимость между механической и электрической мощностями, при этом зная КПД двигателя и электрическую мощность, то теоретически можно будет оценить механическую мощность на валу установки без испытаний на стенде (Рисунок 1).

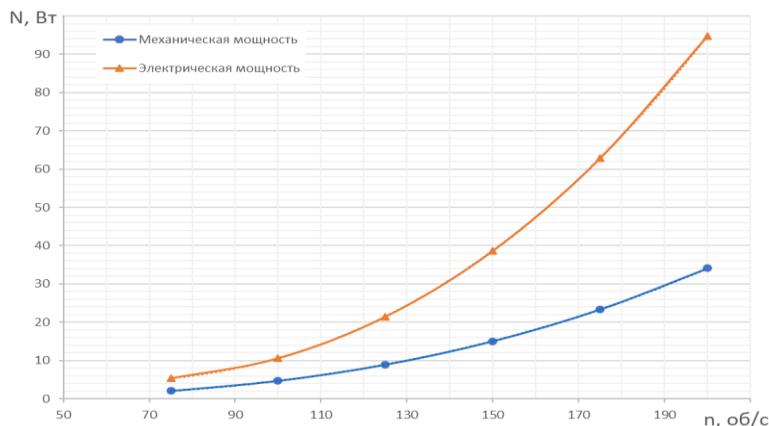


Рис. 1 – Графики механической и электрической мощностей двигателя

Можно заметить, что функции мощностей пропорциональны оборотам в кубе, поэтому зависимость между ними можно считать

линейной. Это позволяет, зная КПД, определять механическую мощность на любых оборотах, зная силу тока и напряжение.

В ходе работы спроектирован и реализован испытательный стенд для маломощных ЭВМУ на базе доступных компонентов (тензодатчики 5 кг, Arduino Mega, ШСП-8). Несмотря на выявленные конструктивные погрешности, система позволила получить значимые результаты: измеренная тяга соответствует данным производителя по порядку величин, а также получена линейная зависимость между электрической и механической мощностью.

Литература:

1. Белоусов А. Н. Аэродинамика воздушных винтов. – М.: Машиностроение, 2020. – 320 с.
2. Горлин С. М., Слезингер И. И. Аэромеханические измерения. – М.: Наука, 1964. – 480 с.
3. Гуляев В. И. Тензометрирование: теория и практика. – СПб.: Лань, 2022. – 256 с.
4. Петров К. С. Arduino в измерительных системах. – М.: Техносфера, 2023. – 180 с.
5. Попов С. Г. Некоторые задачи и методы экспериментальной аэромеханики. – М.: Гостехиздат, 1952. – 210 с.
6. Харитонов А.М. Техника и методы аэрофизического эксперимента. – М.: Наука, 2010. – 415 с.
7. Закс Н. А. Основы экспериментальной аэrodинамики. – М.: Оборонгиз, 1953. – 290 с.
8. Leishman J. G. Principles of Helicopter Aerodynamics. 2nd ed. – Cambridge: Cambridge University Press, 2020. – 850 p.
9. ISO 376:2011 Международный стандарт. Метрология. Калибровка силоизмерительных приборов.
10. ASME PTC 19.1-2022 Стандарт. Испытания тепловых двигателей. Требования к точности измерений.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛЕНОЧНЫХ ТЕРМОАНЕМОМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОТОКА ОКОЛО КРЫЛА

Л. И. ПРОТАСОВ

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, protasov.2022@corp.nstu.ru

Научный руководитель: Поливанов П. А., к.ф-м.н.

В работе оценивается возможность использования поверхностных термоанемометрических датчиков для определения параметров потока около крыла. Основные численные расчеты были выполнены с использованием панельного метода на базе кода XFOIL. Эксперименты были проведены в мультивентиляторном аэродинамическом стенде ИТПМ СО РАН. Анализ полученных данных позволил определить расположение датчиков, которое позволяет реализовать наилучшее соотношение сигнал/шум для измерения угла атаки и скорости потока при сохранении возможности детекции отрывного течения.

*The paper goal is evaluates the feasibility of using surface hot-film sensors to measurement different flow parameters. Numerical calculations were performed using a panel method based on the XFOIL. Experiments were conducted on a multi-fan ITAM SB RAS aerodynamic wind tunnel. Data analysis allowed the determination a sensor locations that provides the best signal-to-noise ratio for measuring angle of attack and flow velocity while maintaining the ability to detect separated flows.*

Малые беспилотные летательные аппараты (БПЛА, весом не более 30 кг) имеют широкий спектр применения. Например, они широко используются для различных задач наблюдения и аэрофотосъёмки, доставки грузов, исследования атмосферы и т.п. Ввиду небольших размеров и скоростей полета порядка 20-40 м/с, БПЛА сильно подвержены влиянию атмосферных возмущений, турбулентности. Наличие ветра способно привести не только к значительному изменению путевой скорости, но и служить причиной появления существенных колебаний ЛА по крену, курсу и тангажу. Наличие данных осцилляций не только затрудняет удержание ЛА на заданной траектории полета и затрудняет взлет/посадку, но и приводит к существенным трудностям в решении ряда задач, например, таких, как аэрофотосъемка.

На текущий момент наиболее распространенный метод стабилизации ЛА основывается на использовании ПИД (Пропорционально-интегрально-дифференцирующих) регуляторов. Данные с курсовертикальных датчиков согласуются с органами управления через ПИД регулятор, который обеспечивает поддержание заданных углов полета.

Инерция ЛА приводит к появлению задержки между порывом ветра и изменением полетных углов малого БПЛА. Соответственно, если распознать порыв ветра заранее, то можно реализовать более раннее отклонение рулевых поверхностей, что позволит сохранить положение ЛА на заданной траектории и минимизировать осцилляции ЛА. Для этой цели можно использовать датчик угла атаки и скольжения.

Механические датчики флюгерного типа плохо подходят для решения этой задачи из-за большого времени срабатывания. Многоточечный приемник воздушного давления (ПВД) может обладать малой инерцией, что делает его подходящим устройством для решения этой задачи. Недостатком такого датчика является необходимость добавления в конструкцию малого БПЛА дополнительного устройства существенных размеров (по сравнению с размерами малого БПЛА) выступающего за контуры ЛА.

В качестве альтернативы методам прямого определения углов атаки и скольжения можно предложить способ, основанный на анализе нестационарных когерентных структур течения, возникающих в турбулентном пограничном слое и в области отрыва потока [1]. Преимуществом такого подхода в определении характеристик потока около самолета является возможность использования поверхностных датчиков, в нашем случае – пленочных термоанемометров, которые не требуют существенного изменения конструкции малых БПЛА. Кроме того, такой подход позволяет учитывать неравномерность набегающего потока, обусловленного наличием турбулентных атмосферных структур с характерным размером сопоставимых с размерами ЛА.

Целью данной работы является определение оптимального расположения пленочных термоанемометрических датчиков для измерения угла атаки/скольжения и детекции отрыва потока.

Оптимизация расположения датчиков осуществлялась на модели прямого крыла С-16 (Рисунок 1). Данный профиль крыла был выбран по двум причинам: 1) после сечения максимальной толщины крыло представляет собой ровную плоскость, что упрощает расположение датчиков; 2) данный профиль характеризуется резким возникновением глобального отрыва, что характерно для малых БПЛА самолетного типа.



Рис. 1 – Модель крыла

Перед проведением эксперимента было решено определить наиболее выгодное положение датчиков, для этого, с помощью программы XFOIL[2], был проведен расчет панельным методом стационарного обтекания крыла. Для автоматизации процесса расчета на Python был написан скрипт, реализующий расчет для заданного диапазона угла атаки и чисел Рейнольдса. Из результатов расчета было получено распределение коэффициента трения ( $C_f$ ) по профилю крыла (Рисунок 2).

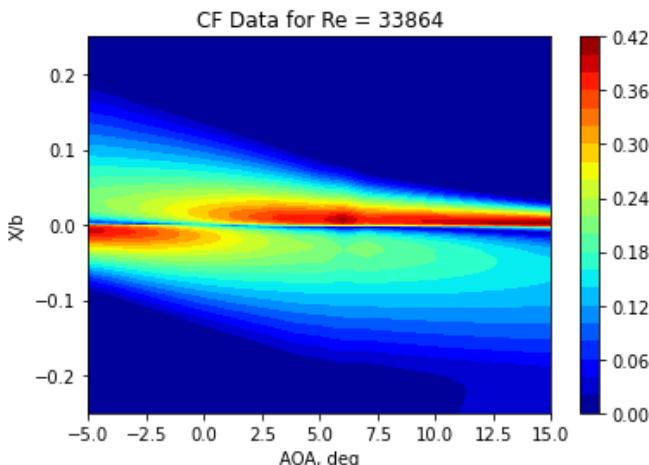


Рис. 2 – Распределение коэффициента трения вдоль профиля по углу атаки

Решение о расположении датчиков принималось исходя из того, в каких координатах наблюдается максимальная разность  $C_f$  между двумя датчиками ( $\Delta C_f$ ), а следовательно, и максимальная разность в сигнале датчиков (Рисунок 3). Дополнительным критерием являлось близость

распределения  $\Delta C_f$  от искомой величины к линейному закону распределения.

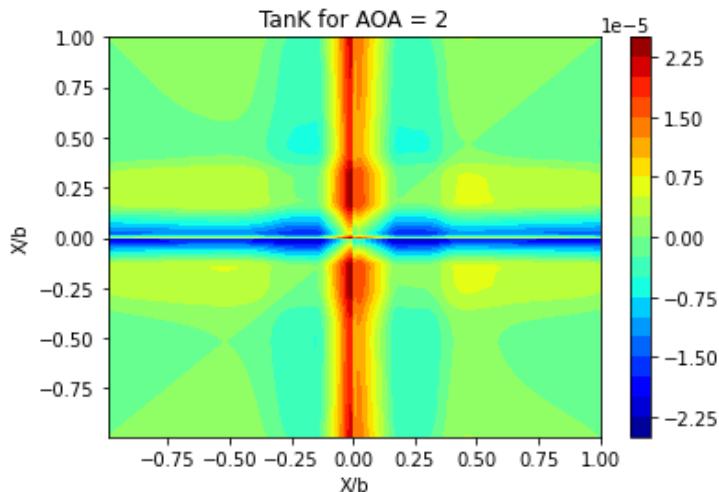


Рис. 3 – Угол наклона линейной зависимости  $\Delta C_f(Re)$  в зависимости от положения датчиков

Исходя из полученных данных, был сделан вывод о том, что один из датчиков следует располагать вблизи точки растекания. Второй датчик следует располагать ниже по потоку от продольной координаты, в которой наблюдается максимальная толщина профиля.

#### Литература:

1. Поливанов П. А., Сидоренко А. А., Проблемы обнаружения отрыва потока датчиками давления на беспилотных летательных аппаратах с пропеллером // Письма в ЖТФ. – 2022. – Т. 48, выпуск 3. – С. 40–43.
2. Drela M. XFOIL: An Analysis and Design System for Low Reynolds Number Airfoils // Conference on Low Reynolds Number Airfoil Aerodynamics – Notre Dame: University of Notre Dame, 1989. – Р. 1–12.

# УПРАВЛЕНИЕ НЕУСТОЙЧИВОСТЬЮ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ СТРУИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СХОДЯЩИХСЯ МИКРОСТРУЙ

А. А. Смяцких<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Новосибирский государственный технический университет,

<sup>2</sup> Институт теоретической и прикладной механики

им. С. А. Христиановича СО РАН,

г. Новосибирск, smyaczkix.2020@stud.nstu.ru

Научный руководитель: Литвиненко Ю. А., д.ф.-м.н., в.н.с.

*В работе представлены результаты экспериментальных исследований процесса взаимодействия микроструй. В процессе эксперимента выявлены особенности формирования результирующей струи.*

*The paper presents the results of experimental studies of the microjet interaction process. During the experiment, the peculiarities of the formation of the resulting jet were revealed.*

**Введение.** Микротечения широко используются в различных отраслях науки. Например, в [1] используют сталкивающиеся газовые микроструи, при определенных условиях они, образуют область уплощения (пелену), которая существенно влияет на характер движения потока. Также метод сталкивающихся микроструй применяется в микрореакторах жидкостного типа, для формирования пелены, где усиленное перемешивание и взаимодействие веществ приводит к быстрому синтезу реакционных продуктов [2].

В круглых струях, истекающих из коротких сопел, появляется неустойчивость Кельвина-Гельмгольца. Неустойчивость возникает из-за значительного градиента скорости, температуры или плотности. На начальных этапах неустойчивость проявляется как возникновение волнистости в области градиента, которая ниже по течению прогрессирует и сворачивается в вихревые структуры [1]. На практике неустойчивость Кельвина-Гельмгольца встречается во множестве приложений, в частности в авиационных двигателях, тепловых турбинах и т.д. Существуют различные подходы по подавлению развития вихревых колец.

В данной работе мы использовали ортогональную струю, сформированную двумя микроструями, расположенными под некоторым углом между осями их симметрии, для подавления неустойчивости.

**Экспериментальная установка и методика.** Эксперименты проводились на струйной установке в Институте теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН.

Установка состояла из двух идентичных цилиндрических стальных трубок длиной 40 мм и внутренним диаметром 0.6 мм, расположенных под углом  $60^\circ$  между осями симметрии сопел. Расстояние между срезами сопел 4 мм. Расчетная скорость воздуха, истекающего через каждое сопло  $U_1=U_2=10$  м/с, что соответствовало числу  $Re=400$ . Схема установки представлена на Рисунке 1.

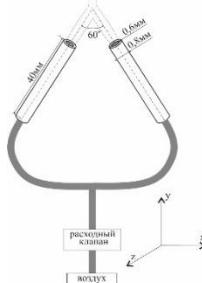


Рис. 1 – Схема расположения сопел

Для контроля воздействия на неустойчивость круглой струи использовался метод лазерно-дымовой визуализации. Метод основывается на введении в тракт основной струйной установки дыма в виде испаренного глицеринового раствора и рассеянии плоского лазерного излучения на частицах дыма.

Результаты лазерно-дымовой визуализации фиксировались с помощью PIV. Метод цифровой трассерной визуализации (PIV) – это оптический метод измерения полей скорости жидкости или газа в выбранном сечении.

**Результаты.** На Рисунке 2 представлены результаты лазерно-дымовой визуализации, демонстрирующие кольцевые вихри, образующиеся после выхода из сопла.

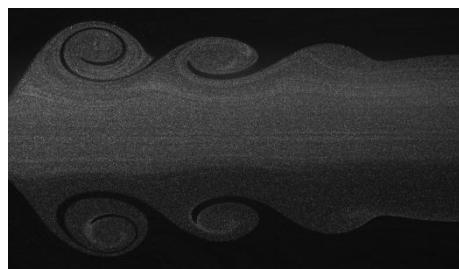


Рис. 2 – Естественная круглая струя с неустойчивостью Кельвина-Гельмгольца

На Рисунке 3 показано влияние вторичной струи на кольцевые вихри. Воздействие осуществлялось локально по окружности основной струи с постоянным расходом воздуха, истекающего из 3 попарно соединённых микроструй со скоростью  $U_{40}=3.7$  м/с. Установлено, что вторичные струи, развивающиеся в сдвиговом слое основной струи, взаимодействуют с ее вихревыми структурами и ниже по течению разрушают их.

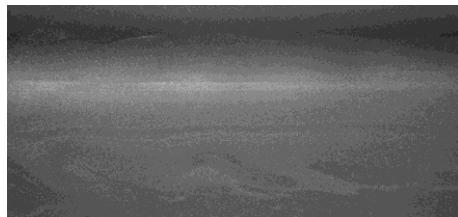


Рис. 3 – Воздействие микроструй на кольцевые вихри ( $U_{40}=3.7$  м/с)

**Заключение.** В результате проведенного исследования были получены картины лазерно-дымовой визуализации методом PIV. Установлено, что вторичные струи, развивающиеся в сдвиговом слое основной струи, взаимодействуют с ее вихревыми структурами и ниже по течению разрушают их.

Работа поддержана грантом Российского научного фонда № 22-19-00151.

Литература:

- Грек Г. Р., Козлов В. В., Литвиненко Ю. А. Устойчивость дозвуковых струйных течений и горение: Учеб. Пособие. 2-е изд., перераб. и доп. / Новосиб. гос. ун-т, 2013. – 240 с.
- Спасова А. А., Зайко Ю. С. Разработка алгоритма формирования затопленной струи с заданными характеристиками профиля скорости. // Прикладная механика и техническая физика. – 2023. – Т. 64, № 4. – С. 67– 75.

# **РЕАЛИЗАЦИЯ ДОЗВУКОВЫХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ МЕТОДА ПРЯМОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SMILE++**

**А. Е. Супжанова**

**Новосибирский государственный технический университет,**

**г. Новосибирск, aesupzhan@yandex.ru**

**Научный руководитель: Ващенков П. В., к.т.н.**

*Прогресс в развитии микро-электро-механических систем (МЭМС) привел к значительному спросу на численные инструменты, предназначенные для моделирования газовых потоков в микроустройствах. Широкое распространение получил метод прямого статистического моделирования (ПСМ) благодаря высокой точности и способности учитывать сложные межмолекулярные взаимодействия. Целью работы является реализация дозвуковых граничных условий метода ПСМ в программном комплексе SMILE++.*

*Progress in the development of Micro-Electro-Mechanical Systems (MEMS) has led to a significant demand for numerical tools designed to simulate gas flows in micro devices. The Direct Simulation Monte-Carlo (DSMC) is widely used due to its high accuracy and ability to take into account complex intermolecular interactions. The aim of the work is to implement subsonic boundary conditions of the PSM method in the SMILE++ software package.*

Проанализированы возможности программного комплекса SMILE++ в части задания граничных условий. Модифицирован программный код для работы с дозвуковыми течениями при условии фиксированного давления на входе/выходе канала. Проведено моделирование течения в мироканале: получены распределения скорости, давления, плотности, температуры в расчетной области. Исходные данные для тестовых расчетов и для сравнения взяты из работы Фарбара [7]. Общее представление о поле течения в заданной геометрии дает Рисунок 1, на котором изображено распределение горизонтальной скорости в канале. Видно влияние границ канала на скорость. Наибольшая скорость, порядка 38 м/с, наблюдается на выходной границе в середине канала.

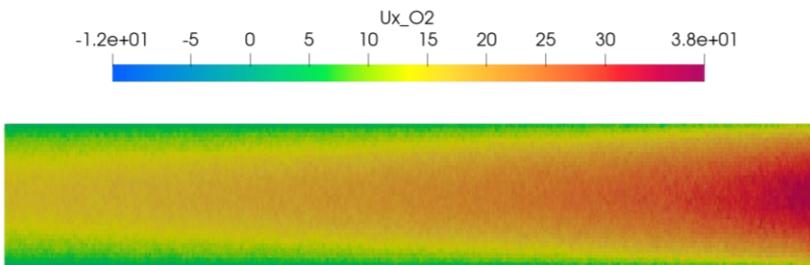


Рис. 1 – Распределение горизонтальной скорости в канале

На Рис. 2 представлен график горизонтальной скорости вдоль оси канала.

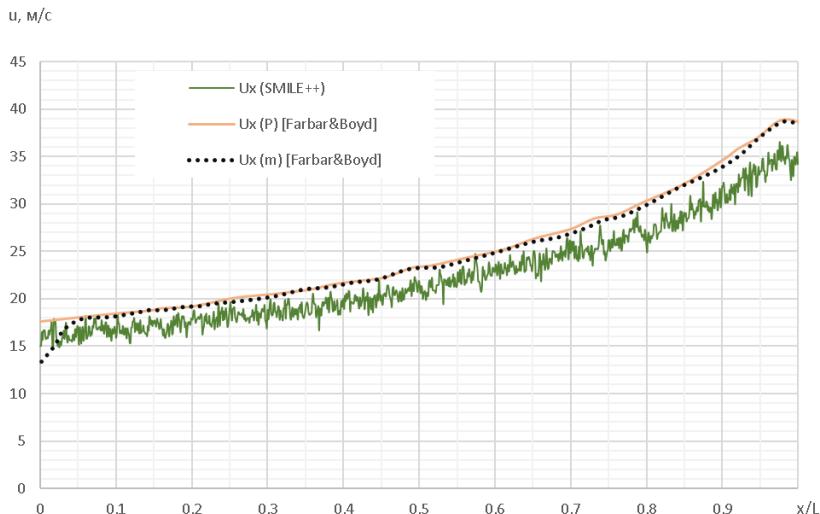


Рис. 2 – Горизонтальная скорость вдоль оси канала

Результаты, полученные в SMILE++ по величине скорости, оказались ниже результатов из работы Фарбара [7] примерно на 10%, но в целом характер поведения графиков совпадает.

Работа имеет потенциал к дальнейшему развитию, например, к реализации граничных условий с заданным массовым расходом. Сейчас идет процесс реализации пористой выходной границы.

**Литература:**

1. Коган М. Н. Динамика разреженного газа: Кинетическая теория. – М.: Наука, 1967. – 440 с.
2. Bird G. A. Molecular gas dynamics and direct simulation of gas flows. Oxford: Clarendon Press, 1994. – 456 p.
3. Берд Г. Молекулярная газовая динамика. – М.: Мир, 1981. – 319 с.
4. Kashkovsky A. V., Vashchenkov P. V., Ivanov M. S. Object Oriented Software Design Approach for multidimension application of Direct Simulation Monte Carlo Method // 13th International Conference on the Methods of Aerophysical Research (ICMAR-2007): (Novosibirsk, Russia, 5 - 10 Febr., 2007): Proceedings. - Pt.4. -Novosibirsk: Parallel, 2007. – P. 49–54.
5. Ivanov M. S., Kashkovsky A. D., Vashchenkov P. B., Shevyrin A. A., Bondar Y. A. Software system SMILE++ for modeling of high-altitude aerothermodynamic [Electronic resource] // Eighth International Conference on Flow Dynamics (ICFD2011) (Japan, Sendai, 9-11 Nov., 2011): Proceedings. - No.Paper OS1-1. - S.l., 2011. – P. 162–164. – URL: <https://www.ifs.tohoku.ac.jp/gcoe/ICFD/ICFD2011/program/ICFD2011.pdf> (accessed: 01.12.2025).
6. Vashchenkov P., Kashkovsky A., Bondar Y., Yonemura S., Kawagoe Y. Using a tetrahedral mesh for simulation of internal flows by the DSMC method [Electronic resource] // AIP Conference Proceedings: High-Energy Processes in Condensed Matter (HEPCM–2019): Proceedings of the XXVI Conference on High-Energy Processes in Condensed Matter, dedicated to the 150th anniversary of the birth of S.A. Chaplygin (Novosibirsk, 3–5 Apr. 2019). -Vol.2125, No.030030(6). - S.l.: AIP Publishing, 2019. – URL: [http://conf.ict.nsc.ru/files/conferences/hepcm2019/531887/CP2125\\_single%20file.pdf](http://conf.ict.nsc.ru/files/conferences/hepcm2019/531887/CP2125_single%20file.pdf) (accessed: 01.12.2025).
7. Farbar E., Boyd I. D. Subsonic flow boundary conditions for the direct simulation Monte Carlo method // Computers & Fluids. – Volume 102, 10 October 2014. – P. 99–110.
8. Chamberlin R. E. A Three-dimensional Direct Simulation Monte Carlo Methodology on Unstructured Delaunay Grids with Applications to Micro and Nanoflows: The thesis for PhD degree / Worcester Polytechnic Institute. – Worcester, 2007. – 199 p.
9. The implementation of subsonic boundary conditions for the direct simulation Monte Carlo method in dsmcFoam / Lei Min, Wu Xiaobin, Zhang Wei, Li Xiaoping, Chen Xuedong // Computers & Fluids. – 2017. – Vol. 156, iss. 12, – P. 209–219.

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ВИХРЕЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ПОПЕРЕЧНОГО ТЕЧЕНИЯ НА СТРЕЛОВИДНОМ КРЫЛЕ

А. Д. Черепанов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт теоретической и прикладной механики имени С.А. Христиановича СО РАН,

<sup>2</sup>Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, cherepanov@itam.nsc.ru

Научный руководитель: Иванов А. В., к.ф.-м.н., с.н.с.

В работе представлены результаты исследования развития вихрей неустойчивости поперечного течения (НПТ) на предпереходном, переходном и постпереходном участках обтекания стреловидного крыла. Определены поперечные масштабы вихрей НПТ в линейной и нелинейной зонах роста, определен характер их нарастания. Показано, что в турбулентной области существуют продольные структуры; оценены их поперечные масштабы, степень корреляции с вихрями НПТ в ламинарной зоне, а также характер затухания вниз по потоку.

The paper presents the results of an experimental study on the development of cross-flow vortices in the pre-transition, transitional and post-transition section of the swept wing flow. The transverse scales of cross-flow vortices in linear and nonlinear growth zones were determined, the nature of their growth was determined. It is shown that longitudinal structures also exist in the turbulent region; their transverse scales, the degree of correlation with the cross-flow vortices in the laminar zone, and the nature of their attenuation downstream are estimated.

Снижение аэродинамического сопротивления – одна из ключевых задач современной аэродинамики, напрямую определяющая топливную эффективность и экологичность летательных аппаратов. До 50% полного сопротивления современных воздушных судов формируется турбулентным поверхностным трением [1].

Турбулентный пограничный слой принято рассматривать как течение с недетерминированными, сугубо хаотичными по времени пульсациями и унифицированными осредненными по времени нормальными профилями пульсаций и высоконаполненными профилями средней скорости, характеризующимися высоким трением на стенке. Одним из основных методов снижения потерь на преодоление трения современного ЛА считается ламинаризация пограничного слоя – максимальное затягивание ламинарно-турбулентного перехода (ЛТП). Путь ламинаризации очень эффективен поскольку при высоких числах Рейнольдса, характерных для крейсерского полета коммерческого

самолета, трение ламинарного потока о поверхность ЛА почти на порядок ниже турбулентного.

Однако современная экспериментальная и численная аэродинамика показывает, что управлять можно не только положением ЛТП, но и структурой развитого турбулентного пограничного слоя, тем самым влияя на величину турбулентного трения. В частности, в работе [2] показано, что стационарное по времени и периодическое по размаху воздействие на стенку (вдув/отсос) способно генерировать систему продольных вихрей в турбулентной области, которая при определённых параметрах приводит к значительному снижению осреднённого турбулентного трения. Более того, установлено, что турбулентный пограничный слой может сохранять высокую степень корреляции мгновенных полей пульсаций с возмущениями, возникшими ещё в ламинарной части [3], и содержать различные устойчивые продольные структуры [4,5]. Эти наблюдения указывают на принципиальную возможность управления турбулентностью, а потенциально, и трением на стенке.

Эта идея приобретает особое значение для стреловидных крыльев, где основной механизм перехода связан с неустойчивостью поперечного течения (НПТ). В зоне передней кромки стреловидного крыла в пограничном слое возникает трёхмерное течение с ярко выраженной поперечной компонентой. Профиль поперечного течения имеет точку перегиба, что делает его невязко неустойчивым. В результате в окрестности передней кромки формируются стационарные вихри НПТ, амплитуда которых быстро нарастает вниз по потоку. По мере их усиления течение испытывает сильную деформацию, что приводит к возникновению вторичной высокочастотной неустойчивости и инициирует ЛТП [6].

Вихри НПТ являются крупномасштабными, организованными структурами. Поэтому возникают следующие научные вопросы: «Как ведут себя мощные, упорядоченные вихри НПТ, зарождающиеся в ламинарном пограничном слое, после ЛТП и входа в область развитой турбулентности? Могут ли они изменять структуру турбулентности, тем самым снижая турбулентное трение?»

Настоящая работа посвящена комплексному анализу развития вихрей НПТ вниз по потоку от передней кромки стреловидного крыла, изучению изменений их поперечного масштаба и амплитуды в линейной и нелинейной зонах роста, а также исследованию продольных вихревых структур в областях перехода и развитой турбулентности.

Эксперименты с применением метода количественной термографии для исследования ЛТП проводились в малотурбулентной

аэродинамической трубе Т-324 ИТПМ СО РАН на модели крыла СК-45 с углом стреловидности  $45^\circ$ , установленной вертикально в рабочей части трубы. Модель имеет модифицированный профиль NACA67 1-215 с длиной хорды (перпендикулярно передней кромке)  $C = 0.7\text{ м}$  и представляет собой жесткую раму из стали и акрила, состоящую из нервюр и стрингеров, с обшивкой из акриловых листов толщиной 3 мм и с отделяемой передней кромкой (10% хорды). Используемый профиль имеет расширенную зону благоприятного градиента давления для доминирования на экспериментальной модели неустойчивости поперечного течения. С этой же целью модель крыла установлена под отрицательным углом атаки к потоку  $-5^\circ$ .

В эксперименте вихри выделенного поперечного масштаба на модели стреловидного крыла возбуждались по отработанной методике с помощью размещения на дне пограничного слоя распределенных элементов шероховатости дискообразной формы с соответствующим периодом (discrete roughness elements – DRE) [7]. Ряд DRE размещался около координаты точки потери устойчивости (3% от хорды модели крыла). Были рассмотрены случаи с введением в пограничный слой контролируемых вихрей НПТ с помощью DRE, распределенных по размаху модели крыла с периодами 6.5, 7.5 и 9 мм.

Для исследования влияния элементов рельефа на положение ЛТП использовалась инфракрасная камера научно-исследовательского класса Infratec ImageIR 8355 с разрешением 0.02К. Объектив камеры был направлен на поверхность модели крыла через круглое окно рабочей части трубы, прозрачное для инфракрасного излучения. Область наблюдения, таким образом, представляла из себя круг с диаметром около  $0.8C$ , захватывающий переднюю кромку модели и всю ее переднюю центральную часть (до  $0.75C$ ). Перед каждым запуском потока в трубе поверхность модели предварительно нагревалась с помощью излучателя с набором галогеновых ламп.

После достаточно подогрева поверхности модели (на  $\approx 6^\circ$  и выше по сравнению с температурой окружающей среды) лампы убирались, аэродинамическая труба запускалась и начиналась запись процесса остывания поверхности модели крыла длиной 35-50 с с частотой 58 кадров/с. Полная запись включала в себя этап разгона аэродинамической трубы, установление скоростного и продолжительный участок остывания модели при установленвшейся скорости. Далее обработка полученных видеозаписей проводилась по методу количественной термографии [8], вычислялись нормированные скорости охлаждения поверхности модели стреловидного крыла для получения положения начала и конца ламинарно-турбулентного

перехода и разграничения зон обтекания модели стреловидного крыла. Затем полученные данные передавались в специальный программный модуль, реализующий корреляционный анализ и вычисляющий масштабы возбужденных вихрей и оценки изменения их амплитуд по хорде модели крыла.

В докладе будут представлены результаты проведенной работы, включающие изменение преобладающих поперечных масштабов вихрей НПТ вниз по потоку в разных случаях, степень корреляции вихрей и продольных структур, находящихся на разных стадиях развития (в ламинарной зоне, зонах ЛТП и турбулентности) и характер изменения интенсивности детектируемых продольных структур вниз по потоку. Кроме того, будет дана оценка поперечного масштаба детектируемых продольных структур в турбулентной области и оценка их затухания вниз по потоку.

Работа поддержана грантом РНФ № 23-19-00644.

#### Литература:

1. Arnal D. Laminar-Turbulent Transition Control: NLF, LFC, HLFC / D. Arnal, J. P. Archambaud // Advances in Laminar-Turbulent Transition Modeling. – Brussels: von Karman Institute for Fluid Dynamics, 2008. – (VKI Lecture Series 2008-05).
3. Ricco P., Wu X. Response of a turbulent boundary layer to a steady-spanwise-varying blowing/suction // Journal of Fluid Mechanics. – 2007. – Vol. 587. – P. 97–122.
4. Borodulin V. I., Kachanov Y. S., Roschektayev A. P. Experimental detection of deterministic turbulence // Journal of Turbulence. – 2011. – Vol. 12, N. 23. – P. 1–34.
5. Бойко А. В., Бородулин В. И., Иванов А. В., Мищенко Д. А., Черепанов А. Д. Детерминированные продольные структуры в турбулентном пограничном слое стреловидного крыла // XV Сибирский теплофизический семинар, посвященный 110-летию со дня рождения С.С. Кутателадзе и 300-летию Российской академии наук: тезисы докладов, Новосибирск, 20-23 авг. 2024 г. – Новосибирск, 2024. – С. 117.
6. Robinson S. K. Coherent motions in the turbulent boundary layer // Annual Review of Fluid Mechanics. – 1991. – Vol. 23. – P. 601–639.
7. Borodulin V. I., Ivanov A. V., Kachanov Y. S. Swept-wing boundary-layer transition at various external perturbations: Scenarios, criteria, and problems of prediction // Physics of Fluids. – 2017. Vol. 29, N. 9. – P. 094101.1–094101.26.
8. Ivanov A. V., Mischenko D. A., Ustinov M. V. Experimental investigation of laminar-turbulent transition control on swept-wing with help

of oblique surface non-uniformities // AIP Conference Proceedings. – 2018. – Vol. 2027, iss. 1. – Art. 030132.

9. Boiko A. V., Ivanov A. V., Borodulin V. I., Mischenko D. A. Quantification technique of transition to turbulence in boundary layers using infrared thermography // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2022. – Vol. 183. – P. 122065.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КЛАССИЧЕСКИХ ТЕОРИЙ ВОЗДУШНОГО ВИНТА ДЛЯ ВЕРИФИКАЦИИ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БПЛА

**Т. О. Черкашин, А. В. Крюков, И. Д. Зверков, А. А. Мешков**  
Новосибирский государственный технический университет

г. Новосибирск, cherckashin.tim@gmail.com

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

*Предметом исследования является сравнительный анализ трёх классических теорий расчёта параметров воздушного винта (ВВ): теории идеального пропеллера, теории идеального винта и теории Сабинина-Юрьева. Ключевыми сравниваемыми параметрами выступили тяга винта и осевые составляющие скорости в его плоскости и в «горле» струи. На основании проведённого анализа сделан вывод о целесообразности использования теории идеального винта в качестве базовой для разработки метода оптимизации лопасти БПЛА «Сарма-2».*

*The subject of this study is a comparative analysis of three classical theories for calculating propeller (PP) parameters: the ideal propeller theory, the ideal propeller theory, and the Sabinin-Yuryev theory. The key parameters compared were propeller thrust and the axial velocity components in the propeller plane and at the jet throat. Based on the analysis conducted, a conclusion was made on the advisability of using the ideal propeller theory as a basis for developing a method for optimizing the blade of the «Sarma-2» UAV.*

Воздушный винт (ВВ) – это основной способ перемещения летательных аппаратов тяжелее воздуха. Эффективность и экономичность винта напрямую определяют лётно-технические характеристики аппарата. В связи с этим актуальной является задача выбора и верификации адекватной методики для расчёта его геометрических, кинематических и аэродинамических характеристик на этапе проектирования. В работе проводится анализ трёх классических теорий и их применимости для современного проектирования.

Целью данной работы является выбор эффективной методики расчёта параметров потока в плоскости винта и в его струе для разработки метода оптимизации геометрии лопасти воздушного винта БПЛА «Сарма-2».

Задачи работы:

- оптимизация геометрия лопасти ВВ БПЛА «Сарма-2»;
- верификация полученных значений с экспериментальными данными статей;
- оценка точности, погрешности и границы применимости каждой теоретической методики на основе проведённого сравнительного анализа.

В рамках задачи оптимизации геометрии лопасти винта БПЛА «Сарма-2» было проведено исследование эффективности различных подходов. В качестве теоретических методик были выбраны:

- 1) теория идеального пропеллера [1] – наиболее простая, не учитывает закрутку потока в плоскости винта и в его струе. Для оценки эффективности воздушного винта достаточно знать его диаметр;
- 2) теория идеального винта [1] – расчёт ведётся с учётом закрутки потока, что говорит о том, что она учитывает затраты энергии на вращение винта;
- 3) теория Сабинина-Юрьева [1] – учитывает форму и положение профилей лопасти винта, следовательно, геометрию и их аэродинамические характеристики.

Для исследования эффективности предложенных теоретических методик были взяты две статьи с экспериментальными данными. По [2] будет рассчитана тяга  $P_{\text{теор}}$ , создаваемая ВВ. По картине течения за плоскостью вращения винта возьмём среднее ядро скорости для нахождения теоретического значения тяги. Также будет подтверждено уравнение сохранения количества движения через соотношение площадей в плоскости винта и в горле струи. По [3] определим осевую составляющую скорости в плоскости ВВ. Исходными данными будут являться тяга  $P$ , создаваемая винтом, полученная в эксперименте, и частота вращения ВВ.

Для анализа характеристик ВВ из теоретических методик использовалась программа MathCad.

По [2] результаты будем сравнивать по тяге  $P$ , осевой составляющей скорости  $V_2$  в «горле» струи и через отношение площадей колец скоростей, согласно уравнению сохранения количества движения: «скорость отбрасывания равна удвоенной скорости подсасывания».

На Рисунке 1 приведены профили скорости в отдельных сечениях за винтом, которые используем для определения тяги ВВ [2].

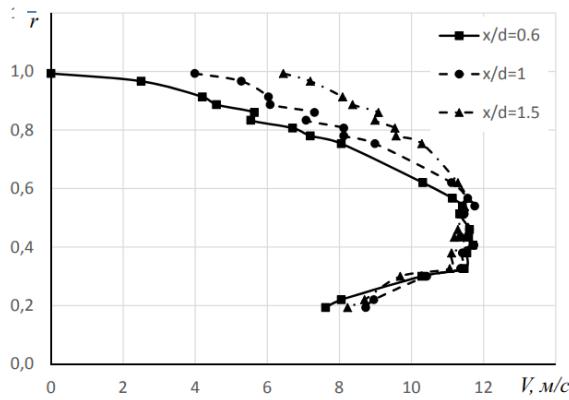


Рис. 1 – Профили скорости за ВВ

Оценку тяги проводим по данным, полученным из эксперимента при режиме  $\lambda_0 = 0$ ,  $n = 5000$  об/мин,  $D = 0.3$  м (Таблица 1).

**Таблица 1. Сравнение результатов теоретических методик с экспериментальными данными [2]**

Методика	P, H	$\delta_P, \%$	$V_2, \text{м/с}$	$\delta_{V_2}, \%$
Теория идеального пропеллера	5.708	11.9	9.375	6.25
Теория идеального винта	4.788	6.1	10.853	8.534
Эксперимент	5.1	0	10	0

По тяге можно оценить скорость в «горле» струи (Таблица 2).

**Таблица 2. Сравнение отношения площадей струи в плоскости винта и в «горле»**

Методика	$\frac{S_{\text{плоскость винта}}}{S_{\text{горло струи}}}$	$\delta_{\frac{S_{\text{плоскость винта}}}{S_{\text{горло струи}}}, \%$
Геометрический метод	1,66	16,67
Эксперимент	2	0

По результатам расчёта можно сказать, что теория идеального пропеллера завышает экспериментальные данные, но даёт хорошую оценку осевой скорости в «горле» струи. По теории идеального винта, значение осевой скорости завышено, но данная теория даёт приближенное к экспериментальному значение КПД. Чтобы повысить точность, нужно знать более точные значения площадей как в плоскости винта, так и в «горле» струи. По теории Сабинина-Юрьева расчёт не проводился, так как не было данных о геометрии лопасти ВВ: углы установки  $\phi(r)$  в каждом сечении лопасти, распределение хорды вдоль радиуса  $b(r)$ . Осевая скорость в горле струи  $V_2$  по теории идеального пропеллера даёт хорошее совпадение с экспериментом. Отношения площадей  $S_{\text{плоскость винта}}/S_{\text{горло струи}}$  вышло меньше экспериментального, так как была проведена грубая оценка площади кольца в «горле» струи.

По [3] результаты будем сравнивать по тяге и осевой составляющей скорости, возникающей в плоскости ВВ.

Рассмотрим Рисунок 2 [3] для определения тяги  $P$ , создаваемую ВВ:

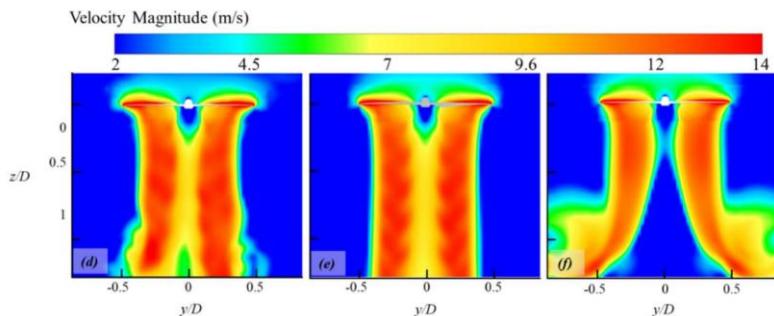


Рис. 2 – Распределение модуля скорости в окрестности ВВ

Оценку тяги и осевой составляющей скорости струи в плоскости винта будем производить по данным, полученным из эксперимента при режиме  $\lambda_0 = 0$ ,  $n = 6000$  об/мин,  $D = 0.24$  м (Таблица 3).

**Таблица 1. Сравнение результатов теоретических методик с экспериментальными данными [3]**

Методика	P, Н	$\delta_P, \%$	$V_1, \text{м/с}$	$\delta_{V_1}, \%$
Теория идеального пропеллера	5.12	27.99	6.84	16.47
Теория идеального винта	3.95	1,17	6,01	2,34
Эксперимент	4	0	5.87	0

На основе проведённого сравнительного анализа трёх классических теорий воздушного винта можно сделать следующие выводы.

Теория идеального пропеллера, являясь наиболее простой, даёт завышенные значения тяги (погрешность до 28% по данным [3]), но при этом обеспечивает приемлемую точность расчёта осевой скорости в «горле» струи (погрешность ~6%). Её можно рекомендовать для грубых, оценочных расчётов на начальных этапах проектирования, когда важна скорость, а не высокая точность.

Теория идеального винта продемонстрировала наилучшую сходимость с экспериментальными данными. Погрешность расчёта тяги составила 1.17%, а осевой скорости в плоскости винта – 2.34% по данным [3]. Учёт закрутки потока делает эту теорию физически более обоснованной и точной. Она является оптимальным компромиссом между сложностью и точностью для решения задач параметрического анализа и оптимизации.

Теория Сабинина-Юрьева не была верифицирована в полном объёме из-за отсутствия в рассмотренных статьях детальной геометрической информации о лопастях (распределения углов установки и хорд). Однако, поскольку данная теория учитывает реальную геометрию лопасти и аэродинамику профилей, она обладает наибольшим потенциалом для точного расчёта и оптимизации винтов со сложной геометрией.

Для достижения цели работы – оптимизации геометрии лопасти ВВ БПЛА «Сарма-2» – целесообразно использовать теорию идеального винта в качестве базового расчётного ядра. В дальнейшем метод должен быть дополнен проведением экспериментом и CFD-моделированием для получения точных данных о геометрии и аэродинамических характеристиках ВВ БПЛА «Сарма-2».

**Литература:**

1. Обуховский А. Д. Аэродинамика воздушного винта. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009. – 80 с.
2. Назаров Д. В., Кондрякова А. В. Исследование обтекания винта с применением численных и экспериментальных методов // Известия Самарского Научного Центра Российской Академии Наук. – 2018. – № 4-1. – С. 70–75.
3. Arafat M., Ishak I.A., Maruai N.M. Assessment of computational fluid dynamics simulation approach for the aerodynamic performance of small unmanned aerial vehicle propeller // Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences. – 2021. – Vol. 87, iss. 3. – P. 119–128. – DOI: 10.37934/arfmnts.87.3.119128.

## Секция КОНСТРУКЦИЯ И ДЕЙСТВИЕ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ И БОЕПРИПАСОВ

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ НА ОБРАЗОВАНИЕ ФЕСТОНОВ НА ОПЕРАЦИЯХ СВЕРТКИ

А. К. Абдразаков, аспирант; А. В. Гуськов, д.т.н., доцент.

Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск,

Научный руководитель: Гуськов А. В., д.т.н., доцент

*В статье рассматривается процесс образования фестонов при свертке листовых материалов. Основное внимание уделено влиянию анизотропии механических свойств материала на возникновение этого дефекта. Проведен анализ при помощи компьютерного моделирования для прогнозирования условий образования фестонов.*

*The article discusses the process of festoon formation during the folding of sheet materials. The main attention is paid to the effect of the anisotropy of the mechanical properties of the material on the occurrence of this defect. The analysis was carried out using computer modeling to predict the conditions of festoon formation.*

В процессе массового производства оболочек пуль на операциях вытяжки полуфабрикатов из материалов, образуются дефекты в виде неровности краев – фестоны и впадины, а также разную толщину стенок сформированной заготовки. При наличии данных видов неровностей возникает необходимость введения в технологический процесс изготовления операции обрезки, что приводит к снижению коэффициента использования материала и удорожанию себестоимости изделия, а также контроль разностенности с отбраковкой заготовок по допустимому значению.

В связи с этим ставится вопрос исследования влияния факторов на возникновение дефектов в виде фестонов. Для определения влияния одного из факторов -анизотропии свойств материала, рассмотрим:

- смоделирован процесс свертки пульной оболочки калибра 12,7мм без учета анизотропии свойств материала, т.е. изотропного материала.

- смоделирован процесс свертки пульной оболочки калибра 12,7мм с учетом анизотропии свойств материала.

Для определения образования дефектов в виде фестонов рассмотрена типовая операция свертки. Свертка представляет собой осесимметричный процесс превращения плоской заготовки в полуяймо любой формы. В процессе вытяжки кольцевая часть заготовки превращается в цилиндр. Рассмотрим первый вариант моделирования

свертки пульной оболочки без учета анизотропии свойств материала-заготовки.

Основные этапы моделирования: Шаг 1: Подготовка геометрических моделей Импорт из CAD-систем 3D-модели. (рис.1).

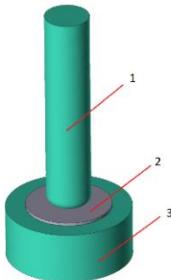


Рис.1. Начальное положение рабочего инструмента и заготовки для операции свертки 1- пуансон; 2-заготовка; 3-матрица

Шаг 2: Определение свойств материалов. Материал-заготовки- DC04 (1-0338) cold. Материал рабочего инструмента (матрица и пуансон)-сталь 40Х. Подбирают материал по механические свойствам (предел текучести в зависимости от температуры, деформации и скорости деформации), тепловым свойствам. Шаг 3: Задание технологических параметров · Температуры: начальная температура заготовки и инструмента- (20°C). · Параметры оборудования: усилие для гидравлического пресса- 40MN. Шаг 4: Построение сетки конечных элементов. Программа автоматически генерирует сетку на заготовке. Важно обеспечить достаточную густоту сетки в зонах ожидаемой большой деформации для повышения точности расчета.

Свёрнутый колпачок выглядит следующим образом (рис.2)

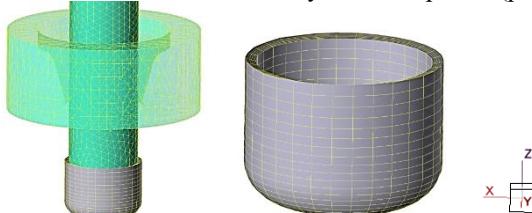


Рис.2. Колпачок после операции свертки

«Идеальная» оболочка, вытянутая из изотропного материала, выглядит следующим образом: 1- Отсутствие фестонов: Край дульца после обжима был бы ровным и аккуратным, без загибов наружу. 2- Идеальная концентричность: Толщина стенки была бы абсолютно

одинаковой по всей окружности. 3- Высшая кучность: Отсутствие эксцентрикитета массы напрямую ведет к минимальному разбросу. 4- Стабильность процесса: Резко снизился бы процент брака (трещин, разрывов) при вытяжке.

Рассмотрим второй вариант моделирования свертки пульной оболочки с учетом анизотропии свойств материала. Исходные данные идентичны с первым вариантом задачи. Различие в условии пластичности (рис. 3).

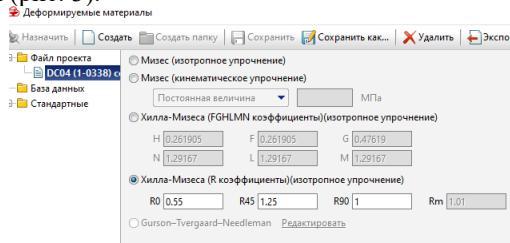


Рис.3. Условие пластичности

Свёрнутый колпачок выглядит следующим образом (рис.4)

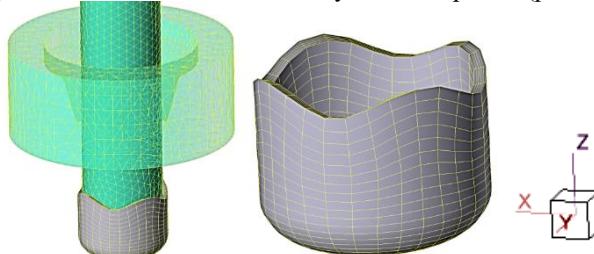


Рис.4. Колпачок после операции свертки

Как видно на рис. 4 при свертке и вытяжке анизотропия проявляется в образовании фестонов, что вызывает необходимость в обрезке края детали и потери металла, что отрицательно оказывается на коэффициенте использования материала.

#### Заключение

Вытяжка оболочки пули без анизотропии свойств материала в чистом виде невозможна в промышленности. Однако современные технологии ищут пути эффективного управления микроструктурой металла с помощью термической обработки и совершенной технологии деформации, чтобы готовое изделие вело себя практически как изотропное. Поэтому, когда говорят о высококачественных пулях для

целевой или снайперской стрельбы, по сути, говорят о продукте, где влияние анизотропии свойств материала было сведено к абсолютному минимуму. Борьба с фестонами является неотъемлемой частью производства высококачественных боеприпасов, где требуется идеальная геометрия и высочайшая кучность

**Литература:**

1. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. Изд. «Машиностроение», 1965, 788с.
2. Абдразаков А. К., Гуськов А. В.; Милевский К. Е., Пушкарев А. А. Определение факторов, влияющих на кучность стрельбы патрона 8,6x69мм// Наука Промышленность Оборона: труды XXII Всероссийской научно-технической конференции: в 4 т. / коллектив авторов; под редакцией С.Д. Саленко. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2021.
3. Малов А. Н. Производство патронов стрелкового оружия. М: Оборонгиз. 1947.
4. Агеев Н. П., Зиновкина В. И., Масляева Н. М. Справочник по технологии патронного производства. Том 1, –СПб., 2011г.
5. Йунис К. М. Вытяжка листовых материалов с плоскостной анизотропией механических характеристики: дис/ канд. Техн. Наук: 05.03.05/-Тула, 2003-176с.
6. Адамеску Р. А., Гельд П. В., Митюшов Е. А. Анизотропия физических свойств металлов. М.: Металлургия- 1985-136с.

## **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ПОСТАНОВКИ ПРЕДНАМЕРЕННЫХ ПОМЕХ**

**М. И. Астафьев**

**Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, mikhail.astafev.02@mail.ru  
Научный руководитель: Хребтова М. С., к.т.н.**

*В данной статье проведено исследование основных принципов развития систем постановки преднамеренных помех и комплексов оптико-электронного противодействия. Показано, что современные противокорабельные ракеты нового поколения способны селектировать объекты с высокой точностью, а это оказывает значительное влияние на развитие средств противодействия.*

*This article examines the main principles of developing systems for generating intentional interference and complexes of electro-optical countermeasures. It is shown that modern next-generation anti-ship missiles are capable of accurately selecting targets, which has a significant impact on the development of countermeasure systems.*

История разработки комплексов активной защиты берет свое начало в СССР на рубеже 70-х годов. В этот период термином «активная защита» впервые стал обозначать бортовой противоракетный комплекс, который решал задачу отражения атак, основываясь на своевременном обнаружении угрозы и встречном отстреле контробоеприпаса. Это стало важным шагом вперед в области защиты военной техники, так как активная защита предоставляет возможность не только реагировать на угрозы, но и активно противодействовать им.

Комплекс оптико-электронного противодействия представляет собой еще один важный элемент системы защиты, обеспечивая помеховое воздействие на информационные каналы устройств управления УО. Целью этого воздействия является нарушение процесса наведения атакующего боеприпаса, что, в свою очередь, приводит к его отклонению от цели. Это создает необходимость в разработке изделий-постановщиков помех, которые обеспечивают защиту боевой единицы в соответствующих диапазонах длин волн, на которых производится наведение. На сегодняшний день разработаны и успешно функционируют комплексы противодействия ВТО, которые способны работать с активными радиолокационными, лазерными полуактивными и телевизионными головками самонаведения (ГСН).

В условиях современного ведения боя на вооружение ряда зарубежных стран поступили противокорабельные ракеты (ПКР) с ГСН нового поколения. В них реализовано сочетание различных методов наведения, использование большого числа различных диапазонов длин волн, получение детального изображения наблюдаемого объекта, обработка и сравнение наблюдаемого изображения с эталонными изображениями истинных целей математическими методами теории распознавания образов, а в последнее время и с использованием искусственного интеллекта, прогнозирование ожидаемого местоположения цели при применении средств противодействия. [2]

В связи с этим задача по разработке общего облика и требований к комплексным системам обнаружения целей в составе комплексов постановки помех становится все более актуальной.

Во всех видах вооруженных сил России стоят на вооружении комплексы постановки пассивных помех.

В авиации для защиты летательных аппаратов от управляемых ракет применяются системы пассивных помех УВ-5, УВ-26М, УВ-30 с помеховыми патронами калибра 26 мм, 50 мм и 140 мм.

В сухопутных войсках для защиты военной техники от управляемого оружия применяется комплекс оптико-электронного противодействия «Штора-1».



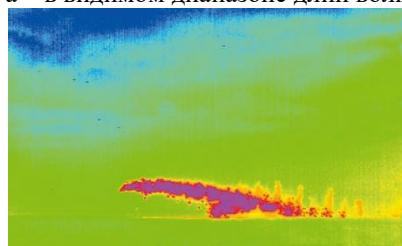
Рис.1 – Комплекс оптико-электронного противодействия «Штора-1»

На кораблях военно-морского флота России применяются комплексы выстреливаемых пассивных помех ПК-10 и КТ-308 с широкой номенклатурой боеприпасов пассивных помех для постановки ложных целей (ЛЦ) и маскирующих завес (МЗ). [1]

На рисунке 2 приведен пример использования ПХЭ в составе изделий с целью обеспечения защиты надводных кораблей среднего водоизмещения. Показана постановка АО боеприпасом (1) и сформировавшееся аэрозольное облако продуктов горения ПХЭ (2) на моменты начала и конца существования АО соответственно.



а – в видимом диапазоне длин волн



б – в инфракрасном диапазоне длин волн.

1 – устанавливаемая аэрозольная завеса;

2 – сформировавшаяся аэрозольная завеса.

Рис. 2 – Применение пластинчатых химических элементов в составе боеприпасов помех для защиты надводных кораблей.

В настоящее время в реальных боевых действиях в условиях специальной военной операции наиболее успешное применение пассивных помех происходит в авиации. Эффективности применения пассивных помех способствует наличие на борту летательных аппаратов бортовых комплексов обороны, предназначенных для предупреждения экипажа о радиолокационном и лазерном облучении, обнаружения ультрафиолетовыми пеленгаторами факта пуска по нему управляемых ракет, и его оснащение станциями радиолокационного и оптико-электронного подавления и устройствами выброса пассивных помех. Комплекс может работать в автоматическом режиме без участия оператора, лишь информируя о ракурсе атаки и характере угрозы (фактах пуска ракет, радиолокационном или лазерном облучении с идентификацией лазерных средств наведения и дальномерии противника), а также о принятых мерах противодействия и об оставшихся средствах защиты [3].

Главным фактором эффективности применения пассивных помех в авиации является постоянная боевая готовность, как бортового оборудования, так и экипажа летательного аппарата в течение всего времени боевого вылета. Немаловажную роль играет тактика превентивной постановки пассивных помех в моменты наиболее вероятного применения управляемых ракет по летательному аппарату.

Таким образом, эффективность применения пассивных помех определяется не только их характеристиками, но также зависит от степени постоянной боевой готовности защищаемого объекта к отражению возможных атак, комплексной системы своевременного обнаружения факта угрозы, непрерывного контроля окружающего пространства защищаемого объекта и тактики их применения.

Проведенные исследования современной картины постановки средств помех показывают их актуальность с точки зрения обеспечения безопасности защищаемых объектов. Тем не менее, в связи с тем, что современные высокоточные средства поражения обладают широчайшими возможностями по обнаружению объектов, данное направление разработки требует значительной модернизации.

#### Литература:

1. Юровский Е. К. Выстреливаемые средства радиоэлектронного противодействия для защиты надводных кораблей от управляемого оружия: монография / НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ ВУНЦ ВМФ «ВМА». – СПб, 2015. – 32 с.
2. Куприянов А. И., Шустов Л. Н. Радиоэлектронная борьба. Основы теории. – Москва: Вузовская книга, 2011. – 511 с.

3. Балаганский И. А., Мержиеvский Л. А. Действие средств поражения и боеприпасов – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017.

## СРАВНЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО РАСЧЁТА ПРОБИТИЯ СТАЛЬНОЙ ПРЕГРАДЫ С ЧИСЛЕННЫМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ В СИСТЕМЕ ANSYS AUTODYN

А. В. Вашетин, А. И. Цыбрий, К. М. Зубашевский  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, avashetin@bk.ru

*В работе проведено сравнение моделирования в системе ANSYS Autodyn с расчётами по аналитическим уравнениям для пробития осколком сферической формы стальной преграды толщиной один миллиметр. В результате расчётов было получено, что результат численного моделирования отличается от расчёта по аналитическим уравнениям на 2,59%.*

*The paper compares modeling in the ANSYS Autodyn system with calculations based on analytical equations for the penetration of a spherical fragment through a one-millimeter-thick steel barrier. The calculations show that the numerical modeling result differs from the analytical equation calculation by 2.59%.*

Определение толщины пробития является важной задачей при расчёте осколочного действия и проектировании осколочных боеприпасов. Но не всегда является возможным определить стальной эквивалент экспериментальным путем. Поэтому в работе было проведено сравнение уравнения убойной скорости с численным моделированием в системе ANSYS Autodyn.

Для этого в данной работе были проведены расчеты предельной скорости пробития для пробития стальной преграды толщиной 1 мм. Для расчета предельной скорости пробития использовалось следующее уравнение:

$$V_{ncn} = 145 \frac{h_{cm}^3 \Phi}{m^{1/3}} \quad (1)$$

Где:  $h_{cm}^3$  – толщина эквивалентной стальной преграды;

$\Phi$  - параметр формы осколка;

$m$  - масса осколка.

Так как рассчитывалось пробитие стальной преграды толщиной 1 мм, то  $h_{cm}^3 = 1$ . В качестве поражающего элемента был взят стальной шар диаметром 3мм для которого параметр формы  $\Phi = 1,31$  [1, с. 51].

Приняв диаметры и материал осколка его массу можно определить, как:

$$m = \rho \times \frac{4}{3} \pi r^3 \quad (2)$$

Где:

$$\rho = 7,8 \text{ г/см}^3$$

$$r = 1,5 \text{ мм}$$

Таким образом по уравнению 2 при диаметре поражающего элемента 3 мм и плотности 7,8 г/см<sup>3</sup> масса поражающего элемента *m* равняется 0,111г., а пробитие стальной преграды толщиной 1 мм стальным поражающим элементом данной массы достигается при скорости, рассчитанной по уравнению 1 равной 395,24 м/с.

Сравним полученные данные о скорости с значением полученным численным моделированием. Для сравнения было проведено численное моделирование процесса пробития стальной преграды толщиной 1 мм стальным шаром диаметром 3 мм. Моделирование проводилось в ANSYS Autodyn при следующих параметрах:

размер ячеек  $0,025 \times 0,025$  см

скорость подхода к преграде 395,24 м/с

размер пластины  $12 \times 0,1$  см

расстояние от ударника до преграды равно двум ячейкам

Так как уравнение, использованное ранее в расчётах, справедливо для низкоуглеродистых качественных сталей, для моделирования в ANSYS Autodyn, в качестве материала преграды и поражающего элемента была выбрана модель материала STEEL 1006, как наиболее близкая по механическим свойствам к низкоуглеродистым сталим. Отечественным аналогом материала STEEL 1006 является марка стали 08kp.

Постановка задачи представлена на рисунке 1.

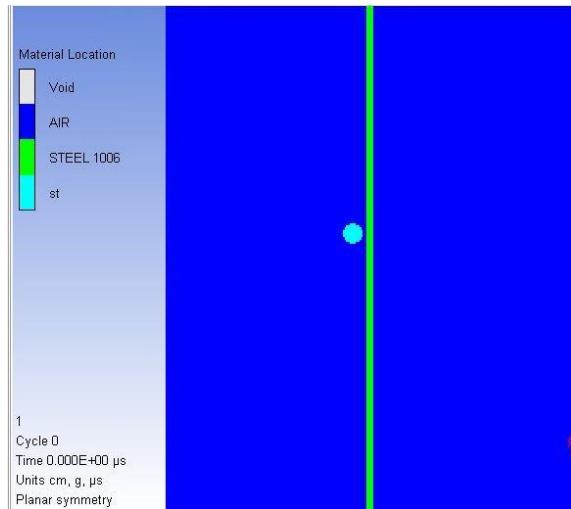


Рис. 1 Расчётная модель

По результатам моделирования получено пробитие пластины шириной 1мм.

Для определения минимальной необходимой скорости для пробития выбранной стальной преграды были проведены дополнительные моделирования данного процесса при скоростях подхода поражающего элемента к преграде 390 м/с, 385 м/с, 383,75 м/с, 382,5 м/с и 380 м/с. При этом отслеживалась скорость поражающего элемента после пробития стальной преграды. Таким образом при скорости подхода к преграде 385 м/с было получено пробитие стальной пластины толщиной 1 мм при котором скорость поражающего элемента после пробития резко снизилась. Это означало, что осколок потратил большую часть энергии. И скорость подхода к преграде 385 м/с является минимальной необходимой для пробития стальной преграды толщиной 1 мм стальным шаром диаметром 3 мм. График изменения скорости сферического поражающего элемента представлен на Рис.2.

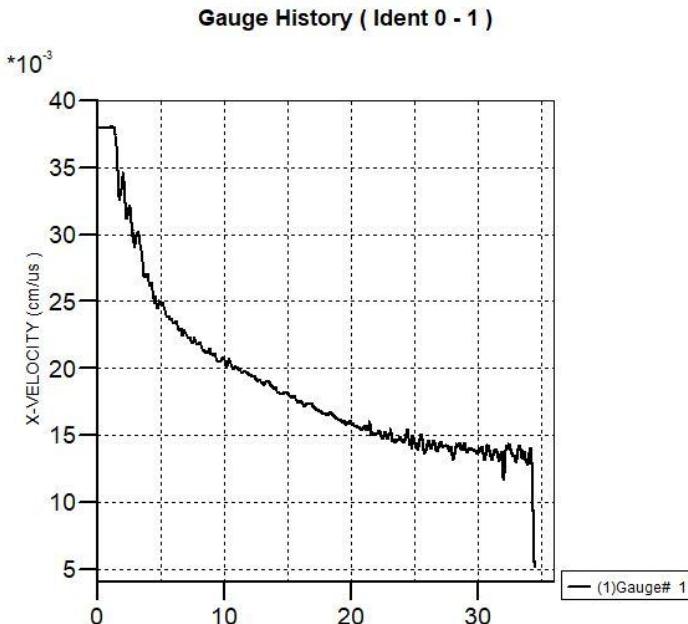


Рис.2 Динамика изменения скорости ударника при начальном значении 385 м/с

Моделирование процесса пробития стальной преграды сферическим стальным поражающим элементом при более низких скоростях привело к отсутствию пробития пластины. Скорость ударника при этом постепенно снижалась до минимума.

Сравнивая предельную скорость пробития, полученную в результате численного моделирования в ANSYS Autodyn и по формуле 1 можно сказать, что расхождение в расчетах составляет 2,59%.

#### Заключение.

В ходе сравнения двух методов расчёта убойной скорости выявлено, что расчёт по формуле и моделирование в системе ANSYS Autodyn имеют расхождение в результатах решения равное 2.59%. Таким образом, можно сделать вывод о том, что система ANSYS Autodyn выдает приемлемые результаты. Соответственно, возможно применение данной системы для решения задач, связанных с оценкой толщины пробития различных целей. Также весомым плюсом численного моделирования является доступ не только к данным на начало и конец испытания, но и в любой момент протекания процесса.

## Список литературы

1. Боеприпасы : учебник : в 2 т. / А. В. Бабкин, В. А. Велданов, Е. Ф. Грязнов [и др.]; под общей ред. В. В. Селиванова. - Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. Т. 1. - 506, [6] с.: ил. - ISBN 978-5-7038-4238-6
2. Действие средств поражения и боеприпасов: учебное пособие / И. А. Балаганский, Л. А. Мержьевский. — 2-е изд., испр. и доп. — Новосибирск: НГТУ, 2017. — 408 с. — ISBN 978-5-7782-3139-9. — [Электронный ресурс] // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/118143> (дата обращения: 24.11.2025).
3. Марочник стали и сплавов – зарубежные аналоги [Электронный ресурс]. — URL: [http://m-s-s.ru/mar/analog/zm\\_tabl\\_eng\\_13.php.htm](http://m-s-s.ru/mar/analog/zm_tabl_eng_13.php.htm) (дата обращения: 26.11.2025).

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ХРОНОГРАФОВ В УЧЕБНОМ ЛАБОРАТОРНОМ СТЕНДЕ.

**Р. С. Герасименко**

**Новосибирский государственный технический университет,**

**г. Новосибирск, ruslangerasimenko7@gmail.com**

**Научный руководитель: Зубашевский К. М., ст.преп.**

*В работе рассмотрены основные виды баллистических хронографов и описаны принципы их работы, произведён сравнительный анализ их возможностей и ограничений с целью выбора наиболее подходящего типа измерителя для дальнейшего изготовления учебной лабораторной баллистической трассы.*

*The paper reviews the main types of ballistic chronographs and describes their operating principles. A comparative analysis of their capabilities and limitations has been carried out to select the most suitable type of measuring device for the subsequent development of an educational laboratory ballistic track.*

### Введение.

В процессе обучения студентов по направлениям, связанным с баллистикой, аэродинамикой, боеприпасами и системами вооружения одним возникает необходимость разработки и использования различных лабораторных стендов, в первую очередь – баллистических трасс. Подобные стенды позволяют проводить лабораторные работы с метанием различных тел и снятием таких параметров их полета, как скорость на различных участках, траектория полета. Вне зависимости от конструкции трассы одним из ключевых ее элементов является прибор

регистрации скорости, обычно называемый хронографом [1]. Именно он измеряет важнейший баллистический параметр метаемого тела – скорость (начальную, на траектории или скорость подхода), определяющую особенности траектории его полёта и используемую в основных баллистических расчётах.

Сравнительный анализ существующих решений.

Распространены три основных конструкции хронографов – наствольный, рамочный и рогаточный. По принципам действия можно выделить использование магнитных полей, эффекта Доплера и оптопар.

Принцип работы магнитных хронографов основан на изменении магнитного поля системы при прохождении рядом с датчиком метаемого тела. Чаще всего такой принцип имеют наствольные хронографы (рис. 1), представляющие собой дульную насадку, прикрепляемую на метательную систему.



Рис.1 Наствольный хронограф

При сравнительной компактности и удобности подобных измерителей, они не лишены ряда недостатков, в первую очередь, ограничений по материалам и габаритам метаемого тела. В частности, подобные измерители не позволяют корректно регистрировать прохождения тел из диамагнетиков и диэлектриков [2]. Данный недостаток не позволяет использовать в условиях учебной лаборатории, где метать металлические тела зачастую небезопасно, а также с нествольными системами метания.

Другой эффект, применяемый для измерения скорости – эффект Доплера. Суть эффекта Доплера заключается в изменении длины волны, отражающейся от тела при его движении вдоль направления распространения колебания [3]. Основанный на нем принцип работы зачастую применяется в рамочных хронографах (Рис. 2) представляющих собой оптические приборы, состоящие из двух плат – верхней и нижней. На нижней плате расположены излучающие инфракрасные светодиоды, на верхней инфракрасные фотодиоды и микроконтроллер,

регистрирующие изменение длины волны при пролёте метаемого тела сквозь рамку.



Рис. 2 Рамочный хронограф

При сравнительно больших габаритах они способны производить замер тел произвольной формы из любых материалов, однако на точность их измерений может влиять внешняя освещённость, что формирует систематическую погрешность.

Оптические баллистические хронографы (рис. 3) представляют собой измеритель скорости на основе двух оптопар. Скорость тела рассчитывается как отношение расстояния между оптопарами ко времени пролёта метаемого тела между первой и второй парами. Такой принцип применяется как в рамочных, так и в рогаточных конструкциях хронографов.



Рис. 3 Оптический рогаточный хронограф

Оптические хронографы обладают схожими с доплеровскими достоинствами и недостатками. Следует отметить дополнительную погрешность в их измерениях, возникающую при не параллельности траектории метаемого тела корпусу хронографа. Это приводит к увеличению фактической длины траектории полёта тела между оптопарами, что не учитывается самим прибором и занижает его

показания. В то же время подобные приборы обладают исключительной простотой конструкции.

Классическим способом измерения скорости в баллистике является применение баллистического маятника (рис. 4А). В основе данного способа лежит измерение энергии метаемого тела путём оценки величины его воздействия на объект известной массы при их абсолютно неупругом взаимодействии. В качестве оцениваемого параметра выступает или величина отклонения маятника, или сигнал с тензодатчика баллистического регистратора [4].

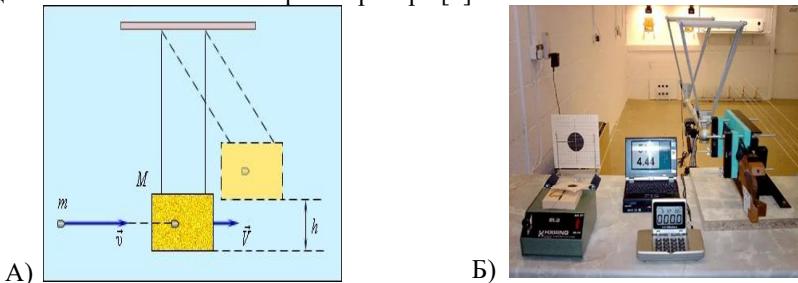


Рис 4 – А) Схема баллистического маятника. Б) Испытательный стенд на основе баллистического маятника

К недостаткам подобных устройств относится сложность использования, большие габариты, значительные погрешности и ограничения по возможным параметрам применяемой баллистической системы. Кроме того, это устройство не позволяет оценить начальную скорость на выходе из метательного устройства, так как метающее тело (например, сжатый газ) будет передавать маятнику дополнительную энергию, искажая результат. Однако, так как баллистический маятник позволяет определить скорость подхода тела к преграде, его можно использовать в лабораторном стенде (рис. 4Б) одновременно в качестве пулеуловителя.

#### Заключение.

Благодаря сравнительно малому числу факторов, вносящих погрешности в измерения, принцип действия доплеровского хронографа позволяет применять его для большинства метательных систем и тел разных материалов и форм. Габариты и масса устройства делают возможным легко производить замеры на разном удалении от метательной системы, что оптимально для использования в составе лабораторных трасс. Однако, если конструкция готового хронографа не позволяет применить его в лабораторном стенде, и возникает необходимость его самостоятельного изготовления, наиболее

подходящим принципом измерения скорости будет оптический, так как он имеет наиболее простую реализацию – не требует вычислительного блока и измерителя частоты отраженного от метаемого тела излучения.

Литература:

- 1) Горбунов А. С. Способы регистрации скорости на баллистических трассах и определение основных баллистических характеристик летящего тела / А. С. Горбунов, А. С. Дьячковский // Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики - 2023: Материалы XII Всероссийской научной конференции с международным участием, Томск, 15–17 ноября 2023 года. – Томск: Томский государственный университет, 2023. – С. 228-233. – EDN NHWDCY.
- 2) Айрапетян В. С. Устройства для измерения скорости боеприпасов / В. С. Айрапетян, С. Г. Губин // Вестник Сибирской государственной геодезической академии. – 2013. – № 1(21). – С. 73-78. – EDN QBBFVF.
- 3) Мараховский Д. В. Эффект Доплера / Д. В. Мараховский, Д. В. Леонтьева // Материалы Научной сессии: Сборник материалов. В 2-х томах, Волгоград, 23–27 апреля 2018 года / Редколлегия: А.Э. Калинина [и др.]. Том 2. – Волгоград: Волгоградский государственный университет, 2018. – С. 200-201. – EDN ZAJKMP.
- 4) Смирнов В. Г. Исследование оптимальных параметров баллистического маятника / В. Г. Смирнов, А. А. Гуреев, В. А. Жданов // Россия молодая: Сборник материалов XII всероссийской, научно-практической конференции молодых ученых с международным участием, Кемерово, 21–24 апреля 2020 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2020. – С. 63707.1-63707.6. – EDN HJQFME.

## СПОСОБЫ ПОРАЖЕНИЯ БПЛА

С. А. Гладков, А. И. Цыбрий

Новосибирский государственный технический университет  
г. Новосибирск, orangeyellow861@gmail.com

В данном литературном обзоре способов поражения БПЛА описаны имеющиеся средства, которые были разработаны в различных странах, в их силовых ведомствах, их достоинства и недостатки, а так же выделены наиболее перспективные способы для различных типов БПЛА и различных ситуаций их применения

*This literature review of methods for destroying UAVs describes the existing means that have been developed in various countries and their respective security agencies, as well as their advantages and disadvantages. It also highlights the most promising methods for different types of UAVs and different application scenarios.*

Целью работы является анализ имеющихся на сегодняшний момент средств противодействия БПЛА – это позволит сформировать целостное представление о современном состоянии и перспективах развития этой критически важной области.

Важность работы заключается в том, что БПЛА активно используются на линиях боевого соприкосновения, а эффективное противодействие им остается проблемой.

На сегодняшний момент известно о 5 способах борьбы с БПЛА, некоторые из них имеют различные направления:

### 1. Огневое поражение средствами ПВО

Используются зенитные ракетные комплексы (ЗРК) и зенитные артиллерийские комплексы (ЗАК), такие как «Панцирь-С1», «Тор», «Бук». К недостаткам относятся низкая эффективность против малых и дешёвых БПЛА из-за их малой ЭПР (эффективной площади рассеяния), малых размеров, низкой скорости и способности к маневру, а применение дорогих ракет против дешёвых дронов экономически нецелесообразно. В условиях групповой атаки («роя») ПВО быстро исчерпывает боезапас [1].  
**Достоинства:** Такие системы уже созданы, и возможно создание подходящей для этой задачи платформы на базе уже существующей системы. А также доказана эффективность против средних и больших БПЛА [1], что покрывает весомый спектр задач.

### 2. Радиоэлектронное подавление (РЭП)

Что используется: Станции радиоэлектронной борьбы (РЭБ). Основными целями воздействия являются: навигационные системы (GPS/ГЛОНАСС) - создание помех или ложных сигналов для срыва навигации; каналы управления и передачи данных - подавление радиосвязи между дроном и оператором, что приводит к потере

управления. **Перехват управления** - внедрение в канал связи для захвата контроля над БПЛА. **Достоинства** этого метода: часто более экономично и эффективно, чем огневое поражение, особенно против атак больших масс дронов; современные системы обеспечивают широкую номенклатуру помех, подбирая те из них, что подойдут под данный тип цели; формируют защиту на большой площади, поражая множество целей, но в том случае, если они имеют одинаковые поражаемые параметры [1]. Т.е. имеется возможность ставить заградительные помехи. **Недостатки:** в условиях мирного времени применение будет ограничено из-за соблюдения требований по электромагнитной совместимости с устройствами, защищаемыми на объекте; эффективность РЭП пропорциональна квадрату расстояния - будет убывать по мере удаления БПЛА от места расположения установки; заградительные помехи имеют низкую энергетическую эффективность. Формирование помех нужной частоты требует или заблаговременного вскрытия средствами РРТР структуры сигналов, или формирования баз данных сигналов, используемых врагом БПЛА, но не стоит забывать, что у БПЛА тоже есть средства радиолокационной защиты, а так же что перехват управления возможен исключительно для определенных типов БПЛА, которые были заранее изучены [1].

### **3. Функциональное поражение СВЧ-излучением**

**Что используется:** Генераторы мощного электромагнитного излучения (СВЧ-оружие). **Принцип действия:** использование однократных или многократных импульсных электромагнитных воздействий выводит из строя электронные компоненты БПЛА (бортовую электронику, систему управления) [1,2]. **Преимущества:** как заявлено автором, возможность поражения не излучающих БПЛА (тех, что могут не находиться под управлением оператора), а также метод является универсальным для всех типов БПЛА, т. к. бьет по базовым системам любого летательного аппарата. Эффективно против группы дронов. **Недостатки:** на данный момент технология является экспериментальной

### **4. Лазерное оружие**

**Что используется:** лазерные комплексы. **Принцип действия:** тепловое разрушение корпуса или критических систем БПЛА сфокусированным лазерным лучом, также вывод из строя электроники из-за ЭМИ излучения [1], которое образуется в результате формирования луча. Образование плазмы в точке контакта луча с обшивкой дрона. **Преимущества:** высокая скорость поражения, низкая стоимость одного выстрела, неограниченный «боезапас». Отсутствие ограничений в баллистике и дальности (при идеальных погодных условиях).

**Недостатки:** зависимость от оптической проницаемости среды; а также если БПЛА используют дымовую завесу, то эффективность сводится к нулю. Требуют высокой точности целеуказания (к примеру, от РЛС). Для поражения требуется удержать луч на цели определенное время, что на большой дальности и при хорошей маневренности цели является трудной задачей.

## 5. Другие способы

**БПЛА-перехватчики:** Специальные дроны для физического перехвата или уничтожения вражеских БПЛА (столкновением, сетями) [3]. **Сети:** запуск сетей для захвата и обездвиживания дрона.

**Кинетическое воздействие:** Использование специальных аэрозолей (клейких, горючих). **Акустическое подавление:** Воздействие на инерциальные системы наведения акустическими волнами – воздействие на гироскоп (менее распространено) [2].

**Маскировка и снижение эффективности БПЛА:** Пассивные меры, включая маскировку собственных объектов и создание помех для разведки.

### Эффективность:

ЗРК применим для защиты крупных гражданских, военных и промышленных объектов, но не на линии боевого соприкосновения (сразу станет целью артиллерии и наземных войск). Опыт боевого применения показывает, что целесообразно и эффективно применять этот метод против крупных единичных БПЛА. Работают комплексы ЗРК большинства стран в любых условиях, однако стоит подумать над удешевлением выстрела из такой системы, тогда экономически станет оправданно использование таких систем против роев и БПЛА с малой ЭПР.

РЭБ эффективен для защиты наземной техники (танки, БМП, БТР) и различных объектов от атак дешевых дронов (средних и малых), зачастую изначально коммерческих – большая доля всех БПЛА на поле боя. Работает так же без затруднений во всех погодных условиях. Требуется изучить возможность увеличить энергоэффективность заградительных помех, и подключить ИИ к системе распознавания и дешифровке каналов связи, и выявлению частот, на которых работают БПЛА противника. Тогда можно исключить одни из главных недостатков этого способа и сделать его универсальнее, а также включить в базовую систему защиты от БПЛА.

Про поражение СВЧ оружием можно заявить только то, что нужны исследования и эксперименты, т. к. технология не массовая в армиях стран, но считается, что она очень перспективна, поскольку способна в потенциале поражать любой дрон и в принципе любую электронику.

**Лазерное оружие** является перспективной разработкой, эффективно для защиты морских судов, зданий, военных баз и городов, т.к. нуждается в мощном источнике энергии. Сам по себе способен поражать все типы БПЛА, если решить техническую задачу с обнаружением и целеуказанием трудных целей. Однако, зависит от метеоусловий и прозрачности атмосферы.

Говоря про **кустарные способы защиты**, применяемые на местах военнослужащими, можно выделить: применение различных гладкоствольных ружей; электронных ружей, работающих по принципам РЭП; для защиты техники применяются сетки и экраны, эффективные от кумулятивного снаряда, часто подвешиваемого на дрон для поражения ОБТ (однако сковывающие их обзор) [4].

#### Заключение

Была изучена тематическая литература, выделены перспективные способы поражения, их преимущества и недостатки, а также выявлены потребности по улучшению. Была рассмотрена эффективность каждого способа.

Важными параметрами являются: дешевизна противодействия и изготовления оборудования для его исполнения, эффективность на поле боя, уменьшение энергопотребление сил и средств противодействие.

Основными недостатками являются: низкая экономическая эффективность (например, в случае противодействия ЗРК малым БПЛА) и малая энергетическая эффективность (к примеру, в случае постановки заградительных помех средствами РЭП)

Для защиты личного состава от множества малогабаритных дронов не подходит не один метод, ввиду отсутствия малых и мощных источников питания, необходимых для РЭП, лазерного оружия и СВЧ. Поэтому требуются более дешевые и эффективные средства для бойцов.

Требуется доработать существующие методы или создать новые для защиты техники и личного состава, важных объектов от массированных атак роев БПЛА.

Защита от БПЛА в их современном применении будет эффективна только в совокупности совместимых методов. Не стоит рассчитывать на 1 метод, они должны быть объединены в комплекс [5].

#### Литература:

1. Макаренко С. И. Противодействие беспилотным летательным аппаратам / С. И. Макаренко. – Санкт-Петербург: Издательство «Наукоемкие технологии», 2020. – 204 с. – ISBN 978-5-6044793-6-0. – EDN YSBRZJ.

2. Лопин Г. А. Развитие средств борьбы с беспилотными летательными аппаратами / Г. А. Лопин, Г. И. Смирнов, И. Н. Ткачев // Военная мысль. – 2023. – № 1. – С. 42-50. – EDN UYGMZW.
3. Скиба В. А. Анализ методов и средств противодействия беспилотным летательным аппаратам в интересах Ракетных войск стратегического назначения / В. А. Скиба, А. А. Кузьмин // Военная мысль. – 2021. – № 11. – С. 104-114. – EDN XFQJQI.
4. Противодействие БПЛА в условиях боя / Д. А. Петров, В. С. Воробьев, А. А. Биндюг, Е. С. Терещенко // Вопросы науки и образования. – 2024. – № 12(184). – С. 64-69. – EDN AHORYM.
5. Тикшаев В. Н. Проблема борьбы с беспилотными летательными аппаратами и возможные пути ее решения / В. Н. Тикшаев, В. В. Барвиненко // Военная мысль. – 2021. – № 1. – С. 125-132. – EDN GOSQAP.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КУМУЛЯТИВНОГО ЭФФЕКТА

В. А. Гуськов<sup>1</sup>, К. М. Зубашевский<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>Новосибирский государственный технический университет,

<sup>2</sup>Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН,  
г. Новосибирск

*В работе рассмотрены основные методы исследования кумулятивного эффекта и определены их достоинства и недостатки, а также области применения и получаемые параметры.*

*The paper considers the main methods of studying the cumulative effect and identifies their advantages and disadvantages, as well as the areas of application and the resulting parameters.*

Кумулятивный эффект — существенное повышение местного действия взрыва в некотором направлении [1]. Этот эффект достигается применением заряда с конической выемкой, основание которой обращено в сторону поражаемого объекта, а детонатор располагается у вершины выемки. Поверхность заряда со стороны выемки покрывается металлической облицовкой, толщина которой варьируется от долей миллиметра до нескольких миллиметров.

Процесс кумуляции является высокоскоростным, протекающим со скоростями порядка единиц и десятков километров в секунду, что требует специальных методов и оборудования для исследования как в научных целях, так и при проведении испытаний кумулятивных зарядов. Далее рассмотрены основные методы исследования процесса кумуляции.

На рисунке 1 приведены примеры изображений, полученные методами импульсной рентгенографии и высокоскоростной съемкой.

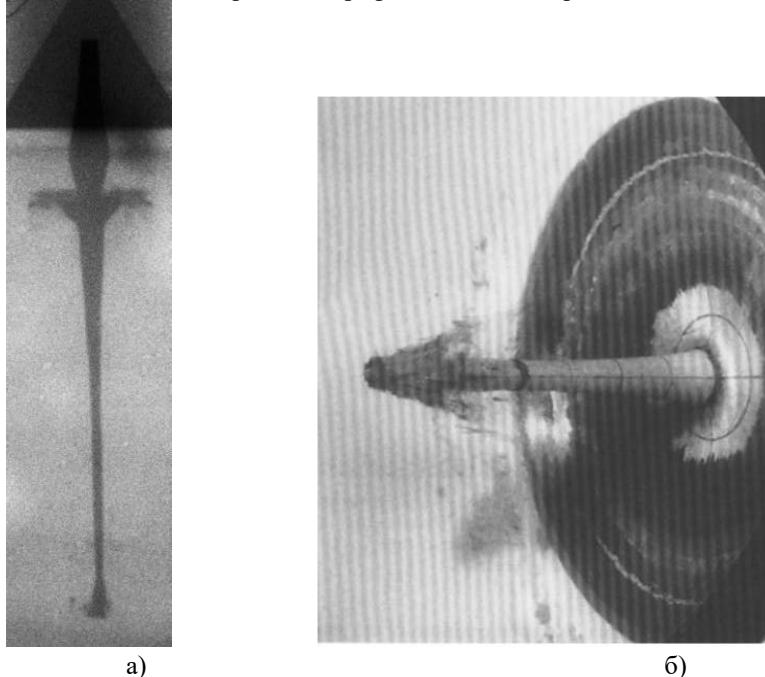


Рис. 1. - Результаты съемки процесса кумуляции:  
а) рентгеноимпульсная съемка, б) высокоскоростная оптическая съемка

Импульсная рентгенография остаётся основным методом фиксации геометрии струи и песта в полёте (рис. 1а). Одно-двух- и многокадровые установки (включая синхротронные источники) дают временное разрешение 20–50 нс и пространственное 20–50 мкм. Метод позволяет измерять профиль струи, градиент скорости, диаметр, наличие центрального отверстия, количество и ориентацию складок потери устойчивости облицовки, начало фрагментации и отклонение от симметричности.

Другой метод – высокоскоростная оптическая съемка на специальные многокадровые камеры с частотой до  $10^7$  кадр/с (рис. 1б). Такая съемка и двойная ортогональная синхробаллистическая съёмка позволяют наблюдать за внешней поверхностью склонывающейся облицовки и ранними стадиями струеобразования. [2].

Для проведения металлографического и микроструктурного анализа элементов кумулятивной струи и песта они сначала улавливаются воде, пенопластом или смесью песка и опилок. Продольные и поперечные шлифы исследуются световой и электронной микроскопией, измеряется микротвёрдость, проводится мультифрактальный анализ и определение текстуры. Метод выявляет размер и форму зёрен, динамическую рекристаллизацию, переход границ зёрен в квазижидкое состояние, волновые возмущения у центрального отверстия и достигнутые пластические деформации. [3]

Для измерения средней температуры струи описан термопарный метод измерения с применением биметаллических облицовок (медь–константан), образующих термопару в момент соударения с мишенью, таким образом были зафиксированы температуры 600–800 °С в медной струе. Кроме того, для измерения поверхностной температуры струи описано применение пирометра, что показало диапазон температуры от 400 до 7000 °С на поверхности струи в вакууме. [4].

Протонная и нейтронная радиография при возможности использования ускорителей заряженных частиц позволяют получать изображения струи без рассеяния на продуктах детонации и воздухе. Обеспечивают высокую контрастность плотностных неоднородностей и используются для верификации наличия центрального отверстия и дефицита плотности в струе. [5]

Современные синхротронные источники дают возможность трёхмерной томографии формирующейся струи с разрешением до 1 мкм и частотой до 1 МГц. Позволяют наблюдать внутренние полости, складки и неоднородности в реальном времени [1].

Перечисленные методы дополняют друг друга: рентгенография и оптика показывают параметры, связанные с кинематикой, металлография — конечное состояние материала, численное моделирование — полные поля параметров, а специализированные оптические и термопарные методы — локальные температуры и скорости.

Параллельно с натурными методами исследования кумуляции активно применяются различные системы для численного моделирования (AUTODYN, LS-DYNA, ANSYS Explicit, ALEGRA, IMPETUS Afea, отечественных ЭФЕС и ЛОГОС). В этих системах учитываются уравнения состояния, модели прочности, вязкопластичность и даже парообразование. Численные методы моделирования дают полные поля множества параметров (давление, скорость, температура и др.) в любой момент времени и на настоящий момент являются практически единственным способом подробного изучения процессов внутри кумулятивной струи. [6]

Описанные методы исследования процесса кумуляции приведены в таблице 1.

**Таблица 1. Методы исследования процесса кумуляции**

Метод	Временное разрешение	Пространственное разрешение	Регистрируемые процессы, элементы и параметры	Преимущества	Ограничения
Импульсная рентгенография	20–50 нс	20–50 мкм	Профиль струи, градиент скорости, диаметр, наличие и геометрию складок, центрального отверстия, фрагментации струи	фиксация внешней и внутренней геометрии струи и песта	Использование опасного излучения, высокая стоимость установки
Высокоскоростная оптическая регистрация	$10^{-8}$ – $10^{-9}$ с	50–100 мкм	Траектория, угловая скорость, объемная геометрия струи и песта, непрерывная осевая скорость	Простота реализации, наглядное представление процесса	Регистрация только поверхности оболочки
Металлографический и микроструктурный анализ	Проводится в статике	0,1–1 мкм	Структура зёрен, микротвёрдость, степень деформации, фазовое состояние металла	Прямые данные о конечном состоянии материала	Анализ только уловленных фрагментов струи

Термопарный метод и пиromетрия	$10^{-6}$ – $10^{-7}$ с	—	Средняя и поверхностная температура струи	Простота, точность при снятии показаний у термопарного метода	Для термопарного метода — малая точность измерений
Численное моделирование	Задаётся пользователем	1–10 мкм	Полные поля скорости, температуры, плотности, напряжений, деформаций и др. в любой момент времени	Доступ ко всем параметрам любой момент времени, наименьшие затраты на проведение моделирования по сравнению с экспериментальными	Неполное представление о процессе из-за неполного описания моделей

### Заключение

Рассмотренные в работе методы позволяют проводить исследования процесса кумуляции с различных сторон и определять целый спектр параметров кумулятивной струи и песта как во время работы кумулятивного заряда, так и после. Наиболее распространенный метод – численное моделирование, так как он позволяет работать с большим количеством параметров практически на всем протяжении работы кумулятивного заряда без необходимости проводить натурные испытания.

### Литература:

1. Андреев С. Г., Бабкин А. В., Баум Ф. А. и др. Физика взрыва / Под редакцией Л. П. Орленко. — издание 3-е, переработанное и дополненное. — М.: Физматлит, 2004. — Т. 2. — 656 с.
2. Wiener K., Shaw Louie & Muelder S., Breithaupt D., Baum D. Dynamic Behavior of a Shear-Formed Shaped-Charge Liner. / Propellants, Explosives, Pyrotechnics. 1993, Vol. 18. pp.345 - 351. DOI 10.1002/prep.19930180607.

3. Дильдин Ю. М., Колмаков А. И., Ладов С. В. Особенности пластической деформации материала кумулятивной облицовки. // Труды МВТУ - 1983 - №399 - С.35-43.]
4. Измерение температуры кумулятивной струи из конической облицовки / В. В. Пай, В. М. Титов, Я. Л. Лукьянов, К. М. Зубашевский // Физика горения и взрыва. – 2020. – Т. 56, № 3. – С. 123-126. – DOI 10.15372/FGV20200313.
5. Баланкин А. С., Любомудров А. А., Севрюков И. Т. Кинетическая теория кумулятивного бронепробивания. — М.: Изд-во Министерства обороны СССР. — 271 с.
6. Мухутдинов А. Р. Основы применения ANSYS Autodyn для решения задач моделирования быстропротекающих процессов: учебное пособие / А. Р. Мухутдинов, М. Г. Ефимов. — Казань: КНИТУ, 2016. — 244 с.

## ВЕРОЯТНОСТЬ ПОРАЖЕНИЯ БПЛА ПОТОКОМ ПОРАЖАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

**И. Е. Кравченко, А. И. Цыбрид, А. В. Гуськов**  
**Новосибирский государственный технический университет**  
**г. Новосибирск, vania.kravchenko2005@gmail.com**

*В данной работе проводится расчет с целью определения минимально необходимого количества поражающих элементов для поражения беспилотных летательных аппаратов. Анализ результатов показывает, что минимальное необходимое количество поражающих элементов для поражения беспилотного летательного аппарата на дистанции 100 м составляет 130 шт, при этом плотность потока поражающих элементов составляет 15,2 шт/м<sup>2</sup>.*

*In this work, a calculation was performed to determine the minimum required number of damaging elements for the destruction of unmanned aerial vehicles. The analysis of the results shows that the minimum required number of damaging elements for the destruction of UAVs at a distance of 100 m is 130 pieces, while the density of the PE flow is 15.2 pieces/m<sup>2</sup>.*

На сегодняшний день, в зоне боевых действий активно используются малогабаритные беспилотные летательные аппараты (БПЛА), в связи с чем стоит острая проблема борьбы с такими объектами на линии боевого соприкосновения. Наиболее незащищенными целями для БПЛА являются перемещающаяся техника (легковые и грузовые автомобили, бронированная и легкобронированная техника), а также живая сила. В работе [1] показано, что стрельба из автоматического оружия (АК-74)

малоэффективна. Для повышения эффективности борьбы с БПЛА целесообразно применять боеприпасы, образующие поток ПЭ.

Поэтому целью работы является определение минимального количества ПЭ для поражения БПЛА (при условии попадания минимум 1 поражающего элемента).

В работе рассматривается поток ПЭ на дистанциях 10-100м. В качестве максимального радиуса разлета было выбрано расстояние 165 см т.к. максимальный разброс потока ПЭ на 20 м составляет 33 см от центра мишени, учитывая, что зависимость с увеличением дистанции линейна[2].

Радиус разброса потока ПЭ в зависимости от дистанции стрельбы представлен на рисунке 1

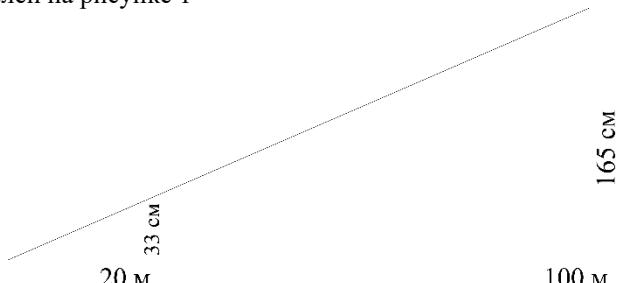


Рис. 1 – радиус разброса потока ПЭ в зависимости от дистанции выстрела

В качестве поражаемого объекта был взят «Квадрокоптер DJI Mavic 3 Pro», т.к. его габариты соответствуют наиболее применяемым БПЛА на линии боевого соприкосновения. В качестве проекции поражаемого объекта взята его минимальная проекция, чтобы воссоздать худшие условия для поражения.

На Рис. 2 представлен квадрокоптер DJI Mavic 3 Pro.



Рис. 2 - Квадрокоптер DJI Mavic 3 Pro

В качестве площади уязвимых элементов выбраны габариты центральной части корпуса БПЛА. Так как при попадании в эту область происходит поражение аккумуляторной батареи, блока управления,

блока передачи данных и т.д. В таком случае эта площадь составляет  $127 \times 120\text{мм}$  или  $0,01524 \text{ м}^2$ . Эта область представлена на Рис. 3.

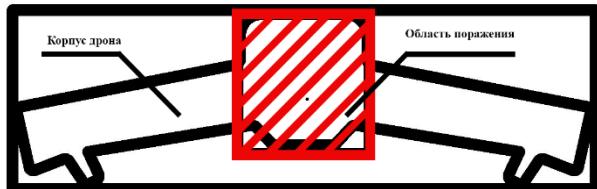


Рис. 3 –Площадь уязвимых элементов в минимальной проекции

При известных площади уязвимых элементов и радиусе разлета методом Монте-Карло проводится расчет необходимой плотности потока ПЭ на различных дистанциях (с шагом 10м). Расчет проводится с разным количеством ПЭ (100;200;300 шт.) на расстоянии от 10 до 100 м. [3] На Рис. 4 показаны результаты расчета на расстоянии 100м. Показана площадь уязвимых элементов БПЛА.

Синей окружностью показана область разлета ПЭ. Зелеными точками показаны попадания ПЭ

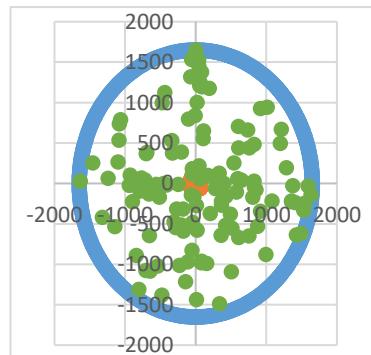


Рис. 4 – Результаты расчета на расстоянии 100м.

Вероятность попадания определялось как отношение количества попаданий к количеству выстрелов. Зависимость количества попаданий от дистанции стрельбы при различном количестве ПЭ в одном выстреле представлена на Рис. 5.

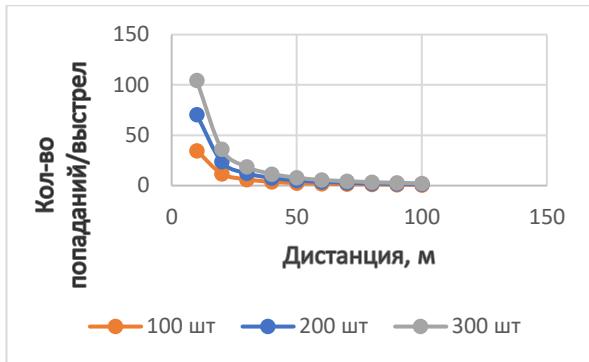


Рис. 5 – Зависимость количества попаданий ПЭ от дистанции стрельбы

Количество попаданий на дистанции 100м возрастает линейно с увеличением количества ПЭ в одном выстреле. Поэтому можно сделать вывод, что для поражения БПЛА при условии попадания хотя бы одним ПЭ на дистанции 100м потребуется 130 шт. ПЭ в одном выстреле, так как при количестве в 100 шт. в среднем получаем 0,75 попаданий, а при 300 шт. получается 2,4 попаданий.

Результат расчета показан на Рис. 6.

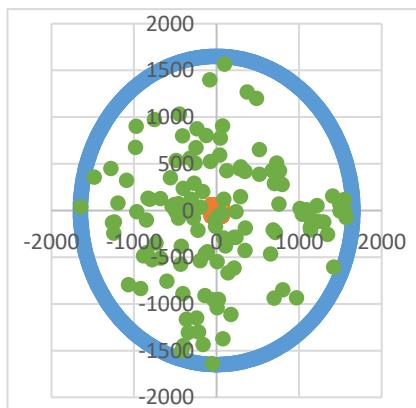


Рис. 6 – Результаты расчета на расстоянии 100м ПЭ, в количестве 130 шт.

### Заключение

Таким образом, рассмотрев разное количество ПЭ в выстреле, получается, что для поражения БПЛА хотя бы одним ПЭ требуется 130

шт. ПЭ. Такое количество ПЭ в результате расчетов показывает, что отношение количества попаданий к количеству выстрелов на дистанции 100 м даёт коэффициент равный единице. Это значит, что на дистанции 100 м в среднем имеется хотя бы одно попадание. Плотность потока ПЭ при этом составляет 15,2 шт/м<sup>2</sup>.

**Литература:**

1. Гуськов А. В. Оценка эффективности поражения малогабаритных беспилотных летательных аппаратов стрелковым вооружением / А. В. Гуськов, К. М. Зубашевский, А. И. Цыбрый // Наука Промышленность Обороны: Труды XXV Всероссийской научно-технической конференции. В 4-х томах, Новосибирск, 17–19 апреля 2024 года. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2024. – С. 41-45. – EDN LMNNSO.
2. Погребной А. А. Оценка влияния номера дроби на размеры осыпей (по материалам экспериментальной стрельбы патронами с полимерными пыжами и пыжами-контейнерами) / А. А. Погребной // Расследование преступлений: проблемы и пути их решения. – 2017. – № 4(18). – С. 170-177. – EDN YLFWNR.
3. Шрейдер Ю. А. Метод Монте-Карло. Статистическое моделирование / Ю. А. Шрейдер. – М.: Физматгиз, 1962. – 112 с.

## **ВЛИЯНИЕ ДИОКСИДА ТИТАНА НА СКОРОСТЬ ГОРЕНИЯ АЛЮМИНИЗИРОВАННОГО ТОПЛИВА**

**А. А. Макарова,**

**Новосибирский государственный технический университет,**

**г. Новосибирск, makarova.2020@stud.nstu.ru**

**Научный руководитель: Глотов О. Г., к.ф.-м.н., доцент**

*В ходе исследования изучено, как добавки диоксида титана различного происхождения влияют на процесс горения и параметры конденсированных продуктов сгорания смесевых алюминизированных топлив. Выявлено, что применение одной из добавок приводит к сокращению безразмерной массы образующихся агломератов.*

*During the study, the influence of titanium dioxide additives of various origins on the combustion process and the parameters of condensed combustion products of composite aluminum-containing fuels was investigated. It was found that the use of one of the additives leads to a reduction in the dimensionless mass of the resulting agglomerates.*

## **Введение**

Развитие ракетной техники на протяжении всей истории человечества неразрывно связано с постоянным совершенствованием как технологий производства, так и рецептур ракетного топлива. Это обусловлено жёсткими требованиями, предъявляемыми к ракетным двигателям и их энергоносителям: необходимо обеспечить максимальную энергоотдачу при минимально возможном объёме топлива, одновременно поддерживая строго заданную скорость горения.

Особую роль в современной ракетной технике играют смесевые топлива с металлическими частицами. Лидером среди металлических компонентов является алюминий, привлекающий высокой теплотой сгорания, плотностью, безопасностью, экологичностью и доступностью. Однако его главный недостаток — склонность к агломерации, что снижает эффективность двигателя и вызывает образование шлаков.

На агломерацию алюминия в топливах на основе перхлората аммония (ПХА) влияют: содержание алюминия, размер частиц, тип связующего и наличие окислителей [1]. Для борьбы с агломерацией применяют: модификацию свойств металла, обработку поверхности частиц и введение добавок в топливо.

Диоксид титана как добавка в смесевое топливо ранее не изучался, хотя известно его положительное влияние на экологичность горения дизельного топлива [2,3]. Цель исследования — оценить влияние титаносодержащих соединений на горение алюминизированных топлив путём экспериментального определения скорости горения и параметров продуктов горения модельных топлив с добавками  $TiO_2$ .

## **Топливо и компоненты**

В экспериментах использовалось пастообразное модельное топливо следующего состава: 20% связующего типа МПВТ АСП [4]; 20% алюминиевого порошка АСД-0; 60% окислителя ПХА фракции 180-250 мкм. В качестве модификатора добавляли 1.5% диоксида титана различных производителей ( $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$ ). В ходе экспериментов были рассчитаны скорость горения и безразмерная масса агломератов  $m_{80}$  (масса частиц крупнее 80 мкм по отношению к массе топлива).

Рисунки 1 и 2 иллюстрируют проведение экспериментов в двух постановках, в сосуде высокого давления (бомба) или на воздухе. Предварительные результаты представлены в таблице.

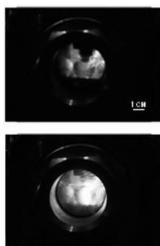


Рисунок 1. Горение образца в азоте при давлении 0.35 МПа (вверху – до горения, внизу – в процессе горения)

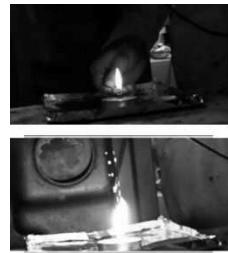


Рисунок 2. Горение образца в воздухе при атмосферном давлении (вверху – до горения, внизу – в процессе горения)

**Таблица1 - Скорость горения и безразмерная масса агломератов m<sub>80</sub>**

Добавка	Азот, 0.35 МПа		Воздух, 0.1 МПа г, мм/с
	г, мм/с	m <sub>80</sub>	
Нет	2.0±0.1	0.188±0.007	0.5±0.1
m1	1.6±0.1	0.095±0.009	0.5±0.1
m2	1.9±0.1	0.161±0.002	0.7±0.1
m3	1.9±0.1	0.150±0.001	0.7±0.1

### Заключение

С использованием предложенной методики осуществлены эксперименты, направленные на исследование горения алюминизированного топлива, содержащего добавки оксида титана разных марок. В процессе опытов определены скорость горения и безразмерная масса агломератов.

Один из трех опробованных порошков наноразмерного TiO<sub>2</sub> показал положительные результаты в части снижения массы агломератов, так что работа будет продолжена

### Литература:

- Глотов О. Г. Влияние компонентного состава алюминизированных топлив на агломерацию и полноту сгорания алюминия. Дисс. к. ф.-м. н. Новосибирск: Институт химической кинетики и горения, 2004. 210 с.
- Singh R., Sharma S., Gangacharyulu D. Effect of TiO<sub>2</sub> Nanoparticle Blended Water Diesel Emulsion Fuel on CI Engine Performance and Emission Characteristics // International Journal of Engineering Research &

Technology, Vol. 5, No. 7, 2016. pp. 416-420. DOI: 10.17577/IJERTV5IS070422.

3. Verma S., Sahu D., Almutairi B.O. Production and characterization of biodiesel fuel produced from third-generation feedstock // Front. Mater., Vol. 11, No. 1454120, 2024. pp. 1-9. DOI: 10.3389/fmats.2024.1454120.

4. Попок В. Н. Влияние структурного фактора на параметры горения смесевых энергетических материалов // Бутлеровские сообщения, Т. 32, № 13, 2012. С. 75-87.

## ОБЗОР ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ВОЕННОЕ ВРЕМЯ

А. Ю. Новицкий

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, onirs@corp.nstu.ru

Научный руководитель: Хребтова М. С., к.т.н.

Как показали военные события 2022-2025 годов, применение малоразмерных разведывательных и разведывательно-ударных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) малого типа в вооруженных конфликтах стало носить массовый характер. Одним словом, современные военные конфликты стали похожи на гонку вооружений враждующих стран. И такие изменения в имеющимся вооружении остро ставят вопрос о поиске новых способов противодействия современному высокоточному оружию (ВТО).

As military events from 2022 to 2025 demonstrated, the use of small reconnaissance and reconnaissance-and-strike unmanned aerial vehicles (UAVs) in armed conflicts has become widespread. In short, modern military conflicts have become reminiscent of an arms race between warring countries. Such changes in existing weaponry urgently raise the need to find new ways to counter modern precision-guided weapons (PGMs).

Ещё с середины 2000-х годов в средствах массовой информации (СМИ) начали регулярно появляться сообщения о несанкционированном использовании беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в особо охраняемых зонах: на военных объектах, в аэропортах, против промышленной инфраструктуры и т.д., с целью несанкционированного наблюдения за стратегически важными объектами, проведения террористических актов или диверсий, а также для доставки запрещенных грузов (оружия, наркотиков).

В современных боевых ситуациях БПЛА решают следующие основные задачи: ведение наблюдения и разведки, в том числе и в реальном времени; нанесение ударов по наземным/надводным целям,

самостоятельно (БПЛА-«камикадзе») или носимыми средствами поражения; целеуказания для других средств ВТО; постановка радиоэлектронных помех; транспортировка и доставка запрещённых грузов; ретрансляция данных между удалёнными абонентами сетей связи; отвлечение внимания или использование их в качестве ложных воздушных целей.

Ввиду большого значения именно скорости БПЛА предлагается различать следующие типы БПЛА в зависимости от их функциональной скорости полёта:

1. Малоскоростные – скорость полёта до 200 км/ч (максимальная скорость в этом классе – 250 км/ч);
2. Среднескоростные – скорость полёта до 150 до 400 км/ч (максимальная скорость в этом классе – 450 км/ч);
3. Скоростные – скорость полёта от 350 до 800 км/ч (максимальная скорость в этом классе – 900-980 км/ч).

В настоящее время анализ новостей из открытых источников показал, что в современных боевых ситуациях используются БПЛА разных типов, отличающихся друг от друга по массогабаритным характеристикам, скорости, а также по назначению и применению.

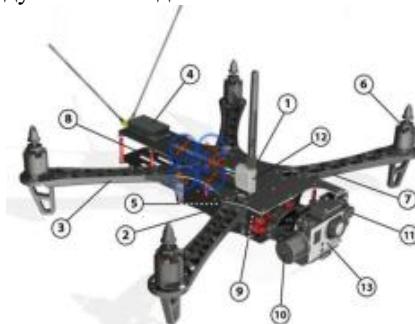
На рис.1 показан внешний вид БПЛА самолётного типа «Адмирал». Это отечественный БПЛА самолётного типа. Подъемная сила создается аэродинамическим способом за счет напора воздуха, набегающего на неподвижное крыло. Его отличительная особенность от других БПЛА – вертикальный взлёт и посадка по вертолётному типу. Может развивать максимальную скорость до 120 км/ч продолжительностью до 360 минут. Грузоподъёмность массой до 10 кг. Практический потолок полёта 4000 м.



Рис.1 – БПЛА самолётного типа «Адмирал»

На рис.2 изображена конструктивная схема БПЛА «TBS DISCOVERY Quadrotor» мультироторного типа. Это значит, что такие БПЛА используют более двух роторов с вращающимися лопастями с фиксированным шагом. Максимальное время полета БПЛА «TBS DISCOVERY Quadrotor» составляет 8–15 минут. Дальность полёта до 5 км, а максимальная высота до 2 км. Мультироторный БПЛА может взлетать и садиться вертикально без взлетно-посадочной полосы.

На рис.3 показан пример БПЛА аэростатического типа. К этому классу относятся в основном беспилотные дирижабли, которые могут быть оснащены электродвигателями для перемещения и имеют системы управления ориентацией. Главные характеристики включают большую грузоподъемность и дальность, а также возможность длительного нахождения в воздухе без посадки.



1 – верхняя пластина; 2 – нижняя пластина; 3 – лучи рамы;  
4 – RC приёмник; 5 – полётный контроллер; 6 – бескол., моторы; 7 –  
регуляторы скорости; 8 - аккумулятор; 9 – встроенный модуль CORE и  
контроллер подвеса; 10 – бесколлекторный мотор; 11 – FPV камера;  
12 - видеопередатчик; 13 – HD камера

Рис.2 – Мультироторный БПЛА «TBS DISCOVERY Quadrotor»



Рис.3 – БПЛА аэростатического типа

На Рис.4 представлена фотография БПЛА гибридного типа, которая имеет признаки как самолетов, так и вертолетов. Данная категория БПЛА представлена автожирами и конвертопланами. Автожир имеет схему, подобную самолету, у которого в качестве крыла установлен свободно-вращающийся винт. Конвертоплан - летательный аппарат с поворотными винтами, который на взлете и при посадке работают как подъемный, а в горизонтальном полете как тянувшие, при этом в полете подъемная сила

обеспечивается крылом самолетного типа. Ведет себя как вертолет на взлете и посадке и как самолет при полете.



Рис.4 – Модели гибридного типа

Анализ опыта проводимой Вооруженными силами (ВС) Российской Федерации (РФ) специальной военной операции (СВО) на Украине с начала 2022 года по настоящее время, показал, что массированное применение БПЛА значительно оказывается на ходе боевых действий. Одной из серьезных проблем, с которой столкнулись подразделения уровня батальон, рота, взвод в ходе СВО, стало массовое использование противником БПЛА, что поднимает серьёзный вопрос о разработке новых и улучшении уже имеющихся способов защиты от БПЛА.

Одним из таких способов может служить ослепление БПЛА путём постановки соответствующих маскирующих и ослепляющих завес. Потеряв возможность ориентироваться в пространстве с помощью камер, БПЛА значительно теряет свою эффективность. Однако современные системы навигации, такие, как GPS, позволяют управлять БПЛА в удалённом режиме. Против таких систем необходимо прямое вмешательство: БПЛА-«камикадзе»; ловчие сетки; контрабоеприпасы.

#### Литература:

1. Адмирал (дрон) – Циклопедия. – Дата публикации в Интернет: 24.07.2025 [Электронный ресурс]. – URL: [https://cyclowiki.org/wiki/%D0%90%D0%B4%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%B0%D0%BB\\_\(%D0%B4%D1%80%D0%BE%D0%BD\)](https://cyclowiki.org/wiki/%D0%90%D0%B4%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%B0%D0%BB_(%D0%B4%D1%80%D0%BE%D0%BD)) (дата обращения: 28.11.2025).
2. Обзор квадрокоптера TBS Discovery. – Дата публикации в Интернет: 05.03.2023 [Электронный ресурс]. – URL: <https://quadrocoptery.ru/tbs-discovery-review/> (дата обращения: 28.11.2025).
3. Тема 1. Основы применения БПЛА (дронов) в мирное и военное время. – 30 с. [Электронный ресурс]. – URL:

<https://togerro.ru/upload/medialibrary/567/poyt38vyne2igkletv49uouhua7yaj2s.pdf?19271> (дата обращения: 28.11.2025).

## ИНДУКЦИОННЫЕ КАНАЛЫ СВЯЗИ В БОЕПРИПАСАХ ПОСТАНОВЩИКАХ МАСКИРУЮЩЕЙ ЗАВЕСЫ

М. А. Татаринов

Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, tatarinov.2020@stud.nstu.ru

Научный руководитель: Хребтова М. С., к.т.н., ст.преп.,  
кафедры ГДУ

*Данная статья посвящена оценке индукционных каналов связи в боеприпасах постановщиках маскирующей завесы. Показаны преимущества индукционной системы запуска и перспективы дальнейшего развития данного направления.*

*This article is devoted to the evaluation of induction communication channels in masking screen ammunition. The advantages of the induction launch system and the prospects for further development of this area are shown.*

В боеприпасах постановщиках помех применяются различные методы запуска [1], такие как:

- Контактный запуск;
- Запуск при помощи электронного пускового устройства;
- Индукционный запуск;
- Запуск альтернативными методами.

В настоящий момент одним из наиболее перспективных является индукционный запуск, т. к. этот способ обеспечивает безотказность срабатывания изделия и позволяет получать информацию о сходе боеприпаса. Система индукционного запуска отличается тем, что позволяет осуществлять запуск бесконтактным способом, то есть осуществляет передачу электрического сигнала между полесоздающей катушкой (ПК) пусковой установки (ПУ) и полевоспринимающей катушкой (ВК) боеприпаса посредством индукционного канала связи (ИКС).

ИКС должен обеспечивать не только передачу энергии, достаточной для инициирования электровоспламенителя в случае запуска гранаты, но и выполнять высокие требования к частотной характеристике (ЧХ), когда форма сигнала выступает в качестве одного из основных параметров при передаче циклограммы управляющей команды.

Применение коаксиальных круговых катушек – катушек обмотки которых занимают объём, имеющий форму тела вращения, не годится

для конструирования ИКС по одной причине: такая конструкция катушек не позволяет скомпенсировать наводки электромагнитных полей обмотками самих же катушек. Площадь витка обмотки катушки одинаково воспринимает как полезный сигнал управления, так и сигнал помехи. Излишне экранирование (толщина и проводимость экранирующих элементов между ПК и ВК) ухудшает энергетические, частотные характеристики ИКС и не обеспечивает в полной мере помехозащищенность ИКС.

Существует конструкция по патенту [2]. Она представляет собой устройство индукционного запуска, содержащее корпус, полесоздающую катушку, полевоспринимающую катушку, электрически связанную с электровоспламенителем, причем ПК выполнена в виде прямоугольной одно- или многовитковой обмотки, свернутой в кольцо. Недостатком существующего устройства является то, что: 1) компенсация наведенных ЭДС (электродвижущая сила) от помех недостаточна; 2) намотка катушки сложна при её изготовлении; 3) при свертывании прямоугольной обмотки большие её стороны укладывают только виток к витку, увеличивая взаимную индукцию витков.

Одним из вариантов решения указанных недостатков является вариант конструкции индукционных катушек на гибкой печатной плате [3]. Конструкция представляет собой множество плоских, однослойных или многослойных, рисунков печатного проводника различной формы (спираль, прямоугольник, шестиугольник) на гибкой текстолитовой печатной плате, свернутой в кольцо.

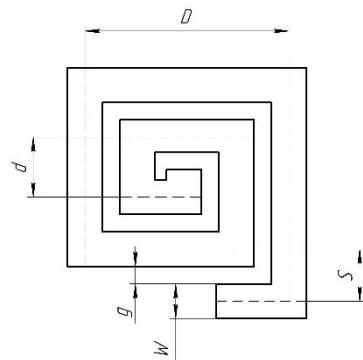


Рис.1 – Рисунок печатного проводника с квадратной формой спирали

Использование в предполагаемом устройстве гибкой двусторонней печатной платы с рисунком печатного проводника гарантирует

безопасность работы с ними в процессе изготовления и их эксплуатации, упрощает схему помехозащиты без снижения качества передачи управляющих команд, снижая при этом энергопотребление пусковых комплексов, но повышая их надежность и работоспособность в процессе эксплуатации этих комплексов. А также обеспечивает компенсацию ЭДС, наводимую внешними ЭМП, в то же время за счет создания кругового магнитного поля (управляющего сигнала от ПК) обеспечивает гарантированную работу исполнительного органа.

**Литература:**

1. Бабкин А. В., Велданов А. В. Средства поражения и боеприпасы. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 984 с.
2. Патент РФ № 2099571 от 1992.07.23, кл 6F02K9/25, публ. 1997.12.20.
3. Aebischer H. A., Inductance formula for rectangular planar spiral inductors with rectangular conductor cross section. – Advanced Electromagnetics, VOL.9, NO.1, 2020. – C. 18.

**ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ СБРОСА НА СИЛУ УДАРА  
КОНСТРУКЦИИ КАПСУЛЫ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ  
ГРУЗОВ С БПЛА**

**А. А. Шептунова**

**Новосибирский государственный технический университет,**

**г. Новосибирск, riiinnow@mail.ru**

**Научный руководитель: Гуськов А. В., д.т.н.**

*В настоящей работе ставится задача изучения влияния высоты сброса на силу удара конструкции, что имеет ключевое значение для обеспечения её прочности и эффективного функционирования в условиях эксплуатации. Результаты исследования могут быть использованы для оптимизации параметров транспортировки и повышения надежности конструктивных элементов.*

*In this paper, the task is to study the effect of the height of the discharge on the impact force of the structure, which is of key importance for ensuring its strength and effective functioning under operating conditions. The results of the study can be used to optimize transportation parameters and increase the reliability of structural elements.*

Ранее были выявлены [1],[2],[3] все необходимые факторы для снижения аэродинамического сопротивления, следовательно,

уменьшения радиуса рассеивания. Требуется выяснить влияние высоты сброса на силу удара конструкции.

В качестве расчетного бокса представлен патент №235573 (МПК B64U 101/55, B64U 101/57, B64U 101/66) «Капсула для транспортировки» [4].

Полезная модель относится к области техники воздушной доставки грузов с помощью беспилотных летательных аппаратов, предназначена для сохранности и точности доставки груза при свободном падении.

Капсула для транспортировки состоит из основания с креплениями к беспилотному летательному аппарату и крышки, крышка выполнена из полимерных материалов в форме полой полусферы с резьбовым соединением от трех до пяти витков, а основание выполнено из полимерных материалов в форме полого усеченного конуса с резьбовым соединением от трех до пяти витков, расположенным по большему диаметру, при этом в сборке капсула имеет каплевидную форму. По поверхности основания равномерно распределено оперение, состоящее из трех-шести ребер. В верхней части основания выше ребер выполнены прорези толщиной 10-50 мм для крепления капсулы. В верхней части основания и в крышке располагаются ограничители из мягкого упругого материала. В полости крышки непосредственно под ограничителем располагается металлический балласт, размер которого не превышает четверти внутреннего радиуса крышки.

Техническим результатом является уменьшение радиуса рассеивания при спуске с подвесов БПЛА грузов различных размеров, то есть увеличение точности и скорости доставки при военных и поисково-спасательных операциях при возможных внешних метеорологических воздействиях.

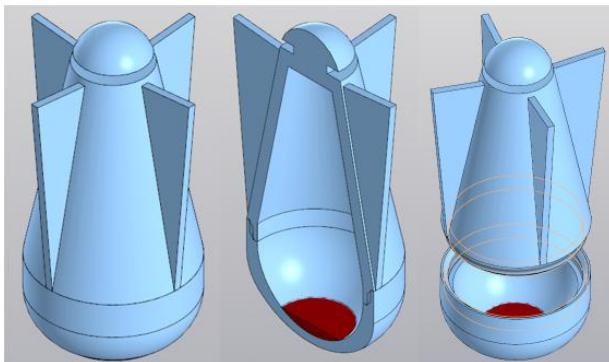


Рис.1 – 3D-модель капсулы для транспортировки

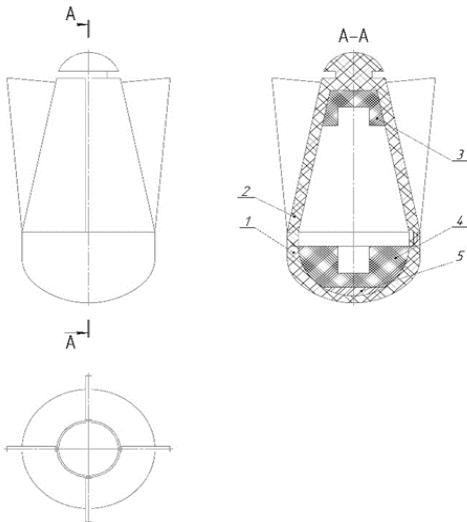


Рис.2 – Эскиз капсулы для транспортировки

Характеристики расчёта:

- Масса (m) полезной нагрузки (например, медикаменты) 3,5 кг;
- Высота сброса (h) 20, 50 и 100 метров;
- Сопротивление воздуха отсутствует;
- Время, за которое груз останавливается при ударе ( $\tau$ ) 0,1 с;
- Ускорение свободного падения (g)  $9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ .

Для того, чтобы узнать силу воздействия капсулы при контакте с землей, необходимо рассчитать время полета груза и скорость при ударе:

$$t_1 = \sqrt{\frac{2h_1}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 20}{9,8}} = 2,02 \text{ с}$$

$$t_2 = \sqrt{\frac{2h_2}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 50}{9,8}} = 3,19 \text{ с}$$

$$t_3 = \sqrt{\frac{2h_3}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 100}{9,8}} = 4,51 \text{ с}$$

Скорость при ударе можно рассчитать двумя формулами:

$$V_1 = g \times t_1 \approx \sqrt{2gh_1} = 19,8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$V_2 = g \times t_2 \approx \sqrt{2gh_2} = 31,3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$V_3 = g \times t_3 \approx \sqrt{2gh_3} = 44,3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Сила для разных высот:

$$F_1 = \frac{mV_1}{\tau} = \frac{3,5 \times 19,8}{0,1} = 693 \text{ Н}$$

$$F_2 = \frac{mV_2}{\tau} = \frac{3,5 \times 31,3}{0,1} = 1096 \text{ Н}$$

$$F_3 = \frac{mV_3}{\tau} = \frac{3,5 \times 44,3}{0,1} = 1551 \text{ Н}$$

С высотой падения возрастает и сила удара, т.к. увеличивается скорость.

При изменении высоты в 5 раз (с 20 до 100 метров), скорость, время и сила удара меняются в 2,4 раза (с 19,8 до 44,3  $\frac{\text{м}}{\text{с}}$ ; с 2,02 до 4,51 с; с 693 до 1551 Н соответственно).

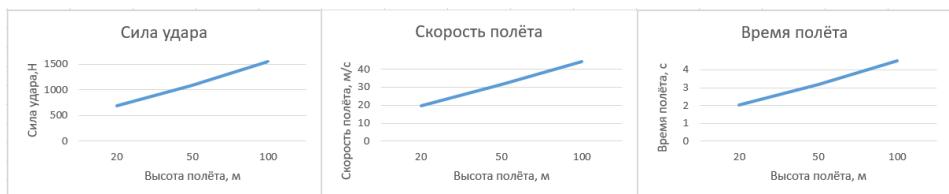


Рис.3 – Графики зависимости силы удара, скорости и времени полёта от высоты полёта.

#### Заключение

При увеличении высоты возрастают скоростные, временные и ударные характеристики при той же площади контакта капсулы и поверхности.

Время остановки играет большую роль в силе удара, т.к. чем меньше время остановки (жестче поверхность), тем больше сила. Именно поэтому необходимо использовать амортизирующие элементы для увеличения времени остановки и снижения силы удара.

Литература:

1. Шептунова А. А. Влияние скорости ветра на рассеивание при сбросе груза с БПЛА / А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, А. А. Шептунова. – Текст: непосредственный // Наука и кадры для авиастроения = Science and staff for aircraft engineering: тр. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 65-летию ФЛА и 75-летию Новосиб. гос. техн. ун-та, Новосибирск, 17–21 дек. 2024 г. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2024. – С. 388–393.
2. Шептунова А. А. Подходы стабилизации полета свободно падающего тела при доставке груза в чрезвычайных ситуациях = Approaches to stabilizing the flight of a free-falling solid during cargo delivery in emergency situations / А. А. Шептунова, А. В. Гуськов, К. Е. Милевский. [Электронный ресурс] // Решетневские чтения: материалы 28 междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию со Дня рождения ген. конструктора ракетно-косм. систем акад. М. Ф. Решетнева, Красноярск, 18–22 нояб. 2024 г.: в 2 ч. – Красноярск: Изд-во СибГУ, 2024. – Ч. 1. – С. 865–869. URL: [https://ciu.nstu.ru/library\\_admin/files/publications/1732688596\\_38423.pdf](https://ciu.nstu.ru/library_admin/files/publications/1732688596_38423.pdf) (дата обращения: 23.11.2025).
3. Шептунова А. А. Подходы стабилизации полета свободно падающего тела / А. А. Шептунова; науч. рук. А. В. Гуськов. - Текст: непосредственный // Дни науки НГТУ–2024: материалы науч. студен. конф., итоги науч. работы студентов за 2023–2024 гг. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2024. – С. 256–259.
4. Патент 235573, МПК B64U 101/57 Российская Федерация. Капсула для транспортировки / Шептунова А.А., Пяткин А.А., Гуськов А.В., Милевский К.Е. – №2025107676, заявл. 31.03.2025.

**Секция БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
И ПРОИЗВОДСТВ**

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ, ТРУДОВОЙ  
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА УГОЛЬНОМ  
РАЗРЕЗЕ «КЕДРОВСКИЙ»**

**Н. Д. Айкин**

**Новосибирский государственный технический университет,**

**г. Новосибирск, nikita9\_03@mail.ru**

**Научный руководитель: Поляков Ю. О., к.т.н., доцент ГДУ**

*Данная статья посвящена вопросам обеспечения промышленной, трудовой и экологической безопасности на угольном разрезе «Кедровский». Рассматриваются условия, в которых проводится горнодобывающая деятельность. На основе полученной информации, проведен анализ условий труда и собрана основная информация об угольном разрезе.*

**Обеспечение промышленной, трудовой и экологической безопасности на угольном разрезе «Кедровский»**

Угольный разрез «Кедровский» находится на балансе АО «УК «Кузбассразрезуголь» и расположен в Кемеровской области. Эксплуатация месторождения производится на основании лицензии на право пользования недрами. Разрез расположен в пределах одного горного отвода. Разрез расположен на территории Кемеровского муниципального района. Климат в районе месторождения резко континентальный с продолжительной зимой и умеренно тёплым летом. Район месторождения является промышленно освоенным, с развитой инфраструктурой. Поверхность территории характеризуется сложным рельефом. Разработка угля на разрезе «Кедровский» осуществляется на основании утвержденного технического проекта.

В соответствии с Федеральным законом от 21 июля 1997 г. № 116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» угольный разрез «Кедровский» зарегистрирован в государственном реестре опасных производственных объектов, о чем Кемеровским управлением Ростехнадзора выдано соответствующее свидетельство о регистрации. Разрезу присвоен II класс опасности.

Стремительный рост добычи угольных ресурсов сопровождается не только изменением количественных масштабов антропогенного воздействия, но и появлением новых факторов, влияние которых на природу становится доминирующим. В процессе горного производства

образуются и быстро увеличиваются пространства, нарушенные горными выработками, отвалами вскрышных пород и представляющие собой бесплодные поверхности, отрицательное влияние которых распространяется на окружающие территории.

Под воздействием естественных опасностей могут возникнуть следующие факторы:

- Движущиеся элементы горнотранспортного оборудования;
- Обрушение бортов карьера и отвалов;
- Выбросы метана и угольной пыли.

К вредным факторам, присутствующим на разрезе, можно отнести:

- Наличие вибрации и шума от работы тяжелой техники;
- Выделение угольной и породной пыли при ведении горных работ;
- Недостаточное освещение в темное время суток.

Объекты ведения открытых горных работ в соответствии с Федеральным законом «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 № 116-ФЗ отнесены к опасным производственным объектам. Обязательным условием принятия решения о начале строительства и эксплуатации разреза является наличие положительного заключения экспертизы промышленной безопасности проектной документации.

Природные и климатические условия Сибири с морозными зимами оказывают негативное воздействие на технику горнотранспортного комплекса, такое как:

- загущение масел и гидравлических жидкостей, что приводит к проблемам запуска двигателя и ухудшению управляемости;
- ускоренный износ и поломки деталей;
- обледенение кузовов и заклинивание механизмов;
- неравномерная просадка дорожного полотна для карьерных самосвалов.

Именно поэтому для устойчивой эксплуатации оборудования на производстве используются резинотехнические изделия и полимеры, способные сохранять эластичность при отрицательных температурах. Широко применяются гидравлические жидкости и моторные масла с низкой температурой застывания. Тяжелая техника, такая как карьерные самосвалы, бульдозеры и экскаваторы, показанные на рисунке 1, оснащается предпусковыми подогревателями. На зимний период на складах создаются значительные запасы критически важных расходных материалов. Персонал, допущенный к оборудованию, проходит специальное обучение для работы с адаптированной техникой в условиях низких температур.



Рис. 1 – Карьерная техника на разрезе «Кедровский»

Безопасность рабочего персонала обусловлена строгому соблюдению рабочего регламента: перед началом смены проводится осмотр и инструктаж сотрудников, вводится ограничение времени работы на открытом воздухе в период низких температур и проводятся обязательные обогревы.

Территория разреза оснащена медицинским пунктом, способным оказать первую помощь при производственных травмах, переохлаждениях и других неотложных состояниях. Основными вредными факторами на производстве являются пыль и низкие температуры. Для защиты здоровья работников используются сертифицированные средства индивидуальной защиты (СИЗ), такие как утепленная спецодежда с термоподкладками, специальная обувь с термостельками, а также респираторы для защиты от мелкодисперсной пыли, предотвращающей риск развития силикоза, как показано на рисунке 2. Крайне важно, чтобы используемый респиратор был одобрен для данного вида работ и обеспечивал надежную защиту.



Рис. 2 – Средства индивидуальной защиты на угольном разрезе

Интенсивная добыча угля может привести к необратимым последствиям для окружающей среды, ликвидация которых занимает значительный срок:

- разрушение и изменение ландшафта;
- загрязнение атмосферного воздуха и водных объектов;
- потеря плодородия земель.

Комплексный подход к экологической безопасности на разрезе «Кедровский» включает несколько задач. Для минимизации воздействия применяются системы пылеподавления на технологических дорогах и в местах погрузки угля. Для защиты водных ресурсов осуществляется сбор и очистка сточных вод. После отработки участков проводятся технические и биологические этапы рекультивации земель с нанесением плодородного слоя почвы. На всей территории разреза ведется производственный экологический контроль.

На угольном разрезе «Кедровский» безопасность производства обеспечивается комплексным подходом, адаптированным к специфике угледобычи в Сибири. Безопасность технологических процессов достигается за счет применения специализированного оборудования,

устойчивого к низким температурам, и строгого соблюдения требований охраны труда.

Особое внимание уделяется защите здоровья работников. Безопасность персонала обеспечивается за счет строгого соблюдения регламента, включающего предсменный осмотр, и обязательного использования СИЗов.

В области экологической безопасности реализуются превентивные меры, направленные на минимизацию ущерба. Внедряются современные системы очистки, а по завершении горных работ незамедлительно проводятся работы по рекультивации нарушенных земель. Производственный экологический мониторинг позволяет своевременно выявлять и предупреждать негативные изменения.

Таким образом, промышленная, трудовая и экологическая безопасность на угольном разрезе «Кедровский» обеспечивается за счет сочетания технических решений, строгого соблюдения нормативов и непрерывного контроля, что позволяет минимизировать риски и сохранять стабильную работу в одном из ключевых угледобывающих регионов России.

#### Литература:

1. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ (ред. от 02.07.2021) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».
2. Свидетельство о регистрации опасного производственного объекта Выдано Кемеровским управлением Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) угольному разрезу «Кедровский» АО «УК «Кузбассразрезуголь».
3. Правила безопасности при ведении открытых горных работ на угольных месторождениях (ПБ 05-618-03). – Утв. Постановлением Госгортехнадзора России от 30.05.2003 № 49 [Электронный ресурс]. – URL: <http://base.garant.ru/6148998/> (дата обращения: 20.10.2023).
4. Ковалев В. Н. Совершенствование систем охраны труда и промышленной безопасности на угольных разрезах Кузбасса / В.Н. Ковалев, С.П. Ильин // Уголь. – 2021. – № 5. – С. 56-61.
5. Руководство по борьбе с пылью и пылевзрывозащите на угольных разрезах. – Кемерово: Кузбассвязиздат, 2019. – 204 с.
6. Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 30.12.2021) «Об охране окружающей среды». – Режим доступа:
7. Клыков Л. М., Поляков Ю. О., Белоусова Н. С. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. НГТУ.

# **РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИИ**

**A. С. Арцыбашева**

**Новосибирский государственный технический университет,**

**г. Новосибирск, arcybashaeva.2021@stud.nstu.ru**

**Научный руководитель: Гуськов А. В., д.т.н., доцент**

*В статье аргументировано использование риск-ориентированного подхода в вопросе безопасности на предприятиях, рассмотрены виды рисков в области охраны труда и определены границы влияния рисков. На основании статистических данных выявлены причины травматизации в некоторых отраслях промышленности, подтверждающие важность использования риск-ориентированного подхода для повышения безопасности на предприятии.*

*The article argues the use of risk-oriented approach to safety in enterprises, the types of risks in the field of occupational safety are considered and the limits of influence of risks are defined. Based on statistical data, the causes of injuries in certain industries have been identified, confirming the importance of using a risk-based approach to improve workplace safety.*

Риск-ориентированный подход в охране труда и технике безопасности – метод управления безопасностью, при котором интенсивность контроля, защитных мер и распределение ресурсов зависят от уровня риска. Параллельно с повышением безопасности работников на производстве, с учетом выявленных уязвимых мест, метод позволит сэкономить финансовые ресурсы, повысить производительность предприятия и укрепить формирующуюся корпоративную культуру безопасности.

В основе риск-ориентированного подхода лежит деление рисков на производственный и профессиональный. Деление обусловлено происхождением и характером воздействия (прямое или косвенное).

## **Производственный риск**

Потенциальные угрозы, возникающие в процессе производства.

## **Профессиональный риск**

Потенциальные угрозы, связанные с невыполнением работников своих должностных обязанностей, а также воздействием вредных и опасных производственных факторов в процессе трудовой деятельности.

Статистика Министерства труда России [1] за последние 5 лет представлена на рисунке 1.



Рис. 1 – Причины несчастных случаев и травматизма на производствах РФ

На рисунке выделены красным цветом – причины, относящиеся к производственному риску, зеленым – причины, относящиеся к профессиональному риску.

Опираясь на статистические данные около 53 % от всех несчастных случаев, относятся к категории производственного риска.

Неудовлетворительная организация работ заключается в отсутствии надзора руководства за исполнением работ.

Нарушение ПДД заключается в отсутствии дорожной разметки, знаков, четко закрепленных правил и надзором за работниками, передвигающимися по территории.

Недостатки в подготовке работников в ОТ заключаются в низком уровне знаний в области ОТ и неэффективном обучении.

Недостатки в организации рабочего места заключаются в низкой эргономичности, например, неправильно подобранный высоте столов и стульев, недостаточном освещении, отсутствии перерывов и тд.

Несовершенство технологического процесса заключается в отсутствии технологической карты или недостатки в изложении требований безопасности в технологической документации.

Но несмотря на статистические данные, от отрасли к отрасли, от предприятия к предприятию ведущие причины травм и несчастных случаев будут различаться, соответственно, будут отличаться и методы, направленные на их снижение.

В 2024 году наиболее травмоопасными отраслями стали обрабатывающая промышленность и строительство [2] (см. рисунок 2).

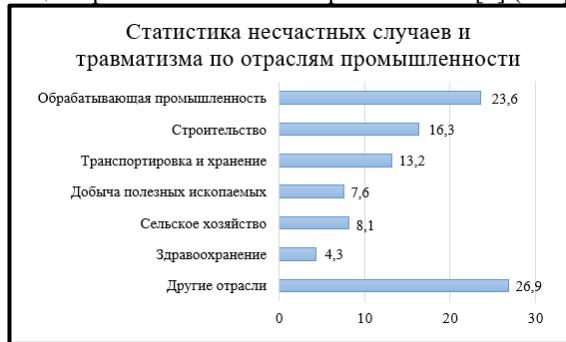


Рис. 2 – Статистика несчастных случаев и травматизма по отраслям промышленности

Для примера рассмотрим статистику причин несчастных случаев и травматизма для одной из ведущих отраслей и для отрасли из группы «другие отрасли».

Статистика для отрасли строительства [3] представлена на рисунке 3. Где красным цветом – причины, относящиеся к производственному риску, зеленым – причины, относящиеся к профессиональному риску.



Рис. 3 – Статистика причин несчастных случаев и травматизма в области строительства

Около половины причин связаны с воздействием производственного риска.

Из группы «другие отрасли» проанализируем статистику причин для нефтяной промышленности, представленную на рисунке 4 [4].

Некоторые из причин, не упоминались при представлении статистики в строительной области. Значение цветом аналогичное.



Рис. 4 – Статистика несчастных случаев и травматизма на нефтеперерабатывающих предприятиях

В данной отрасли причины производственного риска имеют больший процент.

Приведенные выше статистические данные подтверждают то, что каждая отрасль – индивидуальна также, как и причины несчастных случаев и травматизма в ней.

Из изложенного выше можно сделать вывод, что риск-ориентированный подход эффективен тем, что позволяет индивидуально для каждой отдельной отрасли или отдельного предприятия, в зависимости от индивидуальной статистики причин несчастных случаев и травматизма, регулировать интенсивность контроля над «слабыми» местами, выбирать защитные меры и распределять ресурсы.

#### Литература:

1. ФГБУ «ВНИИ труда» Минтруда России. Анализ производственного травматизма в Российской Федерации за 2015-2024 гг. Москва, 2025г.
2. Роструд. Данные о производственных несчастных случаях: [Электронный ресурс]. – URL: <https://rostrud.gov.ru/opendata/-7712345678-nesprich/list.html> (дата обращения 4.11.2025).
3. Министерство труда и социальной защиты России. Производственный травматизм в строительстве, 2023 г.
4. Булавка Ю. А. Анализ производственного травматизма на нефтеперерабатывающем предприятии // Вестник Полоцкого

государственного университета. Серия В. Промышленность.  
Прикладные науки. 2024. №3.

## БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОМЫШЛЕННОГО АЛЬПИНИСТА НА ВЫСОТЕ

**Е. Б. Бальжинимаев**

**Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, bal.eshi02b@gmail.com**

**Научный руководитель: Милевский К. Е., к.т.н., доцент**

*Безопасность промышленного альпиниста на высоте – это строгая дисциплина, основанная на надежном и исправном снаряжении, на глубоких профессиональных знаниях и навыков, на точном соблюдении инструкций и на ответственности за свою жизнь и за жизнь напарника. Только совокупность и полное соблюдение всех вышеперечисленных элементов минимизируют риск срывов, падений, травм, приносящих вред здоровью работника.*

*The safety of an industrial climber at height is a strict discipline based on reliable and serviceable equipment, deep professional knowledge and skills, strict compliance with instructions and responsibility for your life and for the life of your partner. Only the totality and full compliance with all the above elements minimizes the risk of breakdowns, falls, injuries that are harmful to the employee's health.*

### **Введение**

Основой работы на высоте с минимальными рисками является работник, прошедший обучение, имеющий официальный допуск для выполнения работ на высоте, знающий технические средства защиты (альпинистское снаряжение), умеющий оценить рабочее место и выявлять все потенциальные опасности. Соблюдение профессиональных требований при работе на высоте является основополагающей частью для безопасности работника.

### **Технические средства защиты (альпинистское снаряжение)**

Все снаряжение промышленного альпиниста должно быть сертифицировано. Технический регламент таможенного союза 019/2011 "О безопасности средств индивидуальной защиты". Это ключевой документ. Он устанавливает обязательные требования ко всем СИЗ, включая альпинистское снаряжение. Для каждого вида снаряжения есть свои ГОСТы.

Для веревок:

ГОСТ EN 1891-2014 «Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты от падения с высоты. Канаты с

сердечником низкого растяжения приведены на рисунке 1. Общие технические требования. Методы испытаний»

Канат статический

## PARALLEL 10.5 мм 100 м



Рис. 1 – Канаты с сердечником низкого растяжения

Для страховочных привязей (беседок и верхних систем):

ГОСТ Р ЕН 361-2008 «Средства индивидуальной защиты от падения с высоты. Страховочные привязи». Пример страховочной привязи приведен на рисунке 2.



Привязь страховочная

## AVAO FAST Int

Рис. 2 – Страховочные привязи

Для устройств спуска и торможения:

ГОСТ Р ЕН 341-2010 «Средства индивидуальной защиты от падения с высоты. Устройства спусковые для эвакуации»

ГОСТ Р ЕН 12841-2014 «Системы страховочные для выполнения работ на высоте. Дополнительное снаряжение для передвижения по наклонным поверхностям, включая горизонтальные страховочные линии». Спусковое устройство показано на рисунке 3.



## Спусковое устройство I'D S

Рис. 3 – Спусковое устройство

Для зажимов (устройств для подъема по веревке и самостраховки):

ГОСТ Р ЕН 567-2014 «Снаряжение альпинистское страховочное. Зажимы страховочные. Технические требования и методы испытаний». Пример такого устройства показан на рисунке 4.

ГОСТ Р ЕН 362-2008 «Средства индивидуальной защиты от падения с высоты. Соединительные элементы».



## Страховочное устройство ASAP LOCK

Рис. 5 – Страховочное устройство

Для карабинов (как на рисунке 5):

ГОСТ Р ЕН 362-2008 «Средства индивидуальной защиты от падения с высоты. Соединительные элементы»

ГОСТ Р 70294-2022 «Система стандартов безопасности спортивного инвентаря. Спортивный инвентарь для защиты от падения с высоты».

Карабины спортивные. Общие технические требования. Методы испытаний»



Стальной карабин  
VULCAN TL



Стальной карабин  
VULCAN TL international

Рис 5 – Карабины

Для касок:

ГОСТ Р ЕН 12492-2014 «Средства индивидуальной защиты. Каски для альпинистов. Технические требования и методы испытаний». Пример защитной каски приведен на рисунке 6.



Защитная каска  
**VERTEX VENT**

Рис. 6 – Защитная каска для альпинистов

### **Подготовка и планирование**

Допуск к работам: промышленный альпинист должен пройти обучение и иметь официальный допуск для выполнения высотных работ.

Производственный план (ППР): документ, который детально описывает все этапы работы, опасности и меры по их устраниению.

**Наряд-допуск:** выдается на каждый вид работ, где прописываются конкретные условия, состав бригады и меры безопасности.

**Медицинский осмотр:** работник должен быть физически здоров и не иметь противопоказаний к работе на высоте.

**Оценка рисков:** перед началом работ проводится осмотр места, выявляются все потенциальные опасности (электропровода, острые кромки, погодные условия и т. д.).

### **Правильные методы работы и поведение**

**Принцип "Двух веревок":** Работа всегда ведется на двух независимых веревках.

1. Основная (рабочая) веревка: для спуска, подъема и удержания.

2. Страховочная веревка: всегда подключена к альпинисту через отдельное устройство. В случае обрыва основной веревки страховочная система удержит человека.

**Постоянная самостраховка:** при переходе с одной точки на другую, при работе на месте альпинист всегда должен быть пристегнут минимум к одной надежной точке.

**Перестежка "без проскальзывания":** Методика, при которой в любой момент времени альпинист пристегнут хотя бы одним усом самостраховки.

**Защита веревки от повреждений:** Использование протекторов для веревки в местах контакта с острыми кромками.

**Правильная экипировка:** Каска, защитные очки, перчатки, непромокаемая и непродуваемая одежда по погоде.

### **Командная работа и связь**

**Квалифицированный напарник:** Работа всегда ведется бригадой минимум из двух человек. Напарник на земле (или на крыше) обеспечивает контроль, подстраховку и помочь в случае чрезвычайной ситуации.

**Четкая связь:** Отработанная система голосовых или радиосигналов ("Спускайся", "Стоп", "Тревога").

**Готовность к эвакуации:** Напарник должен быть готов оказать помощь и знать план эвакуации и спасения.

### **Заключение**

В любой деятельности нужен набор профессиональных навыков, у промышленного альпиниста он состоит из множества навыков, так как от его навыков зависит его жизнь и жизнь напарника. Основные навыки который должен обладать промышленный альпинист – это оценить

рабочее место, выявить все потенциально опасное и устраниТЬ, при необходимости помочь напарнику в критической ситуации, проверить снаряжение на наличие дефектов, быть готовым к разным чрезвычайным ситуациям. Именно совокупность всех этих навыков минимизирует риски.

**Литература:**

1. ГОСТ EN 1891-2014. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты от падения с высоты. Канаты с сердечником низкого растяжения. Общие технические требования. Методы испытаний [Электронный ресурс]. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/66009/> (дата обращения: 23.11.2025).
2. ГОСТ Р ЕН 361-2008. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты от падения с высоты. Страховочные привязи. Общие технические требования. Методы испытаний [Электронный ресурс]. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/47971/> (дата обращения: 27.11.2025).
3. ГОСТ Р ЕН 341-2010. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты от падения с высоты. Устройства для спуска. Общие технические требования. Методы испытаний [Электронный ресурс]. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/50622/> (дата обращения: 20.11.2025).
4. ГОСТ EN 12841-2014. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты от падения с высоты. Системы канатного доступа. Устройства позиционирования на канатах. Общие технические требования. Методы испытаний [Электронный ресурс]. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/57982/> (дата обращения: 23.11.2025).
5. ГОСТ Р ЕН 362-2008. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты от падения с высоты. Соединительные элементы. Общие технические требования. Методы испытаний [Электронный ресурс]. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/47959/> (дата обращения: 24.11.2025).
6. PETZL [Электронный ресурс]. – URL: <https://petzl.ru> (дата обращения: 28.11.2025).

# **АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ КОТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ТЭЦ Г. УСТЬ-КАМЕНОГООРСКА**

**М. М. Беляев**

**Новосибирский государственный технический университет,**

**г. Новосибирск, belyevmaxim@gmail.com**

**Научный руководитель: Поляков Ю. О., к.т.н., доцент ГДУ**

*Работа посвящена вопросам обеспечения безопасности при диагностике котельного оборудования на ТЭЦ г. Усть-Каменогорска. Рассматриваются условия, в которых проводится ультразвуковой и рентгенографический контроль, факторы риска и требования, влияющие на безопасность персонала. На основе анализа производственных условий сформулированы практические рекомендации по организации работ.*

*The paper deals with safety aspects of non-destructive testing of boiler units at the Ust-Kamenogorsk CHP plant. It outlines the working conditions, risk factors and safety requirements related to ultrasonic and radiographic inspection. Practical recommendations to improve safety during diagnostic operations are proposed.*

Котлы на тепловых электростанциях находятся под постоянным термическим и механическим воздействием, из-за чего в металле со временем появляются дефекты. Чтобы своевременно их выявлять, применяется неразрушающий контроль. Такие работы проводятся регулярно, но связаны с большим количеством факторов, которые усложняют процесс и создают риски для персонала.

ТЭЦ г. Усть-Каменогорска — это действующее производство, где одновременно идёт много технологических процессов. Даже если сам котёл выводится в ремонт, окружающее оборудование продолжает работать. Поэтому дефектоскопист, оценивающий состояние элементов котла, сталкивается с рядом опасных условий, которые требуют тщательного анализа.

Цель работы - определить основные риски при выполнении НК и показать, как их можно минимизировать.

Исследование связано с котельным оборудованием станции, включающим сложные трубные системы, барабаны, газоходы и коллекторы. Особенность объекта в том, что доступ к большому числу участков ограничен: часть труб располагается на высоте, часть - внутри замкнутых объёмов.

Перед проведением диагностики котёл останавливают и изолируют от энергии. Однако, несмотря на остановку, внутри цеха сохраняется:

- остаточное тепло;

- шум от оборудования;
- вибрации;
- участки с недостаточной вентиляцией и освещением.

Эти условия и создают комплекс факторов, которые необходимо учитывать при организации НК.

УЗК используют для оценки состояния стенок труб, обнаружения внутренних трещин и коррозии. Работы выполняют только после охлаждения элементов до безопасной температуры. Пожалуй, главная трудность - не сам метод, а физически неудобные условия доступа: узкие промежутки между трубами, высокая температура металла, ограниченное пространство и необходимость работать на высоте.

Для проверки сварных соединений применяют рентген. Процедура проводится на полностью остановленном участке. Перед началом работ выставляют границы зоны излучения, чтобы исключить появление людей неподалёку. Метод позволяет выявить скрытые дефекты, но предъявляет особые требования к организации безопасности - от разметки рабочей зоны до строгого соблюдения времени облучения.

Даже при выводе котла в ремонт остаются условия, которые могут создать угрозу для сотрудника. Среди них:

- загазованность отдельных зон;
- высокая температура воздуха и конструкций;
- шум и вибрация от работающих агрегатов;
- слабое или направленное освещение;
- необходимость работать на высоте;
- ограниченные по габаритам пространства;
- риск оступиться или получить травму при перемещении по конструкциям.

Всё это требует постоянного контроля и правильного подхода к организации рабочего места.

Перед тем как приступить к НК, оформляется наряд-допуск, отключается оборудование, проверяются приборы и средства защиты. Если работа проходит внутри барабана или коллектора, проводят анализ воздуха и обеспечивают вентиляцию. Обязательно наличие исправной страховочной системы.

В закрытых объёмах дефектоскопист работает не один - рядом должен быть наблюдающий. На высоте допускаются только проверенные площадки и подмости. При проведении рентгенографических работ строго выдерживаются границы зоны излучения.

Важно, чтобы члены бригады постоянно поддерживали связь между собой и не покидали рабочую зону без уведомления.

Рабочее место приводят в порядок, инструменты отключают и осматривают, а руководителя уведомляют о завершении диагностических работ.

В работе обобщены реальные условия НК на действующей ТЭЦ, что позволяет точнее оценивать риски и учитывать их при планировании и выполнении диагностики. Такой подход помогает адаптировать требования охраны труда под конкретные условия, а не использовать их в отрыве от реальной производственной среды.

Неразрушающий контроль котельного оборудования - процедура техническая, но безопасность при его выполнении зависит прежде всего от того, насколько грамотно организована работа. На ТЭЦ г. Усть-Каменогорска условия далеки от лабораторных: тепло, высота, тесные участки, загазованность и постоянный шум. Тем важнее правильная подготовка, внимательность и соблюдение инструкций.

Чёткая организация допуска, использование страховки, анализ атмосферы в замкнутых пространствах и наличие наблюдающих позволяют провести диагностику не только качественно, но и безопасно.

#### Литература:

1. Клыков Л. М., Поляков Ю. О., Белоусова Н. С. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. НГТУ.
2. Поляков Ю. О. Неразрушающий контроль и диагностика. НГТУ, 2023.
3. Инструкция по охране труда для дефектоскописта И 07-(2025)-37.
4. Материалы технического описания ТЭЦ г. Усть-Каменогорска.
5. ГОСТ 7512-82. Рентгенографический метод.
6. ГОСТ Р 55724-2013. Ультразвуковой контроль.

## МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ НА МИРНИНСКО-НЮРБИНСКОМ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОМ КОМБИНАТЕ

**В. М. Ганнущенко**

**Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, vladislavgannushchenko@gmail.com**

**Научный руководитель: Белоусова Н. С., к.т.н., доцент**

*В работе рассмотрены методы обеспечения промышленной, экологической и трудовой безопасности в условиях Крайнего Севера и интенсивной эксплуатации крупногабаритного горнодобывающего оборудования Мирнинско-Нюрбинского горно-обогатительном комбината (МНГОК). Особое внимание уделяется специфике северных условий (низкие температуры, вечная мерзлота),*

влиянию интенсивной эксплуатации на безопасность, а также вопросам защиты окружающей среды и охране труда работников.

The paper considers methods of ensuring industrial, environmental, and labor safety in the conditions of the Far North and intensive operation of large-sized mining equipment at the Mirny-Nyurba Mining and Processing Plant (MNGOK). Particular attention is paid to the specifics of northern conditions (low temperatures, permafrost), the impact of intensive operation on safety, and issues of environmental protection and labor safety of employees.

Мирнинско-Нюрбинский ГОК (входит в структуру АК «АЛРОСА») является крупным, современным предприятием основной сферой деятельности которого является добыча алмазов из кимберлитовых трубок и россыпных месторождений в Республике Саха (Якутия). ГОК был образован путем объединения Мирнинского и Нюрбинского ГОКов, и ведет разработку месторождений Накынского рудного поля, включая кимберлитовые трубы «Нюрбинская» и «Ботуобинская» (рис.1). На ГОК используется преимущественно открытый способ разработки карьеров, основными особенностями которого является возможность работы с большими объемами пород, а также особое внимание обеспечению безопасных условий труда.



Рис.1 - Карта опасных производственных объектов МНГОК

Обеспечение безопасных условий труда на предприятиях горнодобывающей включает в себя комплекс мероприятий, направленных на охрану труда, сохранение жизни и здоровья работников, а также предотвращение аварий и несчастных случаев в процессе добычи. Включает в себя такие организационно-технические меры, как модернизация оборудования и совершенствование технологических процессов, использование средств защиты, а также контроль за соблюдением нормативных требований, направленных на защиту работников путем минимизации рисков, опасностей и несчастных случаев, направленный на предотвращение травм, заболеваний и смерти работников, а также ущерба или потери оборудования.

Охрана труда и промышленная безопасность на горных предприятиях регулируются приказом Ростехнадзора № 505 от 8 декабря 2020 года, который утверждает Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» [1]. Приказом определены общие требования к организации работ, связанных с производством, хранением, транспортированием и применением опасных веществ, порядок проведения экспертизы промышленной безопасности, меры по предупреждению экзогенной и эндогенной пожароопасности и другие вопросы, связанные с обеспечением безопасной работы людей на данных объектах. Разработаны и другие отраслевые и надзорные документы, регламентирующие охрану труда на горных предприятиях. Одним из них является приказ Ростехнадзора от 03.09.2020 № 331 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности взрывопожарных и производственных объектов хранения и переработки растительного сырья» [2], также основанные на них ПБ 06-317-99 [3]. Согласно указанным документам, промышленная безопасность горных предприятий определена «как состояние защищенности жизненно важных интересов личности и общества от аварий на опасных производственных объектах и последствий указанных аварий». Промышленная безопасность горных предприятий согласно данному определению рассматривается как состояние защищенности от аварий, которое включает в себя все источники опасности. Важно, что безопасность определяется не как внутреннее свойство, а как результат функционирования всей системы охраны труда на предприятии.

Обеспечение промышленной и трудовой безопасности на Мирнинско-Нюрбинском ГОКе, работающем в условиях Крайнего Севера и при высокой интенсивности производственных процессов, требует внедрения

специфических, часто уникальных решений. На рисунке 2 показано обеспечение мер безопасности по четырем основным направлениям.



Рис.2 - Направления обеспечения мер безопасности на карьере

1. Обеспечение безопасности карьера достигается за счёт комплекса организационных и технических мероприятий, разработанных с учётом природных условий и особенностей производственного процесса.

Устойчивость бортов карьера - один из ключевых факторов безопасной добычи в условиях вечной мерзлоты. При низких температурах многолетний мерзлый грунт остаётся твёрдым, однако при нагреве или нарушении теплообмена он может терять прочность. Чтобы это не происходило, на карьерах используются термоустойчивые материалы, которые поддерживают постоянный температурный режим массива. Дополнительно пробурены контрольные скважины с датчиками температуры, а откосы регулярно обследуются с помощью геодезических приборов и лазерного сканирования. На участках, где замечены изменения структуры пород, снижают нагрузку на уступы, корректируют углы наклона и устанавливают дополнительные предохранительные бермы. Всё это позволяет избежать обрушений и обеспечивает безопасное ведение работ.

2. Контроль крупногабаритной техники. Холодный климат оказывает значительное влияние на технику, поэтому здесь применяется расширенный комплекс мер по её подготовке и обслуживанию. В зимний период вся карьерная техника переведена на использование низкотемпературных масел и специальных гидравлических жидкостей, которые не густеют при  $-40^{\circ}\text{C}$ . Топливные системы оборудованы подогревателями, а аккумуляторы устанавливаются в утеплённые короба. Машины перед началом работы прогреваются по

установленному регламенту: проверяется работа тормозов, рулевого управления, давление в гидросистеме и исправность световой сигнализации. На стоянках оборудованы площадки с электроподогревом, что позволяет поддерживать технику в рабочем состоянии даже при резких перепадах температуры. Также применяются временные ограничения скорости движения при сильных морозах, чтобы снизить риски отказов и аварий. Для повышения безопасности при эксплуатации автосамосвалов используются системы контроля движения. На технику установлены камеры кругового обзора, радары и GPS-навигация, которые позволяют оператору видеть всю рабочую зону и избегать опасных сближений. Машины автоматически подают сигнал при приближении к другой технике или препятствию (рис.3). Дополнительно действует система мониторинга состояния оператора: датчики отслеживают положение головы и частоту моргания. Если фиксируется усталость, в кабину подаётся предупреждение, а диспетчер получает уведомление, что позволяет снизить риск ошибок из-за снижения внимания.



Рис.3 - Эксплуатация крупногабаритной техники на горных работах

3. Обеспечение работников СИЗ. Низкие температуры оказывают влияние и на здоровье работников, поэтому на предприятии используется целый набор средств индивидуальной защиты [4]. Работники в карьерах обеспечены зимними костюмами с многослойной теплоизоляцией (рис.4а), сапогами с термостойкой подошвой (рис.4б), утеплёнными рукавицами, балаклавами и масками для защиты лица от обморожений. Используются также термостельки, вкладыши для повышения теплоизоляции и специальные очки (рис.4в), которые предотвращают обледенение стекол и защищают от ветра. Рабочие графики

адаптированы под низкие температуры: через каждые 1,5–2 часа проводится обязательный перерыв на обогрев в специальных утеплённых помещениях, оборудованных тепловыми пушками и ИК-обогревателями. Перед сменой проводится проверка состояния работников, а при температурах ниже критических вводится сокращённый режим работы на открытом воздухе.

В помещениях работники используют респираторы типа FFP3, каски с защитными щитками (рис.4г), спецодежда и перчатки. Все площадки оборудованы ограждениями и противоскользящими покрытиями. При обслуживании оборудования применяются страховочные пояса, а для работы с электрооборудованием - диэлектрические перчатки.



Рис 4. - СИЗ, используемые на ГОКе

4.Строгий регламент обогатительных процессов. При дроблении и сортировке породы выделяется большое количество мелкой пыли, поэтому здесь используются аспирационные системы с фильтрами (рис.5), а также гидроорошение в местах персыпки материала.



Рис.5. - Аспирационная система CBC-1200

В обогатительных цехах безопасность производства достигается благодаря внедрению мер по предотвращению запылённости и снижению риска травмирования работников. Технологическое оборудование размещается с учётом требований охраны труда: минимальные расстояния между машинами, стенами и проходами строго выдерживаются в соответствии с действующими нормативами. Это обеспечивает свободное и безопасное перемещение персонала, облегчает доступ для обслуживания и предотвращает возникновение опасных ситуаций при эксплуатации оборудования.

В работе были рассмотрены основные меры по обеспечению промышленной, экологической и трудовой безопасности на Мирнинско-Нюрбинском ГОКе в условиях Крайнего Севера. Изученные материалы показывают, что низкие температуры, вечная мерзлота и высокая нагрузка на технику требуют комплексного подхода — от контроля состояния бортов карьера до регулярного обслуживания крупногабаритного оборудования и применения систем мониторинга. Особое внимание уделяется защите работников и соблюдению нормативов по охране труда, что помогает снижать риски травм и аварий. В итоге можно отметить, что безопасность на предприятии достигается только благодаря сочетанию технических, организационных и профилактических мер, позволяющих поддерживать стабильную и безопасную работу в сложных природных условиях.

#### Литература:

1. Приказ от 8 декабря 2020 года N 505. Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила

безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых»

2. Приказ Ростехнадзора от 03.09.2020 № 331 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности взрывопожарных и производственных объектов хранения и переработки растительного сырья»

3. ПБ 06-317-99 «Единые правила безопасности при дроблении, сортировке, обогащении полезных ископаемых и окусковании руд и концентратов»

4. ГОСТ 12.4.280-2014 ССБТ «Одежда специальная для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий»

## **ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА**

**А. А. Генрих**

**Новосибирский государственный технический университет,**

**г. Новосибирск, anasta.birulina@yandex.ru**

**Научный руководитель: Поляков Ю. О., к.т.н.**

*Охрана труда включает в себя широкий спектр аспектов, направленных на обеспечение безопасности работников на рабочем месте. Психологические аспекты играют важную роль в обеспечении охраны труда, поскольку психическое состояние работника влияет на его способность эффективно выполнять работу и избегать травм и заболеваний.*

*Occupational safety and health includes a wide range of aspects aimed at ensuring the safety of workers in the workplace. Psychological aspects play an important role in ensuring occupational safety, as the mental state of an employee affects his ability to perform work effectively and avoid injury and illness.*

Безопасность человека на производстве определяется не только (и не столько) условиями труда и надежностью технических средств, эксплуатируемых в процессе трудовой деятельности. Уровень защищенности работника во многом зависит от навыков и умений безопасного достижения поставленных трудовых задач. Эти параметры являются управляемыми. Повысить уровень безопасности в труде возможно с помощью мероприятий, предусмотренных трудовым законодательством об охране труда. Для работников предусмотрены дополнительные гарантии и компенсации, например, компенсации за вредные условия труда (бесплатное питание или выдача молока), сокращение рабочего дня.

Напряженность трудового процесса оказывает существенное влияние на психоэмоциональное состояние человека. К факторам, характеризующим напряженность труда, относятся:

- интеллектуальные и сенсорные нагрузки;
- эмоциональные нагрузки;
- степень монотонности нагрузок;
- режим работы.

Стресс является одним из наиболее распространенных факторов риска для здоровья сотрудников. Постоянное воздействие стресса может привести к физическим заболеваниям, а также к эмоциональному выгоранию и снижению производительности труда. Что касается взаимосвязи между условиями труда и риском самоубийства, исследования показывают, что хронический стресс, высокие нагрузки, отсутствие поддержки коллег и начальников, низкая оплата труда и плохие условия труда могут способствовать развитию депрессивных состояний и увеличению риска самоубийства.

Градиент несчастных случаев, вызванных усталостью вплоть до суицидальных попыток, представляет собой сложную картину взаимосвязанных факторов:

- усталость;
- психологическое выгорание;
- депрессивное расстройство;
- суицидальные намерения.

Рассмотрим подробнее каждый психоэмоциональный случай градиента и приведём статистику, иллюстрирующую распространённость соответствующих явлений.

Усталость является наиболее частым фактором риска развития дальнейших неблагоприятных последствий. Она возникает вследствие чрезмерных физических нагрузок, недостаточного отдыха, стресса и эмоционального истощения. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ):

- физическое переутомление встречается примерно у 80% взрослого населения развитых стран хотя бы раз в течение года;
- примерно 20% работников испытывают хроническое физическое утомление, которое значительно снижает производительность труда и качество жизни.

Психологическое выгорание характеризуется состоянием психического и физического истощения, возникающим вследствие длительного воздействия стрессовых ситуаций на работе или дома. Статистика ВОЗ показывает следующее:

- до 50% сотрудников офисов крупных компаний сталкиваются с симптомами профессионального выгорания ежегодно;

- среди представителей творческих профессий и врачей частота встречаемости достигает 70%.

Депрессивные расстройства являются серьёзным этапом на пути к тяжёлым последствиям. По оценкам ВОЗ:

- во всём мире около 300 млн человек страдают депрессией. Из них значительная доля испытывает трудности на рабочем месте и в повседневной жизни;

- каждый четвёртый случай депрессии сопровождается выраженными признаками тревожности и социальной дезадаптации.

Суицидальные намерения возникают чаще всего на фоне длительной депрессивной симптоматики и чувства беспомощности перед жизненными обстоятельствами. Данные ВОЗ показывают:

- ежегодно примерно 800 тыс. человек совершают самоубийства, что соответствует одному случаю каждые 40 секунд;

- почти половина всех смертельных исходов от самоубийств приходится на молодых людей в возрасте от 15 до 29 лет.

Таким образом, передох несчастных случаев при обычной усталости до трагической связки включает ряд последовательно усиливающихся состояний организма и психики. Таким образом, возрастает масштабность производственных предприятий - увеличивается нагрузка на рабочий персонал, что и провоцирует нестабильное психоэмоциональное состояние у значительной части людей.

У некоторых сотрудников, при продолжительной работе без отдыха, начинается психическое расстройство. По данным правительства Японии, подавляющее большинство японцев работают сверхурочно, а ежегодно от переработки погибает около 10 000 человек. Главными факторами такой печальной статистики является хроническое переутомление, непрерывное стремление к совершенству и возникающая из-за этого постоянная конкуренция между сотрудниками. Поэтому в Японии уже несколько лет действуют специальные клиники для трудоголиков [1].

ВОЗ регулярно публикует статистику по различным вопросам здравоохранения, включая самоубийства. Однако, отдельно статистика именно по несчастным случаям на предприятиях, связанным с суицидами, не выделяется, так как это явление достаточно редкое и сложно отслеживаемое.

Тем не менее, существуют общие статистические данные по числу самоубийств в мире, которые позволяют сделать некоторые выводы относительно рисков на рабочих местах. Уровень самоубийств

различается в зависимости от региона мира и социально-экономических условий.

В психологии безопасности труда возникают новые подходы. Для поддержания психологического здоровья сотрудников и предотвращения негативных последствий, таких как профессиональное выгорание и депрессия, организации могут внедрить комплекс мер психологической поддержки и профилактики стрессов. Формирование специальной комиссии по охране психического здоровья работников предприятия, участие руководства компании в формировании позитивной корпоративной культуры и создании доверительных взаимоотношений с сотрудниками. Также стоит сделать благоприятные условия труда на рабочем месте, например, комфортное рабочее пространство, эргономичное оборудование, адекватное освещение и вентиляция. Разработка гибких графиков работы, позволяющих учитывать индивидуальные потребности сотрудников. Регулярное проведение корпоративных мероприятий, способствующих укреплению командного духа и улучшению атмосферы внутри коллектива. [3].

Важно отметить, что профилактика самоубийств должна включать меры по улучшению условий труда, обеспечению социальной защиты, поддержке работников в трудных ситуациях и своевременному оказанию медицинской помощи.

#### Литература:

1. Асмаковец Е. С. Суицид и профессиональная деятельность. Сообщение 1. Трудоголизм и безработица / Омский психологический журнал. – 2014. – № 1.
2. Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.who.int/ru/> (дата обращения: 23.11.2025).
3. Мюнстерберг, Гуго. «Психология и эффективность производства» (Psychology and Industrial Efficiency) / Г. Мюнстерберг. — L., 1913.

# **ВРЕДНЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ФАКТОРЫ ПРИ ТЕХНОЛОГИЯХ 3D-ПЕЧАТИ**

**Я. И. Гурвиц**

**Новосибирский государственный технический университет,**

**г. Новосибирск, gurvits.yan@gmail.com**

**Научный руководитель: Виноградов А. В., ст. преп.**

*Статья описывает основные вредные факторы при 3D-печати — выделение вредных частиц и паров, токсичность фотополимеров и порошков, тепловые и электрические риски. Кратко рассматриваются способы их регулирования: вентиляция, фильтрация, выбор материалов и использование средств защиты.*

*The article describes the main harmful factors associated with 3D printing — the release of hazardous particles and vapors, the toxicity of photopolymers and powders, as well as thermal and electrical risks. It also briefly outlines methods of controlling these factors, such as ventilation, filtration, material selection, and the use of protective equipment.*

Технологии аддитивного производства стремительно развиваются и становятся неотъемлемой частью современного промышленного и научного прогресса. Сегодня 3D-печать применяется в самых разных сферах, охватывая как высокотехнологичные направления, так и повседневные задачи. Доступность оборудования, широкий выбор материалов и возможность быстрого изготовления сложных геометрических объектов делают аддитивные технологии особенно привлекательными. Кроме того, они позволяют экономично производить изделия штучно, под конкретного пользователя или уникальную задачу, без необходимости создания дорогостоящей оснастки и перенастройки оборудования. Это открывает путь к персонализированным продуктам и гибкому малосерийному производству, недоступным при традиционных технологиях.

Однако активное распространение 3D-печати сопровождается и ростом числа потенциальных рисков. В процессе работы различных типов 3D-принтеров — FDM/FFF, SLA/DLP, SLS/SLM и других — в окружающую среду могут выделяться вредные химические вещества, ультрадисперсные частицы, токсичные пары фотополимеров и металлическая пыль, описанные в таблице 1. Некоторые факторы проявляются незаметно, но при длительном воздействии способны отрицательно влиять на здоровье человека, особенно при работе в непроветриваемых или плохо оборудованных помещениях [1].

**Табл. 1 - виды технологий 3D - печати [2]**

Технология	Материалы	Описание	Скорость печати	Особенности
FDM / FFF	PLA, ABS, PETG, TPU, Nylon, композиты	Плавление пластиковой нити	50–150 мм/с	Доступно, просто
SLA / DLP / LCD	Фотополимеры: стандартные, прочные, гибкие, литьевые	Отверждение смолы УФ-светом	10–50 мм/ч (по высоте слоя)	Высокая точность
SLS	Композитные порошки	Спекание нейлонового порошка	10–30 мм/ч (по высоте слоя)	Прочные детали
SLM/ DMLS/ EBM	Сталь, титан, алюминий, CoCr, никонель	Плавление металлического порошка	5–20 см <sup>3</sup> /ч	Металлические изделия
Binder Jetting	Металлы, керамика, песок	Металлы, керамика, песок	100–500 см <sup>3</sup> /ч	Связующее + порошок
Material Jetting	Фотополимеры, смеси	Наныление фотополимера	100–30 мм/ч (по высоте слоя)	Лучшее качество поверхности

**FDM** — *Fused Deposition Modeling* (моделирование послойным наплавлением)

**FFF** — *Fused Filament Fabrication* (изготовление методом плавления нити)

### **SLA / DLP / LCD**

**SLA** — *Stereolithography* (стереолитография)

**DLP** — *Digital Light Processing* (цифровая обработка света)

**LCD** — *Liquid Crystal Display* (жидкокристаллический дисплей) — в 3D-печати: технология фотополимеризации с использованием LCD-матрицы

**SLS** — *Selective Laser Sintering* (селективное лазерное спекание)

**SLM** — *Selective Laser Melting* (селективное лазерное плавление)

**DMLS** — *Direct Metal Laser Sintering* (прямое лазерное спекание металлов)

**EBM** — *Electron Beam Melting* (плавление электронным пучком)

**Binder Jetting** — *Binder Jetting* (струйное нанесение связующего)

**Material Jetting** — *Material Jetting* (струйное нанесение материала)

Дополнительную опасность представляют тепловые и электротехнические риски, связанные с нагревательными элементами, высокими температурами в зонах печати и особенностями конструкции

оборудования [1]. Всё это требует тщательного анализа, правильной организации рабочего пространства и применения эффективных мер защиты.

В данной работе рассматриваются основные вредные факторы, возникающие при работе с 3D-принтерами разных типов, а также анализируются способы минимизации их влияния на пользователя. Цель исследования — повысить уровень безопасности при эксплуатации аддитивных технологий и сформировать рекомендации по созданию более безопасных условий труда.

### **Основные вредные факторы при 3D-печати**

#### **1. Выделение ультратонкодисперсных частиц (UFP)**

Во время плавления и экструзии полимеров (FDM/FFF-печать) в воздух выделяются микрочастицы диаметром менее 100 нм. Они способны проникать глубоко в дыхательные пути и вызывать раздражение слизистой, аллергические реакции и воспалительные процессы. Наиболее высокий уровень выделения наблюдается при печати пластиками ABS, нейлоном и композитными материалами.

#### **2. Летучие органические соединения (ЛОС)**

Нагрев экструдируемого материала приводит к выделению ЛОС, включая стирол, формальдегид и ацетальдегид. Концентрации некоторых веществ могут превышать санитарные нормы при отсутствии вентиляции. Стирол признан потенциально канцерогенным веществом, оказывающим токсическое действие при длительном воздействии.

#### **3. Химические факторы при фотополимерной печати (SLA/DLP)**

Фотополимеры содержат метакрилаты, эпоксидные смолы и другие соединения, потенциально опасные при контакте с кожей и при вдыхании паров. Жидкие смолы могут вызывать дерматит и сенсибилизацию. Пары неотверждённых полимеров раздражают дыхательные пути.

#### **4. Пылевые и химические риски при SLS/SLM/MJF-печати**

При работе с порошковыми материалами (полиамид, металл, композиты) возникает опасность:

вдыхания мелкодисперсных порошков,

загрязнения кожи и глаз,

образования взрывоопасных аэрозольных смесей (для металлических порошков),

токсического воздействия соединений (например, никеля или кобальта). [1]

#### **5. Тепловые факторы**

Оборудование 3D-печати включает разогретые до 200–400 °C сопла, столы и камеры. Возможны:

ожоги при неосторожном контакте с нагретыми элементами,

перегрев воздуха в рабочей зоне.

#### 6. Электробезопасность

3D-принтеры содержат мощные блоки питания, нагреватели и вентиляторы. Риски:

короткие замыкания,  
повреждения кабелей,

пожароопасные ситуации при нештатной работе принтера.

#### 7. Шумовые и вибрационные воздействия

В зависимости от модели уровень шума может достигать 50–70 дБ, что при длительной работе вызывает утомление и стресс. [4].

В таблице 2 показано сравнение различных вредных факторов.

**Табл. 2. - Сравнение вредных факторов для разных технологий 3D-печати [3]**

Технология	Факторы	Выделения	Концентрации при работе	Риски/ Защита
FDM/FFF	ЛОС, UFP	Стиrol, формальдегид	УДЧ: $10^5$ – $10^6$ част./см <sup>3</sup> Стиrol: 20–200 мкг/м <sup>3</sup> (пики до 2000) Формальдегид: 5–20 мкг/м <sup>3</sup>	Средний–высокий / Вентиляция
SLA/DLP	Токсичные пары	Метакрилаты	ЛОС: 50–300 мкг/м <sup>3</sup> Акрилаты: 20–100 мкг/м <sup>3</sup>	Высокий / Перчатки, очки
SLS/MJF	Пыль	PA12/PA11	Пыль: 0,1–1 мг/м <sup>3</sup> УДЧ: $10^3$ – $10^4$ част./см <sup>3</sup>	Средний / Респиратор
SLM/DMLS	Металлическая пыль	Ni, Ti, Al	Металлпыль: 0,01–0,1 мг/м <sup>3</sup> Ni: до 0,02 мг/м <sup>3</sup>	Очень высокий / СИЗ+фильтры
Binder Jetting	Пыль, пары	Связующие	Пыль: 0,5–5 мг/м <sup>3</sup> VOC: 50–500 мкг/м <sup>3</sup>	Средний / Респиратор
Material Jetting	Пары смол	Акрилаты	VOC: 100–400 мкг/м <sup>3</sup> Акрилаты: до 200 мкг/м <sup>3</sup>	Средний / Перчатки

## **Влияние вредных факторов на здоровье**

Различные вредные факторы, возникающие при 3D-печати, оказывают комплексное воздействие на организм человека. Степень влияния зависит от типа материалов, условий работы, наличия вентиляции и длительности контакта. Ниже приведены основные направления негативного воздействия.

### **1. Воздействие ультрадисперсных частиц (УДЧ)**

Ультрадисперсные частицы размером  $<100$  нм легко проникают в дыхательные пути и могут достигать альвеол. Их влияние включает:

- раздражение слизистой носоглотки;
- воспалительные процессы в дыхательных путях;
- снижение функции лёгких при длительном воздействии;
- проникновение частиц в кровь при высоких концентрациях.

Наибольшую опасность УДЧ представляют при печати ABS, нейлоном и инженерными пластиками.[1]

### **2. Влияние летучих органических соединений (ЛОС)**

ЛОС выделяются при нагревании пластика или смолы и негативно действуют на организм:

**стирол (ABS)** — влияет на нервную систему, вызывает головную боль, тошноту, снижение концентрации внимания;

**формальдегид (PETG, ABS)** — раздражает дыхательные пути, слизистые оболочки глаз, классифицируется как канцероген;

**ацетальдегид (PLA, PETG)** — может вызывать головную боль и сухость в горле. При длительном воздействии ЛОС могут накапливаться в помещении, усиливая негативный эффект.

### **3. Влияние фотополимеров на здоровье**

При печати SLA/DLP опасность связана с жидкими мономерами:

вызывают **контактный дерматит**, покраснение и зуд кожи;

при попадании на кожу приводят к **сенсибилизации** — повышенной чувствительности организма, которая сохраняется всю жизнь;

пары смол раздражают дыхательные пути;

УФ-излучение может привести к поражению глаз и ожогам кожи.

Поэтому фотополимеры считаются одним из наиболее вредных материалов. [3]

### **4. Вред от порошковых материалов (SLS/SLM)**

Мелкодисперсные порошки способны попадать в дыхательные пути и вызывать:

раздражение слизистых оболочек;

аллергические реакции;

воспаление дыхательных путей;

накопление частиц металлов в организме (при работе с титаном, никелем, кобальтом). Металлические порошки могут обладать токсичностью и канцерогенным эффектом.

#### 5. Воздействие тепловых факторов

Высокие температуры нагревательных элементов FDM-принтеров могут привести к:

ожогам кожи при случайном контакте;

локальному перегреву воздуха, что вызывает усталость и снижение работоспособности.

#### 6. Шумовые и вибрационные воздействия

Уровень шума 50–70 дБ при длительной работе способен вызвать:

повышение уровня стресса;

раздражительность и утомляемость;

головные боли.

#### 7. Воздействие электротехнических факторов

Возможные последствия:

поражение электрическим током при неисправности оборудования;

риск возгорания, связанный с перегревом компонентов. [4]

### **Меры снижения вредных факторов**

#### 1. Вентиляция и фильтрация

Локальная вытяжная вентиляция над рабочей зоной.

HEPA- и угольные фильтры в закрытых камерах принтера.

#### 2. Выбор материалов

Использование менее токсичных пластиков (PLA вместо ABS).

Хранение и использование фотополимеров в герметичных ёмкостях.

#### 3. Организация рабочего места

Размещение принтера в отдельном помещении.

Разделение зон хранения материалов и зон печати. [3]

#### 4. Средства индивидуальной защиты

Респираторы класса FFP2/FFP3 при работе с порошками и печати ABS.

Нитриловые перчатки при работе с фотополимерами.

Защитные очки.

#### 5. Технологические меры

Использование закрытых принтеров.

Минимизация температуры печати.

Регулярное обслуживание оборудования. [1]

Литература:

1. Волкова В. Н., Печугина Е. Е. Опасные и вредные факторы при работе с 3D-принтерами. — М.: Техника и технологии, 2020. С. 59-62.
2. Елагин С. В. Технологии аддитивного производства: основы, материалы и оборудование. — Санкт-Петербург: Питер, 2021. С. 41-52.
3. Климов А. В., Сафонов А. Ю. Полимерные материалы для FDM-печати и их влияние на окружающую среду. // Журнал полимерных технологий. — 2022. С. 25-27.
4. Лапин Д. А. Безопасность труда при эксплуатации аддитивных установок. — Екатеринбург: УрФУ, 2019. С. 71-76.

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНЫХ УСЛОВИЙ ТРУДА НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ СЛЕСАРЯ ПО СБОРКЕ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

**Ю. Б. Дармажапова**

**Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, bairovna04@mail.ru**

**Научный руководитель: Виноградов А. В., ст. преп.**

*Рассмотрены статистические данные о востребованности, занятости слесаря по сборке металлоконструкций и данные о несчастных случаях; вредные и опасные факторы; средства индивидуальной защиты, обеспечивающие безопасные условия труда и снижение воздействия вредных факторов, а также мероприятия по обеспечению безопасных условий труда.*

*Statistical data on the demand for and employment of metal structure assembly fitters and data on accidents are considered; harmful and hazardous factors; personal protective equipment ensuring safe working conditions and reducing the impact of harmful factors, as well as measures to ensure safe working conditions.*

В современном мире, где металл является основой для множества сооружений и механизмов, профессия слесаря по сборке металлоконструкций занимает особое место. Эти специалисты – настоящие мастера своего дела, превращающие отдельные металлические элементы в сложные и надежные конструкции.

Основной задачей слесаря-сборщика металлоконструкций является сборка целых конструкций и их узлов из установленных в соответствии с чертежами металлических профилей и комплектующих деталей. В обязанности слесаря-сборщика металлоконструкций 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, выполнение операций, как очистка стыкуемых поверхностей от грязи, ржавчины и окалины, сверление, зенкование и нарезание резьбы, участие в испытаниях собранных конструкций на прочность и герметичность, а также контроль качества. Основные операции выполняются ручным инструментом: молотки, ключи, напильники, пневматические и электрические гайковерты, дрели и шлифовальные машины.

Слесарь по сборке металлоконструкций в городах Челябинск, Санкт-Петербург, Москва и Новосибирск хорошо востребован. В 2020 г. показатель в Челябинске равен 486, в Санкт-Петербурге – 782, в Москве – 331, в Новосибирске – 328. В 2021 г. в Челябинске – 765, в Санкт-Петербурге – 1694, в Москве – 806, в Новосибирске – 603. В 2022 г. в Челябинске – 915, в Санкт-Петербурге – 830, в Москве – 592, в Новосибирске – 586. В 2023 г. в Челябинске – 1354, в Санкт-Петербурге – 1410, в Москве – 903, в Новосибирске – 722. В 2024 г. в Челябинске – 806, в Санкт-Петербурге – 1316, в Москве – 551, в Новосибирске – 433. В 2025 г. в Челябинске – 380, в Санкт-Петербурге – 556, в Москве – 332, в Новосибирске – 211. (Рис. 6)[4]

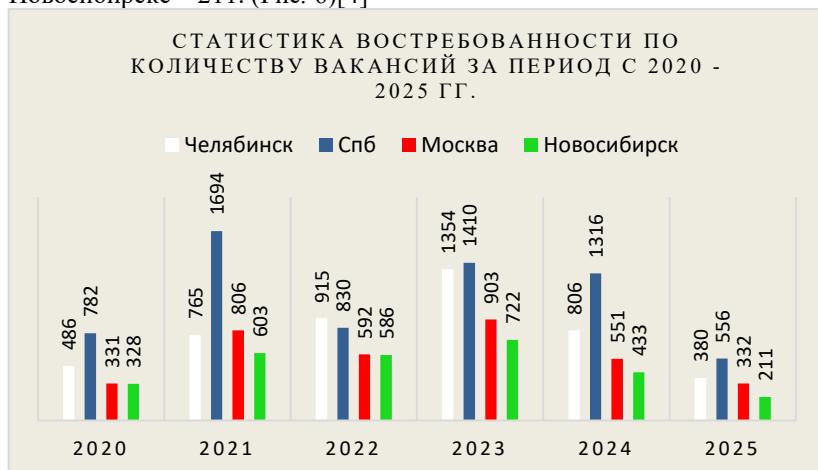


Рис. 6 – Статистика востребованности специальности по количеству вакансий с 2020 по 2025 гг.

Статистика среднесписочной численности работников в машиностроении в городах Челябинск, Санкт-Петербург, Москва и Новосибирск с каждым годом растет. В 2021 г. показатель в Челябинске равен 79,4 тыс. чел., в Санкт-Петербурге – 63,5, в Москве – 112,8, в

Новосибирске – 37,1. В 2022 г. в Челябинске – 80,4, в Санкт-Петербурге – 65,6, в Москве – 117,6, в Новосибирске – 39,8. В 2023 г. в Челябинске – 85,1, в Санкт-Петербурге – 66,9, в Москве – 130,2, в Новосибирске – 41,9. В 2024 г. в Челябинске – 88,1, в Санкт-Петербурге – 110,6, в Москве – 144,7, в Новосибирске – 43,5. (Рис. 7)[8]



Рис. 7 – Статистика среднесписочной численности работников в машиностроении за период с 2021 по 2024 гг.

С 2020 по 2023 год показан большой спрос на специальность. С 2024 по 2025 показатели востребованности убывают. На основании этого можно предположить, что спрос был связан с ростом отечественного производства, вызванное усилением внутренней экономики и снижением зависимости от импортных товаров, а его снижение с насыщением рынка, т.е. заполнение тех самых вакансий, которые были активны в предыдущие периоды.

Численность пострадавших при несчастных случаях на производстве в 2020 г. в Челябинске равна 667 людей, в Санкт-Петербурге – 651, в Москве – 1036, в Новосибирске – 366. В 2021 г. в Челябинске – 748, в Санкт-Петербурге – 759, в Москве – 1005, в Новосибирске – 412. В 2022 г. в Челябинске – 631, в Санкт-Петербурге – 749, в Москве – 828, в Новосибирске – 379. В 2023 г. в Челябинске – 713, в Санкт-Петербурге – 770, в Москве – 896, в Новосибирске – 387. В 2024 г. в Челябинске – 648, в Санкт-Петербурге – 804, в Москве – 973, в Новосибирске – 410. (Рис. 8) [5].

Анализ динамики производственного травматизма показывает относительную стабильность показателей в период с 2020 по 2024 год,

т.к. существуют источники риска, которые присутствуют на рабочих местах и при определенных условиях приводят к травматизму.



Рис. 8 – Численность пострадавших при несчастных случаях на производстве с 2020 по 2024 гг.

Стабильный спрос на специалистов привел к созданию и заполнению новых рабочих мест, что в свою очередь, создает конкурентную среду и является объективной предпосылкой для улучшения условий труда с целью привлечения и удержания квалифицированного персонала. Но ключевым элементом условий труда является обеспечение безопасности.

При работе слесарей по сборке металлоконструкций могут иметь место вредные и опасные производственные факторы, в том числе: [1]

- повышенный уровень шума и вибраций;
  - повышенная или пониженная температура окружающей среды, поверхностей оборудования, материалов;
  - подвижные части оборудования, инструмента, передвигающиеся изделия, заготовки, материалы;
  - отлетающие осколки и частицы металла и абразивных материалов;
  - острые кромки, заусенцы, шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов, оборудования, отходов;
  - повышенная запыленность воздуха металлической и абразивной пылью, сварочными аэрозолями;
  - недостаточная освещенность рабочей зоны;
  - возможность воздействия электрического тока и электрической дуги.
- Для улучшения безопасности труда и охраны здоровья слесарей-сборщиков, снижение воздействий вредных, опасных производственных

факторов и травматизма предусмотрены мероприятия организационного и технического характера.

Организационные меры служат основой для создания безопасной производственной среды. К ним относятся разработка и обязательное изучение работниками инструкций по охране труда, а также регулярное проведение инструктажей для ознакомления с потенциальными рисками. Важнейшими элементами этой системы являются организация периодических медицинских осмотров для персонала, работающего в условиях повышенной опасности, и назначение ответственных лиц, которые контролируют соблюдение всех норм техники безопасности.

Со стороны технического обеспечения безопасность достигается за счет требований безопасности ручных инструментов и основным требованиям безопасности при ручной дуговой сварке. (Рис. 9) [6].

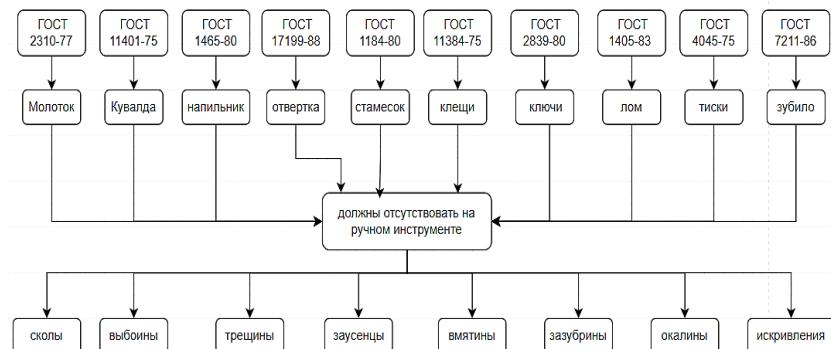


Рис. 9 – Требования безопасности ручных инструментов

Основные технические требования безопасности при ручной дуговой сварке: [7]

- 1) Работать только на постах с вытяжкой. Если деталь крупная – использовать переносные отсосы или респиратор.
- 2) Держать сварочные провода подальше от газовых труб: не менее 0,5 м от кислорода и 1 м от горючих газов.
- 3) Включать сварочный аппарат только через рубильник или штатное пусковое устройство.

Для защиты от вредных и опасных производственных факторов слесарю по сборке металлоконструкций должны выдаваться средства индивидуальной защиты (СИЗ). Таблица 1.

**Таблица 1. СИЗ для слесаря по сборке металлоконструкций [3]**

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 подносом
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

Таким образом, обеспечение безопасности труда слесаря по сборке металлоконструкций — это эффективная защита работника от многочисленных вредных и опасных производственных факторов, достигающая за счет организационных и технических мер, подкрепленных обязательным и правильным использованием средств индивидуальной защиты.

#### Литература:

1. РД 153-34.0-03.299/2-2001. Типовая инструкция по охране труда слесарей по изготовлению и сборке металлоконструкций.
2. Профессиональный стандарт «Слесарь по сборке металлоконструкций» от 04.08.2014 г. №237н.
3. Единые типовые нормы выдачи средств индивидуальной защиты в зависимости от идентифицированных опасностей, утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 29 октября 2021 г. № 767н.

4. Статистика «ТОП 10 городов по количеству вакансий в 2020 году» [Электронный ресурс] // ГородРабот.ру: [сайт]. – 2025. – URL: <https://russia.gorodrabot.ru/salaries/slesar-po-sborke-metallkonstrukcii?y=2020> (дата обращения: 20.11.2025).

5. Единая межведомственная информационно-статистическая система [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/31558> (дата обращения: 27.11.2025).

6. 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.

7. Правила по охране труда при выполнении электросварочных и газосварочных работ, утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 11 декабря 2020 г. N 884н.

8. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс] // Рынок труда, занятость и заработная плата. – URL: [https://rosstat.gov.ru/labor\\_market\\_employment\\_salaries](https://rosstat.gov.ru/labor_market_employment_salaries). (дата обращения: 25.11.2025).

## **АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ТРУДА И ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ СТАЛЕВАРА НА ООО «СИБЛИТМАШ»**

**Д. В. Дмитриева**

**Новосибирский государственный технический университет,**

**г. Новосибирск, bondareva.2022@stud.nstu.ru**

**Научный руководитель: Зубашевский К. М., ст. преп.**

*В статье представлен анализ условий труда и профессиональных рисков на рабочем месте сталевара электропечи 5 разряда на основе данных специальной оценки условий труда и оценки профессиональных рисков. Выявлены наиболее значимые вредные и опасные производственные факторы, предложены меры по снижению профессиональных рисков.*

*The article presents an analysis of working conditions and occupational risks at the workplace of a 5th-grade electric furnace steelmaker based on data from a special assessment of working conditions and an assessment of occupational risks. The most significant harmful and dangerous production factors have been identified, and measures have been proposed to reduce occupational risks.*

ООО «Сиблитмаш» - промышленное предприятие, расположенное в Кировском районе города Новосибирск. Предприятие специализируется на литейном производстве и металлообработке. В литейном цехе №1

предприятия осуществляется технологический процесс сталеплавильного производства, где ключевой фигурой является сталевар электропечи.

Сталевар ведёт процесс расплавления металлического сырья в печах, регулирует параметры высокой температуры для получения нужного состава и качества металла. Также участвует в формовке и разливе металла, обеспечивая равномерное распределение и предотвращая дефекты.

На основании данных специальной оценки условий труда, проведенной на рабочем месте сталевара, выявлен комплекс вредных и опасных производственных факторов, оказывающих негативное воздействие на здоровье работников. Факторы приведены ниже в таблице (Таблица 1).

**Таблица 1 – Результаты специальной оценки условий труда**

Фактор производственной среды	Класс условий труда	Характеристика воздействия
Химический фактор	3.2	Систематическое воздействие оксида углерода
Аэрозоли преимущественно фиброгенного действия	3.3	Постоянное образование земляной взвеси и пыли
Параметры микроклимата	3.3	Воздействие высокой температуры от расплавленного металла
Тяжесть трудового процесса	3.2	Физические перегрузки при работе с оборудованием
Шум	2	Постоянное воздействие оборудования цеха
Итоговый класс условий труда	3.4	

Анализ данных показывает, что наиболее значительными факторами являются параметры микроклимата и воздействие аэрозолей, что обусловлено спецификой технологического процесса плавки металла.

По данным карты оценки профессиональных рисков сталевара электропечи идентифицированы наиболее опасные факторы:

1. Термовой удар при длительном нахождении вблизи открытого пламени - риск умеренный;
2. Ожог роговицы глаза - риск умеренный;
3. Повреждение органов дыхания частицами пыли - риск низкий;
4. Отравление воздушными взвесями вредных химических веществ в воздухе рабочей зоны - риск низкий;
5. Опасность повреждения мембранный перепонки уха, связанная с воздействием шума высокой интенсивности - риск низкий.

На предприятии используются следующие меры защиты:

1. Костюмы для защиты от повышенных температур;
2. Сапоги для защиты от контакта с нагретыми поверхностями, кратковременного воздействия открытого пламени;
3. Перчатки для защиты от выплесков расплавленного металла, кратковременного воздействия открытого пламени механических воздействий (истирания);
4. Подшлемник для защиты от выплесков расплавленного металла;
5. Каска защитная от повышенных температур;
6. Противоэрзольные, противогазовые, средства индивидуальной защиты органов дыхания с изолирующей лицевой частью;
7. Щиток защитный лицевой от теплового излучения;
8. Очки, закрытые от механических воздействий, в том числе с покрытием от запотевания (защита от пыли).

На основе проведенного анализа предлагаются следующие меры защиты:

- 1) Совершенствование систем защиты:
  - а) Внедрение современных теплоотражающих костюмов;
  - б) Установка дополнительных теплоотражающих экранов в рабочей зоне;
  - в) Модернизация систем вентиляции.
- 2) Организационные мероприятия:
  - а) Оптимизация режимов труда и отдыха;
  - б) Организация зон отдыха и приема пищи вдали от производственного участка.

Согласно результатам специальной оценки труда установлено, что условия труда сталевара на предприятии ООО «Сиблитмаш» относятся к вредным (класс 3.4). Наиболее значительными рисками являются тепловой удар и ожог роговицы глаза. Реализация предложенных мероприятий позволит снизить профессиональные риски и сохранить здоровье работников.

**Литература:**

1. Карта оценки профессиональных рисков №55 сталевара электропечи 5 разряда. ООО «Сиблитмаш». – Новосибирск, 2024. – 62 с.
2. Карта № 673-18А специальной оценки условий труда сталевара электропечи 5 разряда. ООО «Сиблитмаш». – Новосибирск, 2024. – 1909 с.
3. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197-ФЗ (ред. от 24.04.2024).

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕДНЫХ И ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ ГАЗОРЕЗЧИКА НА НПО «ЭЛСИБ» ПАО**

**A. С. Игнатова**

**Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, ignatovaas2002@gmail.com**

**Научный руководитель: Белоусова Н. С., к.т.н.**

*В данной работе проведён комплексный анализ вредных и опасных факторов, действующих на газорезчика на предприятии НПО «Элсиб» ПАО. Рассмотрены основные категории факторов производственной среды: физические, химические, механические и психофизиологические, а также приведены специфические примеры их проявления для условий металлообрабатывающего завода.*

*This article provides a comprehensive analysis of the harmful and dangerous factors affecting the workplace of a gas cutter at the Elsib NPO PJSC. The main categories of industrial environment factors are considered: physical, chemical, mechanical, and psychophysiological, and specific examples of their manifestation in a metalworking plant are provided.*

НПО «ЭЛСИБ» ПАО — крупнейшее за Уралом электромашиностроительное предприятие, расположенное в городе Новосибирске. Предприятие выпускает турбогенераторы мощностью от 6 до 500 МВт, гидрогенераторы, высоковольтные асинхронные и синхронные электродвигатели для промышленных нужд, включая взрывозащищенные и атомные исполнения, а также системы

возбуждения и электромашинные преобразователи частоты. Эта продукция применяется на теплоэлектростанциях, гидроэлектростанциях, атомных станциях и в крупных промышленных предприятиях, причем завод обеспечивает полный цикл от проектирования до обслуживания и ремонта оборудования [1].

Рабочее место газорезчика характеризуется воздействием комплекса вредных и опасных факторов, которые значительно влияют на здоровье и безопасность труда. Ниже представлены основные категории и примеры подобных факторов, а также особенности их проявления для газорезчика на данном предприятии.

Вредные и опасные производственные факторы — это условия или элементы профессиональной среды, которые могут привести к развитию заболеваний, травмам или аварийным ситуациям у работников. К ним относятся как физические, химические, так и организационные компоненты рабочего процесса.

Рабочий процесс газорезчика сопровождается выделением токсичных веществ. В воздухе рабочей зоны присутствуют следующие газы, описанные в таблице 1 [2].

**Таблица 1 – Содержание и влияние токсичных газов**

Токсичный газ	Примерное содержание / концентрация	Влияние на здоровье и особенности
Окись углерода (CO)	До 32–44 мг/м <sup>3</sup> (выше ПДК)	Высокотоксичный газ, блокирует кислород в крови, опасен при вдыхании
Окислы азота (NO, NO <sub>2</sub> )	Не превышают ПДК при нормальных условиях	Раздражают дыхательные пути, токсичны, способствуют образованию смога
Озон	В малых концентрациях	Раздражает слизистые, глаза, дыхательные пути, токсичен
Фтористый водород	Очень низкие концентрации	Разъедает дыхательные пути, высокотоксичен
Пары металлов и аэрозоли	Концентрация зависит от типа и состава стали	Токсичны, могут вызывать профессиональные заболевания легких и кожи

Вредные вещества вызывают токсические реакции в организме через несколько ключевых механизмов, таких как повреждение клеточных структур, окислительный стресс, ингибиция ферментов и нарушение метаболизма. Эти процессы могут привести к серьезным заболеваниям и нарушению функций органов, что подчеркивает необходимость строгого

контроля и профилактики воздействия токсинов. Основные механизмы вредного воздействия включают:

1. Прямое цитотоксическое действие на клетки органов дыхания, печени, почек и нервной системы.
2. Провокацию оксидативного стресса через образование свободных радикалов, что приводит к повреждению ДНК, липидов и белков.
3. Нарушение работы ферментов и митохондрий, что ухудшает клеточный метаболизм и энергетический баланс.
4. Иммуносупрессию, снижение общей сопротивляемости организма к инфекциям.
5. Генетические и эпигенетические изменения, способствующие развитию злокачественных опухолей.
6. Токсичность особенно выражена при хронической экспозиции и может вести к таким заболеваниям, как хронические бронхиты, пневмокониозы, болезни почек, неврологические расстройства и раковые заболевания.

На рисунке 1 показаны основные факторы травматизма на рабочем месте газорезчика за 2024 год. Как видно из статистики основной причиной травматизма является механические факторы, например, попадание в движущиеся механизмы, удары, порезы.

### Основные причины травматизма 2024 года

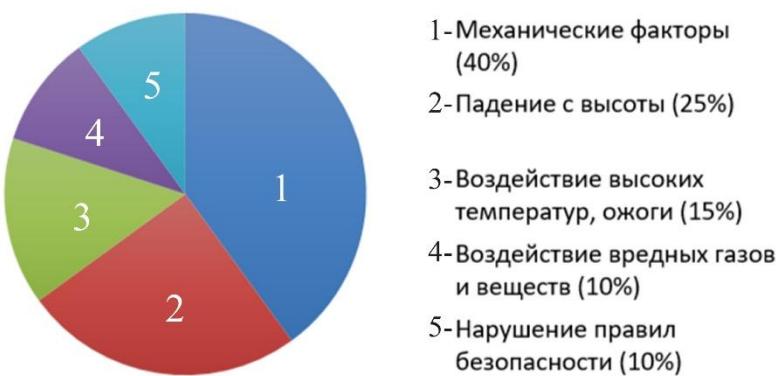


Рис. 1 - Факторы травматизма 2024 года

Диаграмма показывает главные причины производственного травматизма в России в 2024 году. Основной фактор - неудовлетворительная организация работ, на которую приходится около трети всех случаев. Также значительную долю занимают технические

неисправности, нарушения правил и дисциплины труда. Эти данные подчеркивают важность правильной организации и контроля на производстве для снижения травматизма [5].

Таким образом, рабочее место газорезчика подвержено комплексному воздействию химических, физических, механических и психофизиологических вредных и опасных факторов, требующих системной оценки рисков и внедрения эффективных мер защиты персонала.

На рисунке 2 представлено сравнение количества несчастных случаев на производстве в России за 2023 и 2024 годы. В 2024 году наблюдается рост общего числа травмированных на 7,4%. Эти данные свидетельствуют о сохраняющейся актуальности вопросов охраны труда и подчеркивают необходимость продолжения работы по улучшению безопасности на рабочих местах и предотвращению травматизма.

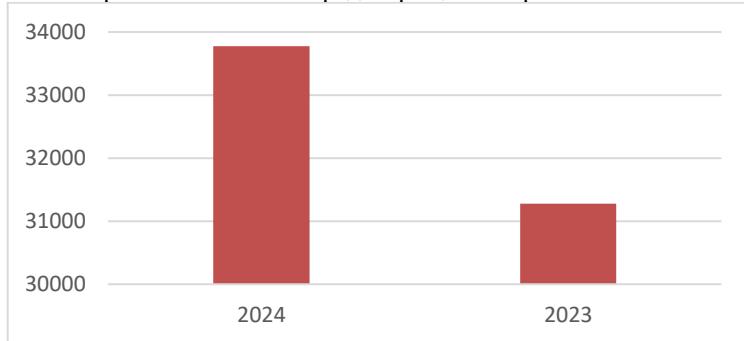


Рис. 2 - Статистика несчастных случаев с участием газорезчиков за 2023-2024 годы по России

Настоящая работа анализирует совокупность вредных и опасных факторов, с которыми сталкивается газорезчик. Основное внимание удалено физическим, химическим, механическим и психофизиологическим аспектам рабочей среды, подкреплённым статистикой металлообрабатывающего производства. [3].

#### Литература:

1. Официальный сайт НПО «Элсиб» ПАО. [Электронный ресурс] - URL: <https://elsib.ru/ru/> (дата обращения: 23.11.2025).
2. ГОСТ 12.3.003-86 ССБТ. Работы электросварочные. Требования безопасности.

3. Единая межведомственная информационно-статистическая система [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/31559> (дата обращения: 25.11.2025).
4. РД 153-34.0-03.288-00 — «Типовая инструкция по охране труда для газосварщиков (газорезчиков)»
5. Приказ от 11 декабря 2020 г. № 884н Об утверждении правил по охране труда при выполнении электросварочных и газосварочных работ

## АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА ИСПЫТАТЕЛЯ СПЕЦИЗДЕЛИЙ В КОНТРОЛЬНО- ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ ПАТРОННОГО ЗАВОДА

Т. А. Коваленко

Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, tania30.11.89@mail.ru

Научный руководитель: Белоусова Н. С., к.т.н.

*В данной статье проводится анализ и оценка профессионального риска профессии испытателя специзделений в контрольно-испытательной станции. Управление рисками в профессиональной деятельности является эффективным инструментом для улучшений условий труда на рабочих местах. Актуальность исследования обусловлена требованием Положения о порядке проведения аттестации рабочих мест по условиям труда.*

*This article analyzes and assesses the professional risk of the profession of a special product tester at a control and testing station. Identifying risks in professional activities is an effective tool for improving working conditions at workplaces. The relevance of the study is due to the requirement of the Regulations on the procedure for conducting workplace certification for working conditions.*

### **Введение**

Контрольно-испытательная станция патронного завода – подразделение, предназначенное для проведения приемо-сдаточных испытаний партий стрелковых патронов. Испытания включают в себя проверку геометрических размеров, внешний вид и самые объемные и опасные испытания – это стрельба из баллистического и реального оружия. Стрельбовые испытания патронов проводит испытатель специзделений.

Испытатель специзделений – это технический специалист, работающий на стыке машиностроения, химии, физики и военного дела. Его задача – проведение испытаний артиллерийских, стрелковых, авиационных, инженерных боеприпасов на прочность, устойчивость, надёжность, безопасность, определение соответствия продукции стандартам и

требованиям заказчиков. Испытатель участвует на всех этапах испытаний: от лабораторных тестов до полигонных стрельб, анализирует результаты и даёт заключения для допуска продукции к эксплуатации [1].

Целью данной работы является анализ и оценка профессиональных рисков в деятельности испытателя специзделей для разработки мероприятий по улучшению условий труда и минимизации воздействия вредных и опасных производственных факторов в испытательных станциях патронного производства. Оценка рисков профессии проведена матричным методом согласно Приказу Минтруда РФ от 28.12.2021 N 926 «Об утверждении рекомендаций по выбору методов оценки уровней профессиональных рисков и по снижению уровней таких рисков» [2].

При проведении стрельбовых испытаний стрелковых патронов в контрольно-испытательной станции патронного производства испытатель специзделей подвергается различным вредным производственным факторам [3].

Реестр рисков и опасностей по видам работ испытателя специзделей формируется путем сбора информации через контрольные опросные листы. В опросе участвовали инженерно-технический персонал контрольно-испытательной станции и десять испытателей специзделей. Всего выявлено 30 рисков с различными последствиями тяжести.

Оценка вероятности, степень тяжести возможных последствий и определение уровня рисков проводилась по таблице 1.

Для каждой идентифицированной опасности определяется степень риска - низкая, средняя, высокая - в зависимости от вероятности и тяжести потенциального вреда от воздействия данной опасности [4].

**Таблица 1 - Оценка рисков**

Вероятность	Тяжесть последствий		
	Умеренный вред	Средний вред	Тяжелый вред
Маловероятно	Низкий (1)	Низкий (1)	Умеренный (2)
Вероятно	Низкий (1)	Умеренный (2)	Высокий (3)
Высокая вероятность	Умеренный (2)	Высокий (3)	Высокий (3)

Для оцененных рисков как высокие и недопустимые, были разработаны мероприятия для их устранений или минимизации (Рис. 1).

Есть риски умеренный или низкие и оценивается как приемлемые, рекомендуется их отслеживать и периодически оценивать для оценки их влияния.

**Риски их причины**  
**Мероприятия по управлению рисками**



***Риски их причины***  
***Мероприятия по управлению рисками***

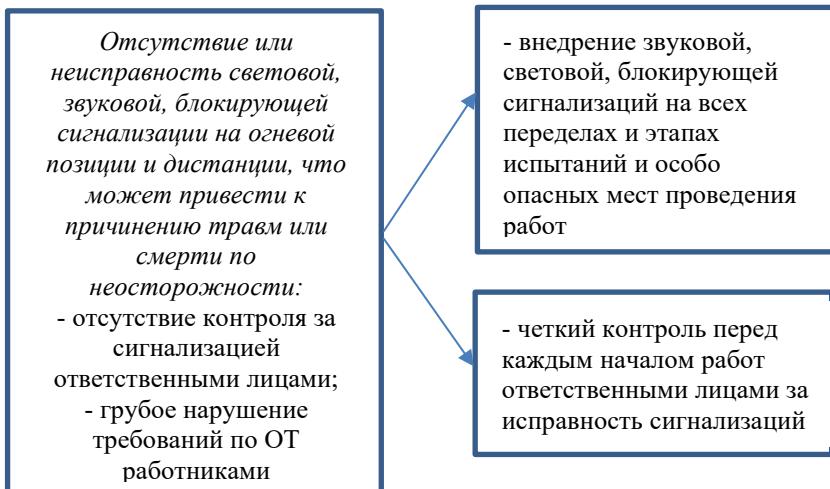


Рис. 1 - Мероприятия для управления выявленных рисков

### **Заключение**

Как видно, при оценке рисков, возникающих в результате воздействия опасных производственных факторов в профессиональной деятельности испытателя специзделей в контрольно-испытательной станции патронного завода, матричным методом, было выявлено 4 риска с высоким показателем, которые требуют особого внимания и для которых были разработаны мероприятия по их управлению.

Данная работа позволяет увидеть, что матричный метод оценки рисков для профессии испытателя специзделей выявляет достаточно обширный список и разновидность проблем в этой сфере.

Для разработки мероприятий по улучшению условий труда данной профессии сформированный реестр рисков можно внедрять на аналогичных предприятиях, а также на предприятиях-изготовителях оружия, пороха, так как характер работ аналогичен.

### **Литература:**

1. Данилин Г. А., Афанасьев, Заволокин А. С., А. Б., Никулин Е. Н. Экспериментальная баллистика и полигонные испытания стрелкового оружия/ учебное пособие/ – Балт. гос. техн. ун-т – Санкт-Петербург, 2007. – 207 с.

2. Приказ Министерство Труда и социальной защиты РФ от 28 декабря 2021 г. № 926 «Об утверждении рекомендаций по выбору методов оценки уровней профессиональных рисков и по снижению уровней таких рисков».

3. Инструкция по охране труда № 190 для работников, занятых на операциях «Приемо-сдаточные испытания в КИС АО «НПЗ» партий патронов калибра 7,62 мм; 12,7мм; 9,0CH; 9,3x64; 9x53R».

4. Руководство по качеству контрольно-испытательной станции АО «НПЗ» - 113 с.

## **АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА ПРИ РАБОТЕ С МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ СИСТЕМАМИ ПОДАЧИ ТОПЛИВА В КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ**

**В. В. Кривошеков**

**Новосибирский государственный технический университет,**

**г. Новосибирск, krivoshhekov.2021@stud.nstu.ru**

**Научный руководитель: Поляков Ю. О., к.т.н., доцент**

*В данной статье проведен анализ производственного травматизма при эксплуатации механизированных систем подачи топлива в котельные установки. Рассмотрены статистические данные по основным видам происшествий, выявлены характерные опасные зоны и факторы риска. На основе проведенного анализа предложены практические рекомендации по совершенствованию систем безопасности.*

*This article analyzes occupational injuries during the operation of mechanized fuel supply systems in boiler units. Statistical data on the main types of incidents is reviewed, and typical hazard zones and risk factors are identified. Based on this analysis, practical recommendations for improving safety systems are proposed.*

Механизированные системы подачи топлива являются неотъемлемой частью современных котельных установок, работающих на твердом топливе. Несмотря на снижение доли ручного труда, уровень травматизма при эксплуатации этих систем остается высоким. По данным Ростехнадзора, на механизмы топливоподачи приходится до 40% всех несчастных случаев в котельных.

Актуальность проблемы обусловлена как тяжестью последствий травм, так и значительными экономическими потерями от простоев оборудования. Средний ущерб от одного несчастного случая с механизированным оборудованием составляет 1,2-1,5 млн рублей. Комплексный анализ причин травматизма позволяет разработать эффективные превентивные меры.

Основное оборудование котельной — это системы механизированной подачи твердого топлива. Механизмы подачи топлива классифицируются по типу рабочего органа (ленточные транспортеры, шнековые питатели, элеваторы, скребковые конвейеры), по принципу действия (непрерывного и циклического действия), по способу привода (электрические, пневматические, гидравлические), по направлению транспортировки (горизонтальные, наклонные, вертикальные), по производительности (малой — до 10 т/ч, средней — 10-50 т/ч, большой — свыше 50 т/ч). В зависимости от вида топлива скорость движения рабочих органов варьируется от 0,5 до 3,5 м/с, а мощность приводов — от 5 до 250 кВт.

Основными видами травм при работе с механизированными системами подачи топлива являются:

— Механические травмы: получение ушибов и переломов при затягивании одежды и конечностей в движущиеся части транспортеров, шнеков и элеваторов, получение ушибов и переломов при обслуживании работающего оборудования, травмы от падающих элементов конструкций.

— Термические травмы: ожоги от контакта с горячими поверхностями паропроводов и котлов, термические поражения от выбросов перегретого топлива и пара, тепловые удары при работе в зонах повышенных температур.

— Электротравмы: поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования без отключения от сети, работа с неисправной пускорегулирующей аппаратурой, нарушение изоляции силовых кабелей.

— Травмы от падений: падения с лестниц и площадок обслуживания из-за скользких поверхностей, недостаточного освещения и нарушения организации рабочих мест, падения при переходе по транспортным галереям.

— Профессиональные заболевания: заболевания органов дыхания от систематического вдыхания угольной пыли, вибрационная болезнь от работы с ручным инструментом, снижение слуха от постоянного воздействия шума работающего оборудования.

В процентном соотношении при работе с механизированными системами подачи топлива в котельные установки, в основном, получают механические травмы и травмы от термического воздействия. (Рис. 1.)



Рис. 1 – Диаграмма получаемых травм на производстве

Проводя анализ производственного травматизма при работе с механизированными системами подачи топлива, с помощью статистического метода удалось выявить, что наиболее уязвимыми частями тела являются:

- При механических травмах: кисти рук и пальцы, предплечья и локтевые суставы, голова и лицо, стопы и голени.
- При термических травмах: кисти и предплечья, лицо и глаза, шея, стопы и голени.

Распределение травм по частям тела демонстрирует систематическое нарушение требований к полному комплекту СИЗ и недостаточный контроль за их применением.

На основе результатов анализа производственного травматизма при работе с механизированными системами подачи топлива в котельные установки следует осуществлять меры профилактики производственных травм, такие как:

Обучение и подготовка персонала включают регулярное проведение инструктажей. Организуется ежесменный инструктаж с разбором характерных опасных ситуаций, проводятся ежеквартальные тренировки по отработке действий при авариях, осуществляется обучение правилам блокировки оборудования при выполнении ремонтных работ.

В сфере совершенствования средств индивидуальной защиты проводится комплекс мероприятий по защите от механических травм. Внедряются термостойкие перчатки с усиленной защитой пальцев и ладоней, используются противоударные каски с защитными щитками для лица, применяется специальная обувь со стальным подноском и противоскользящей подошвой. Для защиты от термических воздействий работники оснащаются термостойкими костюмами для работы в зонах высоких температур, внедряются защитные очки и маски с

термостойкими стеклами, используются теплоизолирующие накладки на элементы оборудования.

Таким образом, реализация этих мер в совокупности создаст прочный фундамент для устойчивого снижения производственного травматизма и обеспечения достойных условий труда.

**Литература:**

1. Правила безопасности при эксплуатации теплопотребляющих установок и тепловых сетей потребителей. – М.: Ростехнадзор, 2023. – 214 с.
2. Семенов П. В., Громов С. А. Современные системы безопасности механизированного оборудования // Энергетик. – 2024. – № 3. – С. 45-51.
3. Федоров Л. Д., Кузнецов Е. С. Анализ рисков при эксплуатации систем топливоподачи. – Новосибирск: Наука, 2023. – 228 с.

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ МАНЕВРОВОЙ РАБОТЫ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

**М. Н. Максимихин**

**Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, maksimixin.2022@stud.nstu.ru**  
**Научный руководитель: Зубашевский К. М., ст. преп.**

*В статье проведен комплексный анализ системы обеспечения безопасности технологических процессов маневровой работы на железнодорожной станции. Выделены и классифицированы ключевые технологические операции, идентифицированы присущие им опасные и вредные производственные факторы. Сформулированы практические рекомендации по совершенствованию систем управления охраной труда.*

*The article provides a comprehensive analysis of the safety system for technological processes of shunting operations at a railway station. Key technological operations are identified and classified, and their inherent hazardous and harmful production factors are identified. Practical recommendations are formulated for improving occupational safety management systems.*

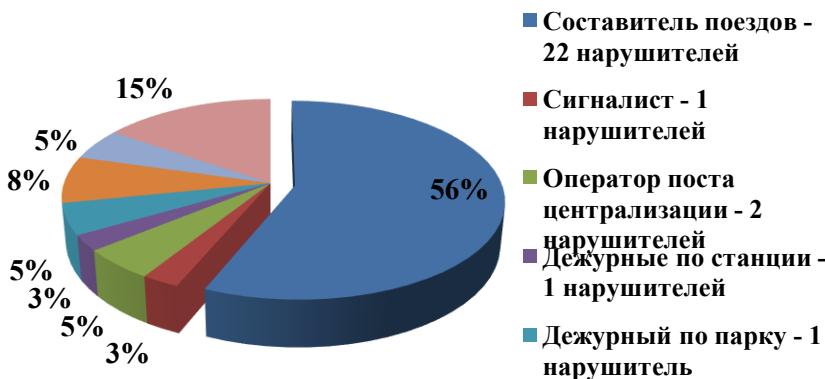
Железнодорожный транспорт остаётся одним из самых распространенных и развивающихся видов транспорта с точки зрения обеспечения безопасности [1]. Масштабная система взаимодействия работников, машин и технологических процессов требует системного подхода к оценке и управлению рисками. Особое значение в этом контексте имеет деятельность составителя поездов, который непосредственно участвует в маневровой работе.

Составитель поездов осуществляет непосредственное руководство и выполняет маневры по формированию, расформированию, перестановке составов и отдельных вагонов [2].

Восточно-сибирская дирекция управления движением подвела итоги анализа производственного травматизма за 2025 год, в результате которого были выявлены сотрудники, наиболее подверженные риску получения травмы, представленные на рисунке 1.

Наибольшую группу риска составляют составители поездов. На их долю приходится 56% всех нарушений требований охраны труда по итогам 6 месяцев 2025 года [3].

Рис. 1.-Основные профессии работников, нарушивших требования охраны труда [3].



За отчетный период 2025 года в Центральной дирекции управления движением (ЦД) зафиксировано 11 несчастных случаев на производстве. В сравнении с аналогичным периодом 2024 года (15 случаев) наблюдается снижение общего количества инцидентов на 26,7% [4].

Распределение по тяжести последствий в 2025 году:

- смертельные исходы: 2 случая (снижение на 2 случая по сравнению с 2024 г.);

- тяжелые исходы: 2 случая (снижение на 3 случая);

- легкие исходы: 7 случаев (рост на 1 случай).

Анализ перечня несчастных случаев позволяет выделить следующие основные виды происшествий и их причины:

- наезд подвижного состава: является наиболее опасным видом инцидентов, приведшим к смертельным и тяжелым травмам (как минимум 3 случая). Основные способствующие факторы – нарушение

требований безопасности при нахождении вблизи путей и организации маневровой работы;

- падение с высоты: зафиксировано 3 случая, включая один смертельный (спрыгивание с движущегося вагона) и два легких (поскользнулся, ударился о конструкцию). Причины варьируются от нарушения правил эксплуатации транспорта до неосторожности и поспешности действий;

- придавливание предметом/контактные удары: 2 случая с легким исходом, связанные с эксплуатацией тормозных башмаков и ударом о раму вагона. Причина – невнимательность и неосторожность.

- дорожно-транспортные происшествия: 1 случай (легкий исход) при следовании к месту работы.

- чрезвычайные ситуации и ухудшение здоровья: 2 случая (легкий и тяжелый исходы), связанные с внешним воздействием (пожар) и внезапной потерей сознания по состоянию здоровья.

Ключевые проблемные зоны, в которых были зафиксированы несчастные случаи:

- Человеческий фактор - в значительном числе случаев (не менее 5) в качестве причин указаны неосторожность, невнимательность, поспешность и нарушение трудовой дисциплины, в одном случае – нахождение на рабочем месте в состоянии алкогольного опьянения.

- Организация работ - выявлены недостатки в организации маневровой работы, не обеспечивающей безопасность персонала, а также в проведении инструктажей.

- Работа с персоналом малого стажа - не менее 5 пострадавших имели стаж работы менее 1 года, что указывает на потенциальные пробелы в адаптации и обучении новых сотрудников.

Сохраняется высокий уровень травматизма, обусловленный преимущественно поведенческими и организационными факторами.

В анализе состояния условий и охраны труда, электробезопасности в восточно-сибирской дирекции управления движением за 6 месяцев 2025 года/ 2024 года определены основные задачи по улучшению условий труда, такие как [3]: актуализация документов по электробезопасности, проведение оценки профессиональных рисков за 10-летний цикл, анкетирование работников по качеству СИЗ, выполнение корректирующих мероприятий по итогам проверок комплексной системы оценки состояния охраны труда на производственном объекте, активизация работы по выявлению нарушений через систему "Человек на пути", обучение уполномоченных по охране труда [5].

Проведя анализ имеющихся данных, был сделан вывод, что наиболее эффективным способом улучшения условий труда в настоящее время

будет активизация работы по выявлению нарушений через систему "Человек на пути", которая будет помогать контролировать работу составителей поездов, чья должность наиболее подвержена риску получения травмы [5].

**Литература:**

1. ОАО «РЖД». Отчет об устойчивом развитии за 2024 год / ОАО «РЖД». — 2024. — С. 221.
2. Должностная инструкция составителя поездов железнодорожной станции Братск / ОАО «РЖД». Вихоревский центр организации работы железнодорожных станций. — 2024. — С. 17.
3. ВСИБ Д-522 ПД от 29.07.2025, анализ состояния условий и охраны труда, электробезопасности в восточно-сибирской дирекции Управления движением За 6 месяцев 2025 года/ 2024 года.
4. Справка о состоянии производственного травматизма в Центральной дирекции управления движением на 07.11.2025.
5. Положение об организации в ОАО «РЖД» работы по системе информации «Человек на пути»: распоряжение ОАО «РЖД» от 14 марта 2016 г. № 410р.

## **ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ОЦЕНКА ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ЧАЙНОГО СЫРЬЯ**

**А. А. Образцов**

**Новосибирский государственный технический университет,**

**г. Новосибирск, obratzcov.2021@stud.nstu.ru**

**Научный руководитель: Милевский К. Е., к.т.н., доцент**

*Статья посвящена анализу условий труда и профессиональных рисков на предприятиях, занимающихся переработкой чайного сырья. В работе рассматриваются ключевые этапы технологического процесса — от поступления листа до его сушки, сортировки и упаковки, а также оцениваются основные опасные и вредные производственные факторы, возникающие при выполнении данных операций. Цель исследования — выявить ключевые опасности производства и предложить практические рекомендации, способствующие снижению воздействия вредных факторов.*

*This article analyzes working conditions and occupational risks at tea processing facilities. It examines key stages of the technological process—from leaf receipt to drying, sorting, and packaging—and assesses the main hazardous and harmful factors that arise during these operations. The goal of the study is to identify key production*

*hazards and offer practical recommendations to help reduce exposure to these harmful factors.*

Технологический цикл переработки чайного сырья включает несколько последовательных стадий: завяливание, скручивание, ферментацию (для чёрного чая), сушку, сортировку, очистку и упаковку. На каждом этапе применяется специализированное оборудование: конвейерные линии, сушильные аппараты, вибросепараторы, упаковочные автоматы.

Оборудование представляет собой потенциальные источники опасности вследствие движения механических частей, воздействия высоких температур, вибрации и шума. Дополнительным фактором риска является значительное образование пыли при сортировке, пересыпке и фасовке сырья. Несмотря на автоматизацию ряда процессов, ручные операции продолжают оставаться важной частью производства, что увеличивает вероятность травм и повышает физическую нагрузку на работников.

Одним из наиболее существенных факторов является чайная пыль, возникающая при сушке и сортировке. ПДК аэрозоля растительного происхождения ограничена значением **3 мг/м<sup>3</sup>**, однако даже концентрации **0,3–0,8 мг/м<sup>3</sup>** способны вызвать раздражение дыхательных путей, кашель и аллергические реакции. При длительном воздействии повышается риск хронических заболеваний дыхательной системы.

Работа сортировочных машин и упаковочных агрегатов сопровождается шумом уровня **85–90 дБ**, что соответствует вредному воздействию при продолжительной эксплуатации. Вибрация оборудования оказывает отрицательное влияние на опорно-двигательный аппарат работников.

Механические риски включают травмы, возникающие при ручной погрузке сырья, работе с движущимися частями механизмов и выполнении монотонных операций. Санитарно-химические факторы связаны с применением моющих средств и возможным микробиологическим загрязнением сырья при нарушении условий хранения. Пожароопасность обусловлена сухостью чайного листа и наличием пылевых отложений, которые могут способствовать возгоранию в условиях теплового воздействия.

Снижение профессиональных рисков в чайной промышленности обеспечивается сочетанием технических, организационных и индивидуальных мер. Технические решения включают улучшение вентиляции и применение локальных отсосов, что заметно уменьшает запылённость воздуха, а также использование герметичного оборудования и шумоизоляции для снижения влияния аэрозолей, шума и

вибрации. Защитные ограждения и блокировки механизмов предотвращают попадание работников в опасные зоны.

Организационные мероприятия направлены на повышение дисциплины и качества труда: регулярные инструктажи, обучение безопасным методам работы и ротация персонала уменьшают вероятность ошибок и снижают физическую нагрузку. Контроль микроклимата, уборка пыли и периодические замеры уровней вредных факторов позволяют своевременно выявлять неблагоприятные условия и принимать корректирующие меры.

Средства индивидуальной защиты служат важным дополнением: респираторы уменьшают воздействие пыли, наушники защищают слух, а перчатки, очки и спецодежда снижают риск травм и контакта с химическими веществами. Пожарная безопасность обеспечивается установкой систем автоматического тушения, регулярной очисткой оборудования от пыли и контролем технического состояния электрических сетей. Комплексное применение указанных мер формирует устойчивую систему охраны труда на предприятиях чайной отрасли.

Анализ условий труда на предприятиях по переработке чайного сырья показывает, что работники сталкиваются с комплексом опасных факторов: повышенной запылённостью, шумом, вибрацией, механическими и санитарно-химическими рисками. Эти факторы оказывают значительное влияние на здоровье персонала, продуктивность труда и качество выпускаемой продукции.

Предложенные технические, организационные и индивидуальные меры позволяют значительно снизить влияние вредных факторов и обеспечить соответствие современным требованиям охраны труда. Реализация рекомендаций способствует улучшению условий труда, снижению заболеваемости и повышению общей безопасности производственного процесса.

#### Литература:

1. Санитарные правила для предприятий чайной промышленности (СанПиН). – М.: Минздрав РФ, 2022. – 96 с.
2. Методы оценки и управления профессиональными рисками: методические рекомендации. – М.: Минтруд России, 2023. – 148 с.
3. Орлова Н. В., Жуков А. С. Безопасность процессов пищевой промышленности. – СПб.: Пищепромиздат, 2021. – 312 с.
4. Иванов П. Н., Корнеев Р. С. Вредные производственные факторы на предприятиях пищевой отрасли // Техника и технологии пищевых производств. – 2024. – № 2. – С. 57–63.

5. Международная организация труда (ILO). Руководство по обеспечению безопасности и гигиены труда на перерабатывающих предприятиях. – Женева: ILO, 2022. – 204 с.

## **ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ТРУДА ОБРУБЩИКА НА ООО «СИБЛИТМАШ»**

**К. Е. Остапченко**

**Новосибирский государственный технический университет,**

**г. Новосибирск, ostapchenkoxyeniya@gmail.com**

**Научный руководитель: Зубашевский К. М., ст. преп.**

*В статье рассмотрены условия труда на рабочем месте обрубщика литья. Были выявлены основные вредные и (или) опасные факторы с целью разработки эффективных мер по минимизации воздействия данных факторов.*

*The article discusses the working conditions at the workplace of a casting cutter. The main harmful and/or dangerous factors have been identified in order to develop effective measures to minimize the impact of these factors.*

ООО «СИБЛИТМАШ» - предприятие в г. Новосибирск, специализирующееся на литейном машиностроении. Предприятие занимается разработкой и производством автоматических формовочных линий, машин и комплексов для литья под давлением. Основные цехи оборудованы современным и по многим показателям уникальным оборудованием.

На любом производстве, где отливают металлические детали, есть очень важный этап – обрубка. Обрубка — это процесс удаления с отливки излишков металла, таких как прибыли, литники, выпоры и заусенцы, а также исправление дефектов поверхности. После того как раскаленный металл заливают в форму, и он остывает, получается грубая отливка с неровностями. Задача обрубщика – механическая обработка изделий после литья (рис. 1). Основными обязанностями обрубщика являются: удаление литников, заусенцев и других дефектов с металлических отливок; опиливание и зачистка поверхности; вырубка дефектных мест.

К выполнению работы по профессии обрубщик допускаются работники не моложе 18 лет, имеющие необходимую теоретическую и практическую подготовку, прошедшие медицинский осмотр и не имеющие противопоказаний по состоянию здоровья, прошедшие вводный и первичный на рабочем месте инструктажи по охране труда и

обучение по специальной программе, аттестованные квалификационной комиссией и получившие допуск к самостоятельной работе [1].

Обрубка литья выполняется вручную с применением молотка и зубила, либо с помощью пневматического молотка, который подключается к магистрали сжатого воздуха. Еще одним инструментом обрубщика шлифовальная машинка.



Рис. 1 – Пример работы обрубщика

При выполнении работы на обрубщика воздействуют такие вредные факторы, как повышенная запыленность, недостаточная освещенность, шум и вибрация при работе пневмомолотком (Таблица 1). Данные взяты из карты № 136А специальной оценки условий труда [2].

Опасными факторами являются отлетающие частицы при обрубке, которые создают риск попадания в глаза, а также риск поражения электрическим током при работе с инструментами [3].

**Таблица 1 – Оценка условий труда по вредным (опасным) факторам**

Наименование факторов производственной среды и трудового процесса	Класс (подкласс) условий труда
Химический	3.1
Аэрозоли преимущественно фиброгенного действия	3.3
Шум	3.3
Вибрация общая	3.2
Вибрация локальная	2
Тяжесть трудового процесса	3.2
Итоговый класс (подкласс) условий труда	3.4

На предприятии ООО «СИБЛИТМАШ» для снижения воздействия на обрубщика вредных и (или) опасных производственных факторов, указанных в таблице 1, предусмотрено использование следующих средств индивидуальной защиты (СИЗ):

1. Фильтрующие полумаски модели FFP2;
2. Противошумные наушники модели SNR37;
3. Рукавицы антивибрационные с брезентовым наладонником.

По итогам оценки условий труда основными вредными производственными факторами были выявлены шум (выше 80 дБ) и вибрация (локальная, от ручного инструмента), в связи с этим предложены следующие мероприятия по снижению их воздействия на обрабщика литья:

1. Контроль состояния и применения работниками средств индивидуальной защиты, в связи с ослабленным производственным контролем со стороны бригадиров;
2. Своевременная замена пневмомолотка, так как инструмент быстро изнашивается и воздействие вибрации усиливается;
3. Замена антивибрационных рукавиц на антивибрационные перчатки, которые эффективнее снижают передачу низкочастотной вибрации на руки работника (рис. 2);



Рис. 2 – Антивибрационные перчатки ВИБРОСТАТ-01

4. Использование более эффективных противошумных наушников, к примеру - 3M Peltor Optime III (рис. 3).



Рис. 3 – Противошумные наушники 3М Peltor Optime III

Анализ условий труда обрубщика литья на предприятии ООО «СИБЛИТМАШ» показал, что к наиболее значимым вредным и опасным факторам, воздействующим на рабочего, относятся высокий уровень шума, локальная вибрация, а также риск механического травмирования. По результатам специальной оценки условий труда установлен итоговый класс условий труда 3.4, что подтверждает необходимость реализации комплекса профилактических и защитных мероприятий. Разработанные предложения, включающие в себя применение более эффективных средств индивидуальной защиты, а также своевременную замену инструмента, носят практико-ориентированный характер.

Литература:

1. Перечень тяжелых работ и работ с вредными или опасными условиями труда, при выполнении которых запрещается применение труда лиц моложе восемнадцати лет: утв. постановлением Правительства РФ от 25 февраля 2000 г. № 163
2. Карта специальной оценки условий труда № 136А обрубщика 2 разряда. – ООО «СИБЛИТМАШ». – Новосибирск, 2024. – 4 с.
3. Карта оценки профессиональных рисков № 55 обрубщика 2 разряда. – ООО «СИБЛИТМАШ». – Новосибирск, 2024. – 3 с.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА СКЛАДАХ**

**П. Р. Прокофьев**

**Новосибирский государственный технический университет,**

**г. Новосибирск, prokofev.2021@stud.nstu.ru**

**Научный руководитель: Поляков Ю. О., к.т.н., доцент**

*В статье рассматриваются современные тенденции внедрения искусственного интеллекта (ИИ) в складской логистике. Рассмотрено влияние технологий машинного обучения, роботизации и компьютерного зрения на оптимизацию процессов и повышение безопасности труда. Приведены примеры российских компаний, использующих ИИ для автоматизации операций, управления запасами и контроля безопасности. Статья показывает перспективы развития «умных складов» в России.*

*The article examines current trends in the implementation of artificial intelligence (AI) in warehouse logistics. It considers impact of machine learning, robotics, and computer vision technologies on process optimization and workplace safety. Examples of Russian companies using AI for operational automation, management, and safety monitoring are provided. The article highlights the prospects for the development of «smart warehouses» in Russia.*

В последние годы развитие логистики в России тесно связано с цифровыми технологиями и автоматизацией. Увеличение объёмов поставок, рост числа интернет-заказов и требования к скорости обработки информации привели к активному внедрению искусственного интеллекта на складах. Искусственный интеллект позволяет не только повысить эффективность хранения и распределения товаров, но и улучшить безопасность труда и качество управления складскими процессами.

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.

С помощью алгоритмов машинного обучения анализируются исторические данные о продажах, сезонные колебания и поведение покупателей. Это позволяет оптимизировать уровень запасов, снизить риски дефицита и избыточных остатков.

2. Оптимизация маршрутов перемещения грузов.

ИИ рассчитывает кратчайшие пути транспортирования внутри склада, распределяя задачи между роботами и персоналом. Это сокращает время обработки и повышает производительность.

### 3. Контроль качества маркировки и упаковки.

С помощью систем компьютерного зрения происходит автоматическое считывание маркировки и контроль качества упаковки, распознание повреждения объектов.

4. Управление роботизированными транспортными средствами и манипуляторами, выполняющими операции перемещения и комплектации грузов;

### 5. Анализ эффективности операций и распределение персонала.

Системы аналитики в реальном времени анализируют производительность сотрудников, помогая руководителям перераспределять ресурсы и корректировать графики работы.

Внедрение ИИ в логистике обеспечивает сокращение времени обработки заказов, повышение точности учёта и снижение числа ошибок при комплектации заказов, вызванных человеческим фактором.

Перспективным направлением внедрения технологий искусственного интеллекта является повышение уровня безопасности труда. Современные склады и складские комплексы всё чаще используют интеллектуальные системы для контроля над соблюдением техники безопасности. Эта задача особенно актуальна, так как высокая концентрация техники, персонала и автоматизированных систем создаёт риск аварий и травм.

Системы компьютерного зрения (видеонаблюдение с элементами ИИ) способны в реальном времени распознавать отсутствие у персонала средств индивидуальной защиты (касок, перчаток, защитных очков, светоотражающих жилетов и др. средств), фиксировать пересечение опасных зон, превышение скорости передвижения погрузчиков. При обнаружении инцидента система подаёт сигнал оператору или автоматически останавливает работу техники при возникновении угрозы. Простым примером таких систем могут быть: сенсоры и персональные RFID-метки, установленные на оборудовании или сотрудниках склада, которые фиксируют движение объектов и помогают предотвращать столкновения, «умные каски», оснащённые вибрацией или звуковыми сигналами, предупреждающие работников о приближении к опасным зонам.

Алгоритмы машинного обучения, или предиктивная аналитика, анализируют накопленные данные о происшествиях, нештатных ситуациях, микротравмах и сбоях оборудования, прогнозируют возможные риски и предлагают корректирующие меры – изменение маршрутов, пересмотр графиков смен и оптимизацию расположения

стеллажей, что позволяет предотвращать несчастные случаи до их возникновения.

Кроме того, интеллектуальные датчики, подключенные к системе ИИ и встроенные в технику, отслеживают вибрации, перегрев и износ деталей, подавая сигналы о необходимости профилактического обслуживания или остановки механизма. Это снижает аварийность и делает работу складов более безопасной и устойчивой.

Таким образом, искусственный интеллект становится ключевым элементом обеспечения безопасности на складе, снижая риск человеческих ошибок и повышая надёжность работы техники.

Изучая зарубежный опыт внедрения ИИ в складской логистике, можно отметить значительные успехи в автоматизации процессов. Так, Компания Amazon применяет роботизированные комплексы «Kiva Systems», обеспечивающие автоматическую сортировку и транспортировку товаров. В компании DHL внедрены алгоритмы предиктивной аналитики, позволяющие прогнозировать пиковые нагрузки и оптимизировать маршруты доставки. Компания Alibaba использует системы машинного зрения «Sky Eye» для управления движением товаров на складах и контроля качества упаковки. Эти примеры показывают, что ИИ позволяет существенно повысить производительность труда, сократит время обработки заказов и снизить операционные расходы.

Российские компании следуют аналогичному пути, постепенно внедряя подобные решения в рамках собственных логистических сетей. Рассмотрим реальные примеры, представленные в таблице 1, внедрения искусственного интеллекта на складах в России.

**Таблица 1 – Примеры внедрения искусственного интеллекта на складах в России**

№ п/п	Компания/проект	Местоположение	Применяемая технология	Основной эффект
1.	ВкусВилл	Домодедово	Роботы-транспортёры (AGV), система компьютерного зрения и робот-инвентаризатор (устройство с телескопической мачтой и камерами для сканирования QR-кодов товаров на стеллажах и интегрирования данных с системой управления складом)	Автоматизация перемещения товаров, повышение точности учёта, снижение ошибок
2.	Почта России	Санкт-Петербург, Москва	Роботизированные сортировочные центры и системы прогнозирования загрузки	Ускорение обработки посылок, оптимизация потоков
3.	Ozon	Тверская обл., Подольск	Система ИИ-управления логистикой и автономные сортировочные линии	Увеличение производительности до 20 – 30%, сокращение времени сборки заказов
4.	Wildberries	Московская область, Екатеринбург	Система предиктивной аналитики и роботизированные тележки для перемещения заказов	Автоматизация транспортировки, сокращение издержек на персонал

5.	X5 Group (Пятёрочка, Перекрёсток)	Московская и Нижегородска я область	Интеллектуаль ные WMS- системы и предиктивные планирование поставок	Повышение точности инвентаризации, сокращение запасов на 15 – 20%
6.	СберЛогистика	Москва	Компьютерное зрение и машинное обучение для контроля отгрузок	Снижение числа ошибок при комплектации заказов
7.	Леруа Мерлен (Россия)	Московская область	ИИ-система маршрутизации техники и анализа нагрузки	Сокращение простоеv, повышение безопасности персонала

Эти проекты показывают, что внедрение ИИ в России происходит не только на уровне теоретических разработок, но и на уровне практической эксплуатации. Компании стремятся к повышению производительности и безопасности, одновременно снижая операционные затраты.

Использование искусственного интеллекта на складах обеспечивает значительные экономические и организационные преимущества. Применение искусственных технологий способствует сокращению расходов на персонал и энергопотребление, повышает точность учёта и скорости выполнения операций. Согласно данным аналитических агентств, инвестиции в цифровизацию складских процессов окупаются в среднем в течение 2 – 3 лет. Кроме того, внедрение таких систем позволяет снизить уровень травматизма, уменьшит количество несчастных случаев, простоев, затрат на компенсации, что улучшает условия труда и снижает производственные потери. К организационным преимуществам можно отнести повышение прозрачности процессов, укрепление трудовой дисциплины и усиление контроля над выполнением складских операций.

Но, несмотря на очевидные преимущества, внедрение искусственного интеллекта в российских компаниях затруднено высокой стоимостью оборудования и программного обеспечения, необходимостью интеграции с существующими ИТ-платформами, обеспечением защиты данных от несанкционированного доступа, отсутствие отраслевых стандартов, мешающих масштабированию решений, а также дефицитом квалифицированных кадров.

Тем не менее, рост числа успешных кейсов показывает, что использование ИИ становится массовым явлением. В ближайшие годы ожидается появление полностью автоматических складов, где ИИ будет управлять всем процессами – от контроля поставок до обеспечения безопасности работников.

Таким образом, искусственный интеллект уже сегодня играет ключевую роль в развитии складской логистики в России. Его применение позволяет оптимизировать процессы, значительно повысить безопасность и снизить издержки. Реальные примеры крупных российских компаний подтверждают, что внедрение ИИ является не просто технологической модой, а необходимым условием повышения конкурентоспособности и устойчивого развития логистической инфраструктуры. В перспективе искусственный интеллект станет основой создания «умных» складов нового поколения – полностью автоматизированных, безопасных и ориентированных на эффективность.

#### Литература:

1. Беспалов А. В. Цифровизация логистики: современные тенденции и технологии // Логистика и управление цепями поставок. – 2023. – № 2. – С. 15 – 21.
2. Кузнецов И. П. Искусственный интеллект в управлении складом // Экономика и производство. – 2022. – №4. – С. 98 – 105.
3. Чуприна О. Г. Автоматизация складских процессов на основе ИИ // Управление логистикой. – 2024. – № 1. – С. 47 – 54.
4. Машинное обучение и логистика: современные подходы // Логистика и управление цепями поставок. М., 2021. – № 1. – С. 10 – 18.
5. Интеллектуальные системы управления складом // Журнал «Современные технологии в логистике». – СПб., 2022. – № 3. – С. 25 – 32.
6. Роботизация складских процессов: практика и перспективы // Логистика и инновации. – М., 2023. – № 4. – С. 12 – 20.
7. Влияние ИИ на безопасность труда // Журнал «Логистика и технологии». – 2022. – № 2. – С. 30 – 36.
8. Применение ИИ на российских складах: кейсы компаний // Логистический вестник. – М. 2023. – № 1. – С. 8 – 15.
9. Смоленская Е. Е. Тенденции и перспективы развития цифровизации логистики и управления цепями поставок [Электронный ресурс] // Электронный сборник трудов молодых специалистов Полоцкого государственного университета. – № 31. – 2020. – URL: <https://elib.psu.by/bitstream/123456789/33294/1/247-249.pdf> (дата обращения: 26.10.2025).

10. Мониторинг глобальных технологических трендов [Электронный ресурс]. – URL: <https://issek.hse.ru/trendletter/news/217282293.html> (дата обращения 26.10.2025).

## АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ТРУДА РАБОЧИХ В ПРОЦЕССЕ ПРЕССОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ

О. А. Трунова

Новосибирский государственный технический университет

г. Новосибирск, [trunova.2022@stud.nstu.ru](mailto:trunova.2022@stud.nstu.ru)

Научный руководитель: Белоусова Н. С., доцент, к.т.н.

*Проведен анализ безопасности условий труда на участке прессования-вулканизации формовых резинотехнических изделий, который включает в себя специальную оценку условий труда, безопасность труда, организацию рабочего процесса и влияние повышенного уровня шума в рабочей зоне на производительность и качество продукции. На основе полученных результатов исследования нами даны рекомендации по улучшению условий труда.*

*An analysis of the safety of working conditions at the site of pressing and vulcanization of molded rubber products has been carried out, which includes a special assessment of working conditions, occupational safety, workflow organization and the impact of increased noise levels in the work area on productivity and product quality. Based on the research results, we have made recommendations for improving working conditions.*

Процесс прессовки изделий, будучи ключевым в производстве, 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 СИЗ.

Следует отметить, что 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 следующем 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. 10 – Гидравлический пресс

В ходе третьего этапа (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; разрешение инструмента; зажим и травма рук.



Рис. 11 – Гидравлический разъемник

Важно подчеркнуть, что условия труда на производстве формируются под влиянием взаимосвязанных факторов окружающей среды. Например, достаточное освещение является 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):

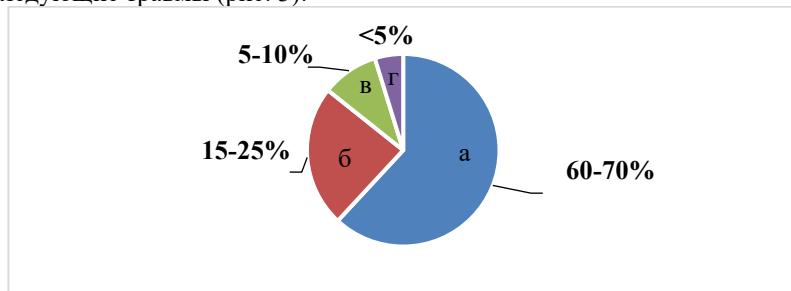


Рис. 12 – Статистика производственных травм: а - ампутация пальцев, кистей (захват рукой в рабочей зоне во время хода пресса); б - переломы костей рук, ушибы (удар подвижными частями пресса или падение заготовки); в - травмы от отлета детали или осколков; г - прочие (включая смертельные случаи)

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 <sup>3</sup>	0,1	20	2
Формальдегид, мг/м <sup>3</sup>	<0,3	0,5	2
Фенол (гидроксибензол), мг/м <sup>3</sup>	<0,18	1/0,3	2
Диоксид азота, мг/м <sup>3</sup>	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

Данные вредные вещества 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.

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.

**Литература:**

1. Федеральный закон от 28.12.2013 № 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда». – [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_156555/](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]. – URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_378702/](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.

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОГАЗОСВАРЩИКА НА ОБЪЕКТЕ «СМР СТРОЙ»**

**А. Е. Трухин**

**Новосибирский государственный технический университет,**

**г.Новосибирск, arstan121204@gmail.com**

**Научный руководитель: Зубашевский К. М., ст. преп.**

*На примере строительного объекта «СМР Строй» в Новосибирске рассматриваются особенности деятельности сварщика, выполняющего сварочные операции как в помещениях, так и на открытом воздухе. Технологический процесс сопряжён с воздействием высоких температур, интенсивного излучения, и образованием вредных аэрозолей, содержащих окислы железа, марганца и других элементов. Наибольшую опасность представляют мелкодисперсные частицы, способные проникать глубоко в дыхательные пути и вызывать хронические нарушения здоровья. Для обеспечения безопасности труда особое значение имеет вентиляция, которая даёт снижение концентрации вредных веществ.*

*Using the example of the SMR Stroy construction facility in Novosibirsk, the specifics of the welder's activities are considered, performing welding operations both indoors and outdoors. The technological process is associated with exposure to high temperatures, intense radiation, and the formation of harmful aerosols containing oxides of iron, manganese, and other elements. The greatest danger is represented by fine particles that can penetrate deep into the respiratory tract and cause chronic health problems. Ventilation is of particular importance to ensure occupational safety, which reduces the concentration of harmful substances.*

Рабочее место газоэлектросварщика на строительном объекте «СМР Строй» в Новосибирске характеризуется наличием сварочного поста, обеспечивающего выполнение работ как на открытом воздухе, так и внутри помещений, причем условия труда относятся к классу вредности 3.1, что обуславливает необходимость особого внимания к вопросам безопасности и улучшения условий труда сотрудников предприятия.

Рассмотрим рабочее место газоэлектросварщика на строительном объекте. На данном предприятии класс условий труда сварщика относится к вредным, степень вредности - 3.1. Многие сварочные операции по монтажу и ремонту оборудования выполняются на открытом воздухе, а также в помещениях. На выбранном объекте у газоэлектросварщика имеется сварочный пост, который в случае непогоды переносится, и обеспечивает безопасность при сварке на улице. Поэтому обеспечение безопасности и улучшение условий труда электрогазосварщиков является главной задачей. Потому что сварка – распространенный вид технологической операции, обладающей рядом вредных и опасных факторов.

Сварка применяется для получения неразъемных соединений металлов путем местного сплавления или пластического деформирования, что обеспечивает прочные связи между атомами свариваемых материалов.

Существует несколько способов сварки. Методы, при которых кромки деталей доводятся до плавления, называют сваркой плавлением. К ним относятся дуговая и газовая сварка. По степени механизации сварка может быть ручной, полуавтоматической и автоматической [1].

Сварочные работы сопровождаются воздействием вредных и опасных производственных факторов. Высокая температура сварочной дуги может достигать от 7000 °C до 18000 °C, она вызывает интенсивное окисление и испарение металла, флюса, защитного газа и легирующих элементов. Образующиеся пары превращаются в мелкодисперсную пыль, которая вместе с конвективными потоками поднимается вверх, вызывая запылённость и загазованность помещений [2].

По данным Клинского института охраны и условий труда, основными компонентами пыли при сварке сталей являются окислы железа, марганца и кремния (41%, 18% и 6% соответственно). При сварке также выделяются другие вредные вещества, такие как оксиды азота, диоксид титана, озон и оксид углерода. Наибольшую опасность представляют частицы размером 0,4–5 мкм, поскольку могут проникать глубоко в дыхательные пути, вызывая различные заболевания. Они относятся к полутонкой пыли и могут повреждать легочную ткань, что приводит к хроническим заболеваниям носа, глотки, бронхов и легких, а также аллергическим реакциям. Особо вредными считаются окислы марганца, вызывающие нарушения в работе нервной системы, снижение работоспособности, сонливость, депрессивные состояния. Марганец практически не выводится из организма, а симптомы отравления неспецифичны [3].

На строительном объекте СМР Строй производились измерения параметров выбросов вредных веществ с помощью газоанализатора [4], представленные ниже в таблице 1.

**Таблица 1. Параметры выбросов вредных веществ**

Наименование вещества (рабочей зоны)	Фактическое значение	Нормативное значение	Класс опасности	Класс условий труда	Время воздействия
Марганец в сварочных аэрозолях при его содержании: до 20%	0.6 мг/м <sup>3</sup>	0.6 мг/м <sup>3</sup>	2	2	65с
Оксиды азота	5 мг/м <sup>3</sup>	5 мг/м <sup>3</sup>	3	2	65с
Озон, мг/м <sup>3</sup>	0.21 мг/м <sup>3</sup>	0.1 мг/м <sup>3</sup>	1	3.2	65с
Углерод оксид (угарный газ; углерода окись) мг/м <sup>3</sup>	15.6 мг/м <sup>3</sup>	20 мг/м <sup>3</sup>	4	2	65с
Азота оксиды и озон	3.38 мг/м <sup>3</sup>	1 мг/м <sup>3</sup>	3	3.2	65с
Марганец в сварочных аэрозолях при его содержании	0.3705 мг/м <sup>3</sup>	0.2 мг/м <sup>3</sup>	2	3.1	65с

Содержание вредных веществ на рабочем месте не должно превышать ПДК, указанные в нормативных документах Для очистки воздуха при электрогазосварочных работах в помещении должна быть установлена вентиляция, которая снизит количество вредных веществ в помещении. При проведении сварочных работ на улице вентиляция не требуется. Безопасность на рабочем месте газоэлектросварщиков обеспечивают средства, связанные с оборудованием, средствами защиты, вентиляцией и инструментом. Эти требования закреплены в Приказе Минтруда России от 11.12.2020 №884н «Об утверждении Правил по охране труда при выполнении электросварочных и газосварочных работ» [5]. Сотрудники компании СМР Строй обеспечиваются спецодеждой и СИЗ согласно установленным нормативам [6,7]. (табл. 2)

**Таблица 2. Нормы выдачи СИЗ электрогазосварщика**

Наименование СИЗ	Норма выдачи в год
Костюм защитный	1 шт.
Ботинки с подноском	2 пары
Сапоги кожаные	2 пары
Перчатки термостойкие	12 пар
Перчатки диэлектрические	до износа
Щиток со светофильтром	до износа
Очки защитные	до износа
СИЗОД (фильтрующий/изолирующий)	до износа

Выбросы вредных веществ показывают, что концентрация опасных компонентов не должна превышать предельно допустимые концентрации. Для достижения этого в помещениях необходимо обеспечить качественную вентиляцию [8].

Применение средств индивидуальной защиты (СИЗ), соответствующее инструктирование сотрудников и внедрение мер по снижению негативного воздействия вредных веществ являются основополагающими для обеспечения безопасного труда газоэлектросварщиков.

**Литература:**

1. Овчинников В. В. Охрана труда при производстве сварочных работ: учеб. пособие / В. В. Овчинников. – [Электронный ресурс]. - Екатеринбург: Уральский политехнический колледж, 2008. – URL: [https://eptt.ru/media/sub/1607/documents/007\\_705212884\\_Ovchinnikov.pdf](https://eptt.ru/media/sub/1607/documents/007_705212884_Ovchinnikov.pdf) (дата обращения: 27.11.2025).

2. Полякова Е. М., Сюрин С. А. Профессиональные риски здоровью сварщиков при сочетанном влиянии сварочного аэрозоля и охлаждающего микроклимата [Электронный ресурс] // ЗНиСО. 2021. №9. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/professionalnye-riski-zdoroviyu-svarschikov-pri-sochetannom-vliyanii-svarochnogo-aerozolya-i-ohlazhdayschego-mikroklimata> (дата обращения: 27.11.2025).
3. Сварщик. Иот-12-21\_сварщик [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.niboch.nsc.ru/lib/exe/fetch.php/ru/structure/service/иот-12-21\\_сварщик.pdf](http://www.niboch.nsc.ru/lib/exe/fetch.php/ru/structure/service/иот-12-21_сварщик.pdf) (дата обращения: 27.11.2025).
4. Кarta оценки профессиональных рисков газоэлектросварщиков. – ООО «СМР Строй». – Новосибирск.2025.
5. Приказ Минтруда России от 11.12.2020 №884н «Об утверждении Правил по охране труда при выполнении электросварочных и газосварочных работ».
6. Приказ Минтруда России от 09.12.2014 N 997н "Об утверждении Типовых норм бесплатной выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты работникам сквозных профессий и должностей всех видов экономической деятельности, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением" (Зарегистрировано в Минюсте России 26.02.2015 N 36213).
7. ГОСТ 12.4.250-2013. Одежда специальная для защиты от искр и брызг расплавленного металла.
8. Приказ Минтруда России от 15.12.2020 №902н «Об утверждении правил по охране труда при работе в ограниченных и замкнутых пространствах».

## **ПСИХОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ РАБОТЫ СПЕЦИАЛИСТА ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ И ОХРАНЕ ТРУДА ПРИ УГРОЗЕ ТЕРРОРИЗМА**

**A. B. Тысячная**

**Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, tysyachnaya.2024@stud.nstu.ru**

**Научный руководитель: Гуськов А. В., д.т.н., доцент, ГДУ**

*Обосновывается актуальность изучения психологических аспектов работы специалистов по технике безопасности и охране труда при угрозе терроризма. Обосновывается связь психологической подготовки с профессиональной*

*деятельностью специалистов по технике безопасности и охране труда при угрозе терроризма.*

*The relevance of studying the psychological aspects of the work specialists of safety and labor protection under the threat of terrorism is substantiated. The connection of psychological training with the professional activities of specialists of safety and labor protection in the face of the threat of terrorism is substantiated.*

За период январь-сентябрь 2025 г. на территории Российской Федерации зафиксированы 4467 преступлений террористического характера, что на 75% больше по сравнению с аналогичным периодом прошлого года [1]:

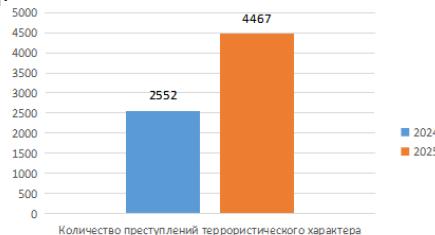


Рис. 1 - Динамика изменения числа преступлений террористического характера за 9 месяцев 2024-2025гг.

Роль специалистов по технике безопасности при угрозе и совершении террористических актов закреплена в нормативных документах и профессиональных стандартах, которые определяют их ключевую роль в предотвращении угроз, разработке планов реагирования и координации действий.

Основные статьи и функции специалистов:

- Федеральный закон от 06.03.2006 № 35-ФЗ «О противодействии терроризму»: Является базовым документом, определяющим правовую основу деятельности всех структур, включая специалистов по безопасности на объектах.[2]

- Постановления Правительства РФ об антитеррористической защищенности: Утверждают конкретные требования к антитеррористической защищенности объектов различных категорий и формы паспортов безопасности. Ответственность за выполнение этих требований возлагается на руководителей организаций, которые, в свою очередь, назначают ответственных специалистов по безопасности.

- Профессиональный стандарт «Специалист по обеспечению антитеррористической защищенности объекта (территории)» (Приказ Минтруда от 27.04.2023 № 374н): Детализирует трудовые функции и обязанности этих специалистов.[3]

Таким образом, специалист по охране труда и технике безопасности (ОТиТБ) выполняет не только технические и организационные функции, но и постоянно взаимодействует с людьми — сотрудниками, руководством, контролирующими органами. В условиях постоянного стресса, риска чрезвычайных ситуаций и психологического давления эффективность его работы во многом зависит от уровня психологической подготовки. Психологическая устойчивость, коммуникативные навыки, способность к эмпатии и управлению конфликтами становятся неотъемлемыми компонентами профессиональной компетентности.

Функциональная карта профессионального стандарта для специалиста по охране труда при угрозе терроризма включает в себя следующие функции:

- Участие в разработке и актуализации Плана антитеррористической защищённости (ПАЗ) объекта;
- Проведение анализа уязвимости объекта к террористическим угрозам (совместно с ответственными службами);
- Организация и проведение инструктажей и тренировок по действиям персонала при угрозе терроризма;
- Контроль за соблюдением требований антитеррористической защищённости в рамках охраны труда;
- Разработка и внедрение инструкций и памяток по действиям при обнаружении подозрительных предметов, угрозах по телефону, эвакуации и т.д.;
- Обеспечение психологической безопасности работников в условиях угрозы и после ЧС;
- Участие в комиссиях по антитеррористической защищённости и взаимодействие с правоохранительными органами;
- Контроль за состоянием и доступностью путей эвакуации, средств оповещения и связи;
- Организация первичной психологической, а также первой помощи пострадавшим при террористическом акте;
- Ведение документации по мероприятиям антитеррористической направленности в рамках ОТ.

Таким образом, функциональная карта профессионального стандарта специалиста по охране труда при угрозе терроризма подчёркивает, что в современных условиях безопасность труда не ограничивается только производственными рисками. Она охватывает комплексную безопасность, включая защиту от террористических угроз, психологическое благополучие и готовность к ЧС. Это требует от специалиста по ОТ междисциплинарной компетентности и тесного

взаимодействия с другими службами безопасности. Не стоит забыть и про психологический аспект, не маловажный компонент.

Кроме багажа теоретических знаний и практических умений и навыков в профессиональной области специалисту в области техносферной безопасности (ТБ) необходимо обладать индивидуально-психологическими особенностями, относящимися к профессионально важным качествам, что обусловлено рутинной и экстренной работой в аварийных и чрезвычайных условиях. Одной из особенностей профессиональной деятельности специалиста по ТБ является готовность к широкому кругу обязанностей из области стрессогенного направления трудовой деятельности «человек – человек» наряду с общетрудовыми функциями.[5]

#### Заключение

В условиях современных вызовов, включая угрозу терроризма, работа специалиста по охране труда и технике безопасности выходит за рамки задач, связанных с предупреждением производственного травматизма и профессиональных заболеваний. Сегодня такой специалист становится важным звеном в системе антитеррористической защищённости организации. Это обусловлено необходимостью обеспечения не только физической, но и психологической безопасности работников, предотвращения чрезвычайных ситуаций и минимизации последствий возможных террористических актов.

#### Литература:

1. Состояние преступности в Российской Федерации за январь - сентябрь 2025 года: Гос. доклад. М.: ФКУ «ГИАЦ МВД России», 2025. 64 с.
2. Федеральный закон от 06.03.2006 № 35-ФЗ «О противодействии терроризму» [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_58840/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_58840/) (дата обращения: 01.10.2025).
3. Профессиональный стандарт «Специалист по обеспечению антитеррористической защищенности объекта (территории)». Приказ Минтруда России от 27.04.2023 № 374н [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_448613/191168e6b031e2a67bea9f6ef3da221012920ff2/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_448613/191168e6b031e2a67bea9f6ef3da221012920ff2/) (дата обращения: 01.10.2025).
4. ГОСТ Р 12.0.007–2023 «Система стандартов безопасности труда. Управление охраной труда. Общие требования». – Введ. 01.03.2024. – М.: ФГБУ «РСТ», 2023. – III, 16 с.

5. Пискунова В. В. Психологическая устойчивость работника как компонент безопасности труда // Вестник Прикамского социального института. – 2025. – № 1 (100). – С. 94–98.

## **АНАЛИЗ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРОВ НА НЕФТЕХРАНИЛИЩАХ**

**Д. А. Тюшникова**

**Новосибирский государственный технический университет,**

**г. Новосибирск, dashutka.t2004@mail.ru**

**Научный руководитель: Белоусова Н. С., к.т.н.**

*Пожарная безопасность на предприятиях имеет первостепенное значение для обеспечения стабильности и безопасности производственных процессов. Особенно актуальна эта тема на объектах нефтегазового комплекса. В данной работе мы рассмотрим причины возникновения пожаров в нефте хранилищах, а также меры, принимаемые для предотвращения подобных чрезвычайных ситуаций.*

*Fire safety is an important part of facility security. It is of particular importance at the enterprises of the oil and gas complex. This article will discuss the causes of fires in oil storage facilities, as well as measures taken to ensure fire safety at these facilities.*

Нефтехранилища представляют собой промышленные объекты (резервуары) для хранения нефти и нефтепродуктов. Резервуары для хранения нефтепродуктов бывают разных видов по месту расположения (рисунок 1). Подводные резервуары расположены ниже водной поверхности, чаще всего около мест добычи нефти. Подземные резервуары заглублены под землю полностью, а полуподземные – частично. Резервуары, находящиеся на поверхности земли относятся к наземным. Наиболее распространенными являются наземные и подземные резервуары [1].

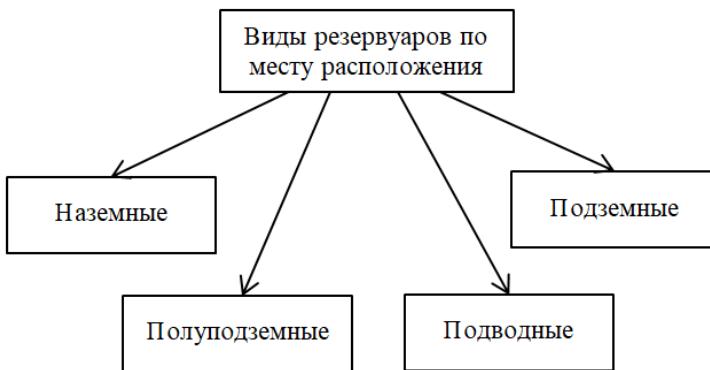


Рис. 1 – Виды резервуаров по месту расположения

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 понтом (для нефти, автомобильных бензинов, дизельного топлива) [2].

2. Горизонтальные стальные.

На одном предприятии могут использоваться одновременно разные типы резервуаров. Выбор их видов и количества зависит от типа хранимого продукта, его объёма, условий эксплуатации и других факторов. Но все они представляют пожарную опасность в силу того, что содержат легковоспламеняющиеся (например, бензин) или горючие (например, мазуты) вещества. Под пожаром понимается неконтролируемое горение вне специального очага, которое сопровождается повреждением и уничтожением материальных объектов, и создает угрозу для жизни и здоровья людей [3].

К основным поражающим факторам пожара относят:

- открытая пламя и искры;
- повышенная температура;
- последствия повреждения и разрушения объектов (осколки, части оборудования и сооружений);
- повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения;

- взрыв, произошедший вследствие пожара (ударная волна) [4].

При проведении анализа данных об авариях, произошедших на объектах нефтегазового комплекса, было выявлено, что в парках резервуаров ежегодно происходит около 4 пожаров (Рис. 2) [5].

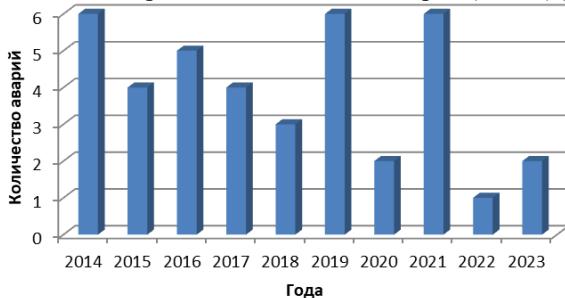


Рис. 2 – Количество пожаров в парках резервуаров

Также были проанализированы причины пожаров (Рис. 3) [5].

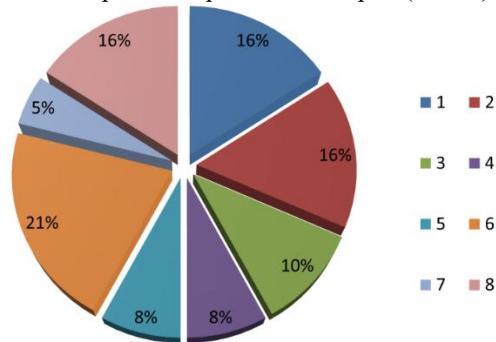


Рис. 3 – Причины пожаров в парке резервуаров нефтепродуктов

1 – применение оборудования непредусмотренного проектом; 2 – отсутствие (неисправность) заземления оборудования; 3 – выведение в ремонт оборудования без отключения от действующего технологического оборудования, без его опорожнения, дегазации, без замеров концентрации паров нефтепродукта; 4 – самовоспламенение пирофорных отложений; 5 – неисправное оборудование; 6 – применение инструмента не во взрывобезопасном исполнении; 7 – неверное подключение электрооборудования; 8 – другие причины (повышенный коррозийный износ оборудования; нарушение изоляции; наличие внешнего источника открытого огня; воздействие прямого удара молнии; превышение величины давления греющего пара; воздействие искр механического происхождения).

Из диаграммы, представленной на рисунке 3, видно, что основными причинами пожаров в парках резервуаров нефтепродуктов являются: применение инструмента не во взрывобезопасном исполнении, такого как переносной насос, источник освещения и других; применение оборудования непредусмотренного проектом; отсутствие (неисправность) заземления оборудования.

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

Для обеспечения пожарной безопасности необходим постоянный производственный контроль за соблюдением требований безопасности и состоянием охраны труда. Наличие и корректная работа датчиков, систем оповещения и пожаротушения также являются неотъемлемой частью обеспечения безопасности на предприятии.

Таким образом, основными причинами аварий на нефтехранилищах являются: применение оборудования, непредназначенного для работы в зоне парка резервуаров, отсутствие или неисправность заземления оборудования и недостаточный контроль за безопасностью со стороны руководства и работников. Для предотвращения и локализации аварий используются: датчики довзрывных концентраций, система оповещения, оборудование для тушения пожаров. Также необходим четкий план действий персонала в случае возникновения возгорания.

#### Литература:

1. Виды резервуаров для хранения нефтепродуктов / [Электронный ресурс] // РЕМСТРОЙМАШ. Производственное объединение: [сайт]. — URL: <https://www.nprommz.ru/blog/vidy-rezervuarov-dlya-khraneniya-nefti?ysclid=mhlzole56754377797> (дата обращения: 02.11.2025).

2. 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"). – М.: Российский институт стандартизации, 2023. – 118 с.

3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: учебное пособие / Л. М. Клыков, Ю. О. Поляков, Н. С. Белоусова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2021. – 168 с.

4. 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.

5. 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: 02.11.2025).

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ**

**А. А. Федотова**

**Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, fedotova.2021@stud.nstu.ru**

**Научный руководитель: Гуськов А. В., д.т.н., доцент**

*В статье рассматривается проблема формального подхода к культуре безопасности на промышленных предприятиях. Анализируется структура производственного травматизма и выявлены ключевые причины несчастных случаев на производстве. Обосновывается необходимость перехода от формального соответствия к формированию подлинной культуры безопасности на основе анализа статистических данных.*

*The article discusses the problem of a formal approach to safety culture in industrial enterprises. The structure of occupational injuries is analyzed and the key causes of industrial accidents are identified. The necessity of moving from formal compliance to the formation of a genuine safety culture based on the analysis of statistical data is substantiated.*

Состояние культуры безопасности на предприятии можно диагностировать, оценив организацию трудового процесса через призму следующих принципов её формирования и поддержания [2]:

1.Становление приоритета безопасности жизни и здоровья сотрудников предприятия над экономическими и производственными целями (приоритет безопасности).

2.Подбор, профессиональное обучение и поддержание квалификации руководителей и персонала в каждой сфере деятельности, влияющей на безопасность (профессионализм и квалификация).

3.Строгое соблюдение дисциплины при четком распределении полномочий и персональной ответственности руководителей и исполнителей (дисциплина и ответственность).

4.Разработка и строгое соблюдение производственных инструкций и технологических регламентов, их периодическое обновление с учетом накапливаемого опыта (соблюдение инструкций регламентов, программ обеспечения качества).

5.Установление руководителями всех уровней атмосферы доверия и таких подходов к коллективной работе, а также к социально-бытовым условиям жизни персонала, которые формируют внутреннюю потребность позитивного отношения к безопасности (атмосфера доверия)

6.Понимание каждым работником влияния его деятельности на безопасность и последствия, к которым может привести несоблюдение или некачественное выполнение производственных и должностных инструкций, технологических регламентов (понимание последствий).

7.Контроль работниками своей деятельности, влияющей на безопасность (самоконтроль).

8.Понимание каждым руководителем и работником недопустимости скрытия ошибок в своей деятельности, необходимости выявления и устранения причин их возникновения необходимости постоянного самосовершенствования, изучения и внедрения передового опыта, в том числе зарубежного (открытость и самосовершенствование).

9.Установление системы поощрений и взысканий по результатам производственной деятельности, стимулирующей открытость действий работников и не способствующей скрытию ошибок в их работе (мотивация).

Анализ трудовых процессов с учётом перечисленных принципов дает возможность выявить системные проблемы. На многих производствах декларируемые ценности, например идея «Безопасность – наш приоритет», разработанные инструкции и программы обучения носят формальный подход. Они разрабатываются без учёта специфики конкретного рабочего места, технологического процесса, а также физиологических и психологических особенностей сотрудников. Это неизбежно приводит к нарушению правил техники безопасности.

Данная проблема находит прямое подтверждение в сохраняющейся динамике производственного травматизма. Статистика Росстата за 2024 год фиксирует общую позитивную тенденцию снижения числа пострадавших (с 2019 по 2024 год на 8,1 %). Также были выявлены основные причины возникновения несчастных случаев (НС) с тяжелыми последствиями (табл. 1). [1]

Анализ структурных сдвигов в причинах травматизма за 2019-2024 годы, позволяет оценить эффективность реализации принципов культуры безопасности:

1. Нарушения технологического процесса (+5,2%) демонстрируют недостаточную эффективность принципов 4 и 6. Рост свидетельствует о системном несоблюдении регламентов и недостаточном понимании работниками последствий своих действий.

2. Рост прочих причин (+5,4%), включая неприменение СИЗ, указывает на проблемы в реализации принципов 2, 5, 6 и 7. Отмечается недостаток доверия к руководителям, что негативно влияет на качество обучения, понимание рисков и уровень самоконтроля.

3. Увеличение доли НС из-за недостатков обучения (+1,1%) подтверждает неэффективность принципов 2, 5, 6 и 7. Эта тенденция коррелирует с ростом транспортных происшествий (+1,2%), что дополнительно свидетельствует о проблемах в самоконтроле.

4. Сохранение доли технических недостатков и незначительное снижение НС из-за организации рабочих мест (-0,7%) демонстрируют недостаточную работу по выявлению системных проблем в соответствии с принципом 8.

5. Сохранение лидирующей позиции нарушений организации работ и дисциплины (несмотря на снижение на 12,5%) свидетельствует о неэффективности принципов 1 и 3. Это указывает на системное нарушение приоритета безопасности в угоду производственным целям и недостаточный уровень персональной ответственности.

6. Сохраняющаяся высокая доля нарушений при общем снижении травматизма свидетельствует о недостаточной эффективности системы мотивации (принцип 9).

Таким образом, можно выделить наиболее проблемные зоны:

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).

**Таблица № 1 – удельный вес причин НС с тяжелыми последствиями**

№	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 %

Положительной тенденцией является снижение нарушений организации работ, что свидетельствует о частичной эффективности принципов 1 и 3, однако текущие показатели остаются недопустимо высокими.

В заключение, итогом исследования стала комплексная диагностика системы безопасности, в рамках которой:

1. Систематизированы принципы формирования культуры безопасности.

2. Установлены основные причины производственного травматизма.

3. На основе статистического анализа выделены четыре приоритетных направления для вмешательства.

Полученные результаты доказывают необходимость целенаправленного развития культуры безопасности с акцентом на данные направления для достижения максимального эффекта.

#### Литература:

1. Анализ производственного травматизма в России (в том числе со смертельным исходом / Акирова Ю. А., Елин А. М., Мажкенов С. А., Макеев А. И., Москвина М. С., Навальный В. В., Носорев П. А., Редченко Н. Б., Саченок Д. А., Товстий М. А.; под общ. ред. к.т.н., доц. И. В. Цириной. — 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. Усикова О. В. Формирование модели национальной культуры безопасности труда / О. В. Усикова, К. Д. Дементьев, Н. В. Петрова // Экономика. Профессия. Бизнес. – 2025. – № 2. – С. 114-125. – DOI 10.14258/epb202529. – EDN TZGZXT.
4. Головин Н. Л. Понятие «культура безопасности», его развитие и анализ // Педагогический журнал. 2021. Т. 11. № 4А. С. 32–47. <https://doi.org/10.34670/AR.2021.14.17.004>.
5. Прыгунов П. В. Культура безопасности - приоритет производственной деятельности // Молодой ученый. 2019. № 26 (264). С. 373-375.

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА В ГАЛЬВАНИЧЕСКОМ ЦЕХЕ АО «НОВОСИБИРСКИЙ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ЗАВОД»

Е. М. Финаева

Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, [yekaterinafinayeva@mail.ru](mailto:yekaterinafinayeva@mail.ru)  
Научный руководитель: Белоусова Н. С., к.т.н., доцент

Исследованы аспекты охраны труда в гальваническом цехе Новосибирского приборостроительного завода. Представлен детальный анализ потенциальных рисков, связанных с производственным процессом, с указанием предельно допустимых уровней концентрации вредных веществ. Выявлены ключевые направления, нацеленные на обеспечение безопасности труда, такие как: специальная оценка условий труда (СОУТ), профилактические мероприятия и использование средств индивидуальной защиты.

*Aspects of labor protection in the electroplating shop of the Novosibirsk Instrument-Making Plant have been studied. A detailed analysis of potential risks associated with the production process is presented, indicating the maximum permissible concentration levels of hazardous substances. Key areas aimed at ensuring labor safety have been identified, such as: special assessment of working conditions (SAWC), preventive measures, and the use of personal protective equipment.*

АО «Новосибирский приборостроительный завод» – один из крупнейших производителей стрелковой и наблюдательной оптики в России. Предприятие обладает полным производственным циклом, включая испытания всей продукции в собственном контрольно-испытательном центре.

Обеспечение высокого качества продукции тесно связано с другим приоритетом завода – созданием безопасных условий труда для его сотрудников.

Безопасные условия труда - условия труда, при которых воздействие на работающих вредных и (или) опасных производственных факторов исключено либо уровни воздействия таких факторов не превышают установленных нормативов [1].

Создание безопасных условий труда включает в себя:

1. Проведение и анализ специальной оценки условий труда (СОУТ);
2. Проведение профилактических мероприятий по улучшение условий труда;
3. Предоставление средств индивидуальной защиты;
4. Создание технических средств защиты (средства коллективной защиты).

Специальная оценка условий труда является единым комплексом последовательно осуществляемых мероприятий по идентификации вредных и (или) опасных факторов производственной среды и трудового процесса (далее также - вредные и (или) опасные производственные факторы) и оценке уровня их воздействия на работника с учетом отклонения их фактических значений от установленных уполномоченным Правительством Российской Федерации федеральным органом исполнительной власти нормативов (гигиенических нормативов) условий труда и применения средств индивидуальной и коллективной защиты работников [2].

Гальванический цех — это производственное помещение, где изделия покрывают тонким слоем металла с помощью гальваники (электролиза) для улучшения их защитных, декоративных или других свойств.

При нанесении металлопокрытий на гальваника могут действовать следующие опасные и вредные производственные факторы (Таблица 1):

**Таблица 1 – Вредные -химические производственные факторы гальваников**

Название вредных-химических факторов	ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности
Хромовый ангидрид	0,01	1
Никель сернокислый	0,005	2
Фенол (участок печатных плат)	0,01	2
Свинец (участок печатных плат)	0,05	1
Серная кислота	1	2
Соляная кислота	5	2
Азотная кислота	5	3
Щёлочь	0,5	2
Аммиак	20	4

Прочие опасные и вредные производственные факторы гальваников:

1. электрический ток;
2. движущиеся части машин и механизмов (при работе с грузоподъёмными механизмами и на установках конвейерного типа на участке печатных плат);
3. захламлённость рабочего места;
4. повышенная температура поверхности деталей и оборудования (фосфатирование, оксидирование стали, лужение печатных плат, выгрузка деталей из термошкафов);
5. повышенная температура рабочего раствора;
6. недостаточная освещённость;
7. повышенный уровень шума;
8. пожаровзрывоопасность (раствор химического оксидирования стали) [3].

Вредный производственный фактор - фактор производственной среды или трудового процесса, воздействие которого может привести к профессиональному заболеванию работника.

Опасный производственный фактор - фактор производственной среды или трудового процесса, воздействие которого может привести к травме или смерти работника [1].

Оба фактора применяются для оценки профессиональных рисков на предприятиях, при проектировании рабочих мест, при разработке инструкций по охране труда и являются основой для проведения специальной оценки труда.

Анализ данных показывает следующее распределение профессиональных заболеваний у гальваников, связанных непосредственно с воздействием вредных и опасных факторов. Эти данные позволяют оценить наиболее значимые риски для здоровья персонала (Рис. 1).

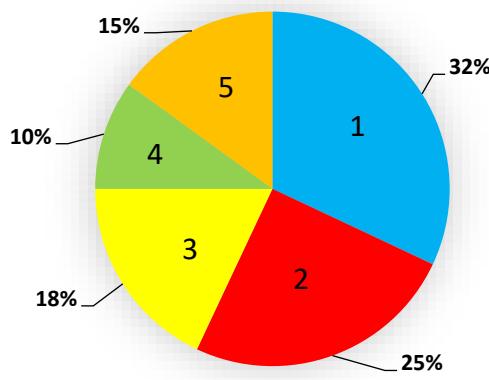


Рис. 13 - Статистика профессиональных заболеваний гальваников:  
1 – химические отравления; 2 – кожные болезни; 3 – болезни легких;  
4 – потеря слуха (шум); 5 – прочие.

Как можно заметить преобладают болезни, связанные с химическим воздействием [4].

Основные причины профзаболеваний и травм:

1. недостаточная вентиляция (40% случаев отравлений);
2. нарушения техники безопасности (25% травм);
3. использование устаревшего оборудования (20% случаев);
4. недостаточное обеспечение СИЗ (15%).

Для защиты от воздействия опасных и вредных производственных факторов рабочие должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты [3].

Данная таблица наглядно систематизирует полный комплект защитного снаряжения для работников. В ней отражены: наименование средств индивидуальной защиты; зоны защиты и наглядное изображение СИЗ (Таблица 2).

**Таблица 2 – Средства индивидуальной защиты  
в гальваническом цехе**

Название СИЗ	СИЗ	
Одежда специальная защитная: Костюм или халат с кислотозащитной пропиткой; Фартук прорезиновый с нагрудником		
Средства защиты лица: Очки защитные; СИЗОД фильтрующие		
Средства защиты ног и рук: Полуботинки кожаные с защитным подносок; Перчатки резиновые		

Таким образом, работа в гальваническом цехе сопряжена с повышенной опасностью, поскольку технологические процессы связаны с использованием концентрированных кислот, солей тяжелых металлов, таких как хром и свинец, а также другими вредными факторами.

Постоянное воздействие этих веществ на организм работников требует реализации комплексных защитных мер. Ключевыми из них являются регулярный мониторинг предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в воздухе рабочей зоны и поддержание эффективной работы системы приточно-вытяжной вентиляции.

Не менее важным является неукоснительное использование работниками всего комплекса положенных средств индивидуальной защиты (СИЗ). Только неукоснительное соблюдение этого комплекса мер позволяет минимизировать профессиональные риски и обеспечить безопасные условия труда в данном производственном помещении.

**Литература:**

1. Федеральный закон от 2 июля 2021 г. N 311-ФЗ «О внесении изменений в Трудовой кодекс Российской Федерации». Статья 209. Основные понятия [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34683/78f36e7afa535cf23e1e865a0f38cd3d230eecf0/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/78f36e7afa535cf23e1e865a0f38cd3d230eecf0/) (дата обращения: 25.10.2025).
2. Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда» [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_156555/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_156555/) (дата обращения: 31.10.2025).
3. Инструкция по охране труда гальваников на АО «Новосибирский приборостроительный завод».
4. Нажмутдинова В.Р., Митриковский А.Я. Статистика профессиональных заболеваний и травматизма в гальванических цехах [Электронный ресурс] // Научный лидер: науч. журн. - №20 (221) – 2025. - URL: <https://scilead.ru/article/8786-statistika-professionalnikh-zabolevaniy-i-tra> (дата обращения: 09.11.2025).

## **КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ РЕМОНТЕ ПОВОРОТНОЙ КАМЕРЫ ПАРОВОГО КОТЛА**

**А. В. Чумакова**

**Новосибирский государственный технический университет,**

**г. Новосибирск, a.chumakova.2020@stud.nstu.ru**

**Научный руководитель: Гуськов А. В., д.т.н., доцент**

*В статье рассматриваются ключевые аспекты обеспечения качества и безопасности сварочных работ на опасных производственных объектах (ОПО), поднадзорных Ростехнадзору. Особое внимание уделяется ремонту оборудования, работающего под давлением. Подробно описывается трехуровневая система контроля качества с перечнем конкретных проверок для сварочных материалов и соединений. Обосновывается необходимость строгого соответствия областей аттестации технологий, персонала и оборудования. В качестве практического примера приведены методы контроля при ремонте поворотной камеры парового котла.*

*The article discusses the key aspects of ensuring the quality and safety of welding operations at hazardous production facilities (HPF) under the supervision of Rostekhnadzor. Special attention is paid to the repair of pressure-operated equipment. The article provides a detailed description of the three-level quality control system (input, operational, and acceptance) with a list of specific checks for welding materials and joints. The article also emphasizes the importance of strict compliance with the areas of technology, personnel, and equipment certification. As a practical example,*

*the article discusses the methods of control during the repair of a rotary chamber in a steam boiler.*

Процесс сварки является ключевым в создании металлических конструкций для технически сложных объектов, находящихся под надзором Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор). Эксплуатация котельного оборудования в условиях повышенных температур и давления обуславливает высокую степень ответственности при его изготовлении, установке и обслуживании, с обязательным соблюдением сварочных технологий.

Выполнение сварочных работ при изготовлении, монтаже, ремонте и модернизации технических устройств на опасных производственных объектах (ОПО) должно осуществляться сварщиками и специалистами сварочного производства, прошедшиими аттестацию в соответствии с требованиями нормативных документов. При этом необходимо использовать аттестованные сварочные материалы, оборудование и применять аттестованные технологии сварки [1].

Необходимо акцентировать внимание на том, что сварщик, имеющий аттестационное удостоверение на выполнение определенных видов работ, должен работать только по тем технологическим процессам, которые имеют свидетельство о применении аттестованной технологии сварки, используемого оборудования и лаборатории, осуществляющей контроль качества [2].

На рисунке 1 представлена блок – схема действий специалиста промышленной безопасности, работающего в организации эксплуатирующая паровой котел Bosch UNIVERSAL UL-S при вводе в эксплуатацию после ремонта. На блок – схеме выделены функции привлеченных специалистов, а также функции сотрудников предприятия эксплуатирующего оборудования как промышленный опасный объект.

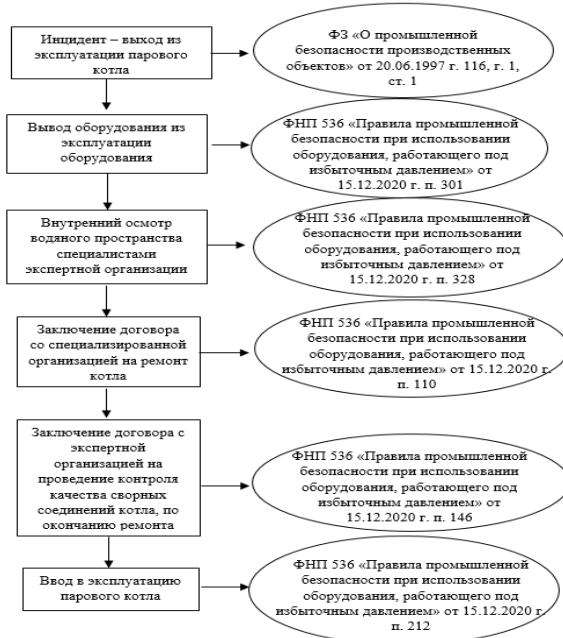


Рис.1 – Действия эксплуатирующей организации для ввода парового котла в эксплуатацию после проведения ремонта

При проведении ремонтных работ оборудования, функционирующего под давлением, следует внедрить систему управления качеством (включающую входной, операционный и приемочный контроль) сварных соединений и применяемых материалов. Эта система должна обеспечивать своевременное обнаружение дефектов, превышающих допустимые значения, и гарантировать высокое качество выполняемых ремонтных работ, а также надежность эксплуатации данного оборудования и его составных частей в заданном периоде времени.

В рамках входного контроля сварочных материалов подлежат проверке:

- актуальность и полнота сопроводительной документации;
- характеристики сварочного шва для каждой партии электродов, включая соответствие процентного содержания легирующих элементов установленным нормам посредством стилоскопического анализа (или иного спектрального метода, подтверждающего наличие легирующих элементов) наплавленного металла;

- сварочно-технологические свойства каждой партии порошковой проволоки (стабильное горение дуги, равномерное плавление, низкое разбрызгивание, т.д.);
- наличие ключевых легирующих элементов в каждой бухте (мотке, катушке) легированной сварочной проволоки с использованием стилоскопирования или другого спектрального метода для верификации присутствия легирующих элементов;
- показатели механической прочности металла шва каждой партии проволоки в сочетании с каждой партией флюса, предназначенных для автоматической сварки под флюсом.

Операционный контроль должен предусматривать последовательный контроль габаритных параметров деталей и заготовок, в том числе после механической обработки, в процессе сборки конструкции или деталей и компонентов оборудования под сварочные работы, а также контроль качества сварных соединений на всех этапах производства.

Приемочный контроль качества сварных соединений должен быть выполнен после завершения всех этапов операционного контроля и завершения технологических процедур [3].

Контроль качества сварных соединений и материалов при ремонте поворотной камеры парового котла Bosch UNIVERSAL UL-S следует осуществлять с применением следующих методов:

- визуальный и измерительный контроль;
- ультразвуковой контроль;
- гидравлические испытания;

Визуальному и измерительному контролю необходимо подвергать все сварные соединения в целях выявления следующих дефектов:

- трещины всех видов и направлений;
- свищи и пористости наружной поверхности шва;
- подрезы;
- наплывы, прожоги, незаплавленные кратеры;
- отклонения по геометрическим размерам и взаимному расположению свариваемых элементов;
- смещения и совместный увод кромок свариваемых элементов свыше предусмотренных норм;
- несоответствие формы и размеров шва требованиям технологической документации;
- дефекты на поверхности основного металла и сварных соединений (вмятины, расслоения, раковины, непровары, поры, включения) [4].

Стыковое сварное соединение, которое прошло процесс ремонтной переварки, требует ультразвукового контроля на всей своей длине. Это необходимо для выявления возможных дефектов в сварных швах,

возникающих в металлах и сплавах, включая: трещины, пропуски в сварке, поры, а также неметаллические и металлические включения, а также прожоги в подкладном кольце.

Гидравлическое испытание с использованием пробного давления осуществляется для проверки герметичности и прочности оборудования, которое функционирует под давлением. Данное испытание, наряду со всеми сварными и иными соединениями, проводится после того, как оборудование прошло этап ремонта, связанный со сваркой его элементов, подвергающихся давлению.

По завершении ремонтных работ организация, которая их осуществляла, должна сформировать и представить эксплуатирующей организации-заказчику комплект исполнительной документации. Этот комплект включает в себя различные документы (акты, протоколы, заключения), которые оформляются поэтапно, основываясь на результатах входного контроля и приема материалов, оборудования и элементов, предназначенных для монтажа. Также учитываются проверки скрытых работ и ответственных конструкций, а также результаты пооперационного контроля качества выполняемых работ. В дополнение, в комплект входят исполнительные схемы (чертежи), которые подтверждают соответствие выполненных работ проектной документации. На основании этой информации уполномоченное лицо эксплуатирующей организации вносит соответствующую запись о завершенных работах в паспорт и ремонтный журнал оборудования [5].

Предлагаемая блок – схема действия специалистов организации, эксплуатирующей опасный производственный объект. Разделены функции и обязанности специалистов отдела промышленной безопасности и сторонних представителей. Выделены этапы контроля и виды контроля:

- внутренний приказ о выводе опасного производственного объекта;
- акт по результатам визуального осмотра водяного пространства экспертной организацией;
- ремонт котла – предоставление ремонтной документации;
- контроль качества сварных соединений котла – экспертиза промышленной безопасности;
- ввод в эксплуатацию парового котла – акт готовности оборудования, работающего под избыточным давлением, к вводу в эксплуатацию, приказ о дальнейшей эксплуатации парового котла.

#### Литература:

1. Алилуев А. Ю. Порядок аттестации сварочных технологий при изготовлении, монтаже и ремонте котельного оборудования на

предприятиях Алтайского края / А.Ю. Алилуев, Ю.О. Шевцов, Д.А. Селиванов // Ползуновский Альманах. — 2015. — № 4. — С. 10-14. — ISSN 2079-1097. — [Электронный ресурс] // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/302146> (дата обращения: 23.11.2025).

2. РД 03-615-03 «Порядок применения сварочных технологий при изготовлении, монтаже, ремонте и реконструкции технических устройств для опасных производственных объектов».

3. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности при использовании оборудования, работающего под избыточным давлением» от 15.12.2020 г. № 536

4. Эксплуатация оборудования, работающегопод избыточным давлением: в вопросах и ответах: учебное пособие / А. В. Федосов, К. Р. Идрисова, Н. Х. Абдрахманов, В. А. Насибуллина. — Уфа: УГНТУ, 2021. — 101 с. — ISBN 978-5-7831-2214-9. — [Электронный ресурс] // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/355055> (дата обращения: 29.11.2025).

5. Жданов Д. А. В помощь ответственным за исправное состояние и безопасную эксплуатацию оборудования, работающего под избыточным давлением (в объеме для сосудов). Практическое пособие: учебное пособие / Д. А. Жданов. — Минск: ГИПК «ГАЗ-ИНСТИТУТ», 2024. — 192 с. — ISBN 978-985-7284-19-1. — [Электронный ресурс] // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/440615> (дата обращения: 25.11.2025).

## **ВРЕДНЫЕ И ОПАСНЫЕ ФАКТОРЫ МОДЕЛЬЩИКОВ АЭРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ИЗ НЕ МЕТАЛЛА**

**К. В. Шафранов**

**Новосибирский государственный технический университет,**

**г. Новосибирск, shafranov.2022@stud.nstu.ru**

**Научный руководитель: Виноградов А. В.**

*В работе профессия модельщика аэрогидродинамических моделей из неметаллических материалов рассмотрена как комплекс специальностей, включающий навыки токаря, фрезеровщика, столяра, маляра, шлифовщика, слесаря-сборщика и работы с композитами. Рассмотрены основные вредные и опасные факторы — механические, химические, физические и эргономические — и меры их профилактики.*

*The profession of a model maker of aerodynamic models from non-metallic materials is considered in this work as a combination of specialties, including the skills of a turner, miller, carpenter, painter, grinder, assembly locksmith, and working with composites. The main harmful and hazardous factors — mechanical, chemical, physical, and ergonomic — and measures for their prevention are examined.*

Профессия модельщика аэрогидродинамических моделей является многопрофильной, поскольку объединяет в себе широкий спектр специальностей. Специалисту необходимо одновременно владеть навыками токаря, фрезеровщика, столяра, маляра, шлифовщика, слесаря-сборщика и работающего с композитными материалами. В процессе изготовления моделей используются технологии деревообработки, пластмассового производства, ручной доводки высокоточных поверхностей, нанесения покрытий и сборки сложных конструкций.

Модельщик должен уметь читать техническую документацию и конструкторские чертежи, знать свойства полимерных и композиционных материалов, уметь работать с kleями и смолами. Высокая точность, аккуратность, развитые ручные навыки и понимание физики процессов являются необходимыми условиями выполнения работы.

Такое сочетание профессиональных навыков делает деятельность модельщиков уникальной и высококвалифицированной, но одновременно и сопряжённой с воздействием значительного количества вредных и опасных производственных факторов.

1. Механические факторы (токарь, фрезеровщик, столяр, слесарь-сборщик)

Механические факторы возникают при работе с оборудованием, имеющим подвижные и врачающиеся части(табл.1). Для модельщиков они характерны прежде всего при выполнении токарных, фрезерных, столярных и слесарно-сборочных операций.

Столяр	Фрезеровщик	Токарь	Слесарь	Слесарь-сборщик	Шлифовальщик
Фуганок, рейсмус, ленточнопильные станки	Фрезерный станок, станки с ЧПУ	Токарный станок	Сверлильные станки	Пресс и ручной инструмент	Шлифовальные станки
- Отлетающая стружка, осколки и мелкие частицы;[3] - Острые кромки, заусенцы и шероховатости на поверхности заготовок и изделий, оборудования, инструмента;[2],[3],[4] - Движущиеся перемещаемые материалы, подвижные части оборудования;[2], [3],[4] - Обратный выброс заготовки;[3],[4] - Падение материалов, элементов технологического оборудования и инструментов;[2],[3],[4]	- Мелкая стружка и аэрозоли смазочно-охлаждающей жидкости;[5] - Отлетающие кусочки металла; [5] - Высокая температура поверхности обрабатываемых деталей и инструмента;[5] - Движущиеся машины и механизмы, передвигающиеся изделия, заготовки, материалы;[5]	- Отлетающая стружка, осколки и мелкие частицы;[6] - Движущиеся перемещаемые материалы, подвижные части оборудования;[6] - Падение материалов, элементов технологического оборудования и инструментов;[6] - Острые кромки, заусенцы и шероховатости на поверхности заготовок и изделий, оборудования, инструмента;[6]	- Отлетающая стружка, осколки и мелкие частицы;[7] - Высокая температура поверхности оборудования;[8] - Движущиеся и вращающиеся части станка, передвигающиеся изделия, заготовки, материалы;[7]	- Подвижные элементы производственного оборудования;[8] - Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;[8]	- Движущиеся перемещаемые материалы, подвижные части оборудования;[9] - Острые кромки, заусенцы и шероховатости на поверхности заготовок и изделий, оборудования, инструмента;[9]

Рис. 1 – Механические факторы и их источники

Эти факторы напрямую угрожают здоровью работников и требуют соблюдения правил безопасной эксплуатации оборудования, использования защитных кожухов, изолирующих ограждений и СИЗ, так как могут привести к порезам, ушибам, переломам, повреждению глаз, затягиванию одежды в движущие части, разлёту деталей и даже тяжёлым травмам вплоть до ампутаций и смертельных случаев.

## 2. Химические факторы

Химические опасности характерны прежде всего для операций по формированию композитов, приготовлению смол, клеёв, а также при нанесении лакокрасочных покрытий. В таблице 2 показаны некоторые химические факторы и их источники.

Маляр	Формовщик композитов	Модельщик	Шлифовщик
<p>Краски, лаки, растворители</p> <p>-Вредные вещества в красках и грунтовках, действующие на работника через дыхательные пути, пищеварительную систему, кожный покров и слизистые оболочки органов зрения и обоняния:[10]</p> <p>-Повышенной запыленности и загазованности воздуха рабочей зоны.[10]</p>	<p>Эпоксидные смолы, отвердители</p> <p>- Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны.[11]</p> <p>- Высокая токсичность, сенсибилизирующие, аллергические и раздражающие свойства легко горючих веществ; [11]</p> <p>- Повышенная концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны.[11]</p>	<p>Обезжириватели, эпоксидные смолы, отвердители</p> <p>- Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны.[11]</p> <p>- Высокая токсичность, сенсибилизирующие, аллергические и раздражающие свойства легко горючих веществ; [11]</p> <p>- Повышенная концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны.[11]</p>	<p>Древесина, композиты, пластмассы</p> <p>- Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны. [9]</p>

Рис. 2 – Химические факторы и их источники

Химические факторы вызывают раздражение дыхательных путей, кожные поражения, сенсибилизацию, аллергию и хронические заболевания при длительном воздействии, поэтому необходимы меры защиты: использование СИЗ (респираторов, перчаток, защитных очков), хорошая вентиляция и вытяжки, герметизация тары с химическими веществами, соблюдение правил хранения и работы с реагентами, регулярный контроль концентраций вредных веществ и своевременное прохождение медосмотров.

### 3. Физические факторы

Физические факторы включают шум, вибрацию и электрические опасности, которые оказывают влияние на работников различных профессий в процессе изготовления аэрогидродинамических моделей(табл.3).

Шум — звуковые колебания в диапазоне слышимых частот, способные оказать вредное воздействие на безопасность и здоровье работника. [12]

Вибрация — движение точки или механической системы, при котором происходят колебания характеризующих его скалярных величин. [13]

Столзр	Фрезерщик	Токарь	Слесарь	Слесарь-сборщик	Шлифовщик	Малэр
Фуганок, рейсмус, ленточнопильные станки	Фрезерный станок, станки с ЧПУ	Токарный станок	Сверлильные станки	Пресс и ручной инструмент	Шлифовальные станки	Краскопульт
- Поражение электрическим током при отсутствии заземления, прикосновении к токоведущим частям оборудования и кабелям с нарушенной изоляцией, работе мокрыми руками и стоя на влажном полу без использования диэлектрического коврика;[2],[3],[4] - повышенный уровень шума, вибрации [2],[3],[4]	- Поражение электрическим током при отсутствии заземления, прикосновении к токоведущим частям оборудования и кабелям с нарушенной изоляцией, работе мокрыми руками и стоя на влажном полу без использования диэлектрического коврика;[5] - Повышенный уровень вибрации [5]	- Поражение электрическим током при отсутствии заземления, прикосновении к токоведущим частям оборудования и кабелям с нарушенной изоляцией, работе мокрыми руками и стоя на влажном полу без использования диэлектрического коврика;[6] - повышенный уровень шума, вибрации [6]	- Поражение электрическим током при отсутствии заземления, прикосновении к токоведущим частям оборудования и кабелям с нарушенной изоляцией, работе мокрыми руками и стоя на влажном полу без использования диэлектрического коврика;[8] - повышенный уровень вибрации [8]	- Поражение электрическим током при отсутствии заземления, прикосновении к токоведущим частям оборудования и кабелям с нарушенной изоляцией, работе мокрыми руками и стоя на влажном полу без использования диэлектрического коврика;[9] - повышенный уровень шума, вибрации [9]	- Замыкания электрических цепей через тело человека.[1]	

Рис. 3 – Физические факторы и их источники

Воздействие физических факторов на работников аэрогидродинамических мастерских может иметь серьёзные последствия для здоровья. Шум способен вызывать ухудшение слуха, шум в ушах, развитие тугоухости, повышенную утомляемость, снижение концентрации, стресс и головные боли. Вибрация может привести к вибрационной болезни, онемению и снижению чувствительности пальцев, нарушению кровообращения, болям в суставах и хроническим заболеваниям опорно-двигательного аппарата. Электрические опасности представляют риск электротравм, ожогов, судорог, остановки дыхания, фибрилляции сердца, а также возможного возгорания и взрыва оборудования. Для защиты работников применяются различные меры безопасности: при шуме используют средства индивидуальной защиты слуха — беруши или наушники, устанавливают шумопоглощающие экраны и покрытия, чередуют шумные и тихие операции с перерывами. Для снижения воздействия вибрации применяют антивибрационные перчатки и накладки, оборудование с уменьшенной вибрацией и ограничивают время работы с вибрирующим инструментом, проводя регулярные медосмотры. При работе с электричеством необходимо использовать исправное и заземлённое оборудование, диэлектрические перчатки и коврики, отключать питание перед ремонтом или настройкой, строго соблюдать правила работы с электроустановками и регулярно проверять состояние изоляции и защитных устройств.

#### 4. Физические перегрузки (все профессии)

Физические нагрузки особенно характерны для работ, выполняемых в ручном режиме.

**Основные виды перегрузок:**

- подъём и перенос тяжёлых моделей и заготовок;
- монотонные, многократно повторяющиеся движения (шлифовщик, маляр);
- длительные статические позы (формовщик, сборщик);
- работа в неудобных положениях, наклоны более 30° (столяр, слесарь, модельщик).

**Меры профилактики:**

- эргономичная организация рабочих мест;
- использование подъёмно-транспортных устройств;
- чередование операций;
- регламентированные перерывы.

Профессия модельщика аэрогидродинамических моделей из неметаллических материалов относится к трудовой деятельности повышенной опасности и требует комплексного подхода к обеспечению безопасности труда. Многообразие выполняемых операций — от механообработки до формования композитов и малярных процессов — приводит к воздействию механических, химических, физических и эргономических факторов.

Систематическая профилактика рисков, оснащение рабочих мест современными средствами защиты, соблюдение требований охраны труда и регулярный контроль производственной среды являются ключевыми условиями сохранения здоровья специалистов и повышения качества выполнения работ.

**Литература:**

1. Инструкция по охране труда при работе с ручным инструментом и приспособлениями. — Сибирский научно-исследовательский институт авиации им. С. А. Чаплыгина.
2. Инструкция по охране труда для персонала при работе на рейсмусовых станках. — Сибирский научно-исследовательский институт авиации им. С. А. Чаплыгина.
3. Инструкция по охране труда при работе на фуговальном станке. — Сибирский научно-исследовательский институт авиации им. С. А. Чаплыгина.
4. Инструкция по охране труда при работе на ленточнопильном станке. — Сибирский научно-исследовательский институт авиации им. С. А. Чаплыгина.
5. Инструкция по охране труда при работе на фрезерных станках с ЧПУ. — Сибирский научно-исследовательский институт авиации им. С. А. Чаплыгина.

6. Инструкция по охране труда при работе на токарных станках. — Сибирский научно-исследовательский институт авиации им. С. А. Чаплыгина.
7. Инструкция по охране труда при работе на сверлильных станках. — Сибирский научно-исследовательский институт авиации им. С. А. Чаплыгина.
8. Инструкция по охране труда для работающих на прессах. — Сибирский научно-исследовательский институт авиации им. С. А. Чаплыгина.
9. Инструкция по охране труда для работающих на шлифовальных станках. — Сибирский научно-исследовательский институт авиации им. С. А. Чаплыгина.
10. Инструкция по охране труда при выполнении малярных работ. — Сибирский научно-исследовательский институт авиации им. С. А. Чаплыгина.
11. Межотраслевые правила по охране труда при работе с эпоксидными смолами и материалами на их основе (ПОТ Р М-024-2002) : утверждены постановлением Министерства труда и социального развития Российской Федерации от 14.08.2002 № 56. — М., 2002.
12. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.
13. ГОСТ 24346-80 Вибрация. Термины и определения.

## **МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ НА ВЕРХНЕ-МУНСКОМ ГОРНОТРАНСПОРТНОМ КОМПЛЕКСЕ**

**Е. М. Шешуков**

**Новосибирский государственный технический университет,**

**г. Новосибирск, Sheshukov-Z0404@mail.ru**

**Научный руководитель: Поляков Ю. О., к.т.н., доцент**

*В работе рассмотрены методы обеспечения промышленной, трудовой и экологической деятельности в условиях Крайнего Севера при эксплуатации горного оборудования в Верхне-Мунском горнотранспортном комплексе (ГТК). Также уделено внимание специфике эксплуатации горного оборудования в условиях резко континентального засушливого климата (продолжительная зима и умеренно жаркое лето), способам охраны труда и защите окружающей среды.*

*This paper examines methods for ensuring industrial, labor, and environmental safety in the Far North and the operation of mining equipment in the Verkhe-Munsky Mining and Transport Complex (GTK). It also addresses the specifics of operating mining equipment in a severely arid continental climate (long winters and moderately hot summers), occupational safety measures, and environmental protection.*

Горнотранспортный комплекс (месторождение «Верхне-Мунское»), далее ГТК, находится на балансе УГОК АК «АЛРОСА» (ПАО), находится в пределах одного горного отвода (Горноотводного акт №61 от 26Л 0.2016 г. Эксплуатация производится на основании лицензии на право пользования недрами Якутии для разведки и добычи алмазов на месторождении «Верхне-Мунское» [1]. ГТК расположен на территории муниципального района «Оленёкский эвенкийский национальный район» Республики Саха (Якутия), в 180 км северо-восточнее г. Удачный. Климат в районе месторождения резко континентальный с продолжительной зимой и умеренно жарким летом. Район Верхне-Мунского поля экономически совершенно не освоен. Здесь полностью отсутствуют какая-либо промышленная инфраструктура. Основу экономики составляет сельское хозяйство (оленеводство-звероводство) и охотничий промысел. Большая часть территории в промышленном отношении освоена плохо, характеризуется суровыми природными условиями, низким уровнем развития транспорта на большей её части (транспортная связь – воздушная и по автозимникам), повышенными затратами на освоение и эксплуатацию ресурсов. Поверхность плато пологоволнистая, расчленена долинами рек Муна, Силигир, Тюнг. В районе месторождений в р. Муна впадает крупный правый приток р. Улах-Муна, на склоне долины которого и расположены кимберлитовые трубки. Поверхность трубок возвышается над уровнем моря на 290-400м. Разработка карьера на месторождении «Верхне-Мунское» осуществляется на основании технического проекта «Технический проект отработки запасов месторождения «Верхне-Мунское».

В соответствии ФЗ от 21 июля 1997 г. № 116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» карьер на месторождении «Верхне-Мунское» зарегистрирован в государственном реестре опасных производственных объектов, о чём Ленским Управлением Ростехнадзора выдано свидетельство о регистрации № А73-00115-0394 дата рег. 23.12.2016 г., II класс опасности [2].

Стремительный рост потребления природных ресурсов сопровождается не только изменением количественных масштабов антропогенного воздействия, но и появлением новых факторов, влияние которых на природу, ранее незначительное, становится доминирующим. Наносимый природным компонентам ущерб ведёт к ощутимым последствиям и отражает обратную реакцию этого воздействия (негативную для общества), обобщаемую понятием «современная экологическая ситуация». В процессе горного производства образуются и быстро увеличиваются пространства, нарушенные горными выработками, отвалами пород и отходов переработки и представляющие

собой бесплодные поверхности, отрицательное влияние которых распространяется на окружающие территории [3].

Под воздействием естественных опасностей могут возникнуть следующие факторы:

- Движущиеся элементы горнотранспортного оборудования;
- Выделение ядовитых газов и нефти;
- Обрушение горных пород.

К вредным факторам, присутствующим на руднике можно отнести:

- Наличие вибрации и шума;
- Недостаточное освещение;
- Выделение пыли и вредных веществ при ведении горных работ.

Объекты ведения подземных горных работ в соответствии с Федеральным законом «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 № 116-ФЗ отнесены к опасным производственным объектам. Под объектом ведения подземных горных работ следует понимать ряд подземных горных выработок, находящихся в единой вентиляционной системе, а также производственные здания и сооружения поверхностного комплекса. Обязательным условием принятия решения о начале строительства (эксплуатации), консервации и ликвидации шахты является наличие положительного заключения экспертизы промышленной безопасности проектной документации.

Природные и климатические условия вечной мерзлоты и засушливого климата оказывают негативное воздействие на технику горнотранспортного комплекса, такое как:

- потеря пластичности и разрушение металлов и материалов;
- ускоренный износ и поломки деталей, работающие под нагрузкой;
- загущение масел, что приводит к проблемам запуска двигателя;
- загущение гидравлических жидкостей (ухудшение управляемости);
- обледенение кузовов и заклинивание троссов, механизмов;
- неравномерная просадка дорожного полотна для автотранспорта.

Именно поэтому для удачной эксплуатации оборудования на производстве используются резинотехнические изделия и полимеры, которые способны сохранять эластичность даже при температах ниже -50 С. Могут использоваться гидравлические жидкости с низкой температурой застывания. Также тяжелая техника, такая как: самосвалы, бульдозеры и экскаваторы, рис. 1, могут быть оснащены предпусковыми подогревательными двигателями и аккумуляторами. На случай сильной

непогоды на складах создаются значительные запасы критически важных расходных материалов. В целях обучения и допущения рабочего персонала к оборудованию, работники проходят специальное обучение для работы с адаптированной техникой в условиях Крайнего Севера.



Рис. 1 – Тяжелая техника на Верхне-Мунском месторождении

Безопасность рабочего персонала обосновано строгому соблюдению рабочего регламента: перед началом смены проводится освидетельствование состояния сотрудников ограничению времени работы на открытом воздухе в период низких температур и проведению рабочих перерывов. Территория комплекса оснащена круглосуточным медицинским пунктом, оснащенным для оказания первой помощи при производственных травмах, обморожениях и других неотложных состояниях. Так как низкие температуры могут оказывать негативное воздействие на здоровье и трудоспособность работников, такое как:

- обморожение и повреждение тканей тела;
- холодовой ожог (при контакте обнаженной кожи с охлажденным металлом);
- переохлаждение;
- обледенение поверхностей, что приводит к риску подскользнуться и получить травму;

на территории ГТК в условиях Крайнего Севера применяются определенные СИЗы, рис. 2, такие как: специальное термобелье, обувью с специальной терморегуляцией и утолщенной подошвой с оснащением термо-стелек, оснащение спецодежды специальными термо-подкладками, балаклавы и защитные маски от обморожения, очки. Основным вредным фактором на производстве является – пыль. Дабы огородить себя от излишek попадания пыли в легкие нужно работать в респираторе, одобренном производителем респиратора для той работы, которую выполняют работники. Крайне важно, чтобы респиратор,

который вы используете, защищал вас от мельчайших частиц пыли, которые приводят к силикозу и которые могут привести к серьезному заболеванию легких. Запрещено использовать машину до тех пор, пока вы не удостоверитесь, что респиратор работает правильно [4].

Костюм для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий	1	-	Мужской/Женский	Костюм мужской/женский летний для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий ТУ 8572-001-002-23-308410-2014
Костюм для защиты от воды	1	991,20	Для защиты от воды	Костюм ШТОРМ (Восток-Сервис)
Куртка на утепляющей прокладке	по пижам	613,60	-	Куртка ДОКЕР (Восток-Сервис)
Ботинки кожаные с защитным подноском или	1 пара	830,00 1 020,00 1 310,00 1 625,00	Для рабочих. Мужские. Размер: 38-48	Тефф Супертайл (Торжковская обувная фабрика) Трейл Икс (Промкомплектация) Строп 6919 S1 (Panda) Форелла М3 (Промкомплектация)
Сапоги кожаные с защитным подноском	1 пара	1 105,00 1 185,00 1 320,00 1 310,00 1 625,00	Для рабочих. Женские. Размер: 35-41	Трейл Леди Икс (Промкомплектация) Трейл Леди Универсал (Промкомплектация) Строп 6919 S1 (Panda) МакСти克斯 (Heckel Secureit)
Сапоги резиновые с защитным подноском	1 пара	930,00 1 150,00 2 520,00	Мужские/Женские	Трейл Супер (Торжковская обувная фабрика) Форелла М5 (Промкомплектация) МакПориг (Heckel Secureit)
Перчатки с полимерным покрытием	12 пар	509,00 631,00 128,00 229,00 148,00 125,00	Облегченные. Полностью покрытая, трикотажная манжета. Размеры: 7, 8, 9, 10 Бесшовные. Частично покрытая, трикотажная манжета. Размеры: 7, 8, 9, 10	Арталь 178-62 (АРТЕ) Сапоги резиновые арт. 2C55-МТЗ (ООО «Томский завод резиновой обуви») Хайлайт 47-402 (Ansell) ПрофИ Эрго 6014.8 (UVEK) Хайфлекс 11-920 (Ansell) MacGold N100 (Comasec)
Сапоги резиновые с защитным подноском	1 пара	509,00 631,00	Из ПВХ Из резины	Арталь 178-62 (АРТЕ) Сапоги резиновые арт. 2C55-МТЗ (ООО «Томский завод резиновой обуви»)
Перчатки с полимерным покрытием	12 пар	128,00 229,00 148,00 125,00	Облегченные. Полностью покрытая, трикотажная манжета. Размеры: 7, 8, 9, 10 Бесшовные. Частично покрытая, трикотажная манжета. Размеры: 7, 8, 9, 10	Хайлайт 47-402 (Ansell) ПрофИ Эрго 6014.8 (UVEK) Хайфлекс 11-920 (Ansell) MacGold N100 (Comasec)
Каска защитная	1 на 3 года	330,00 520,00 331,00 210,00	Универсальное применение	Супер Бос 9752 (UVEK) Эйранг 9762 (UVEK) МК7 (ISP) ЭВО 2 (ISP)
Подшлемник под каску	1	330,00 350,00	Универсальное применение	Подшлемник (9790.015) (UVEK) Подшлемник (9790.016) (UVEK)
Очки защитные	до износа	410,00 485,00 480,00 172,00	Открытые. Прозрачные линзы	Махи (13225-000000M) (3M PELTOR) Снейпер (9195.265) (UVEK) Ай-Бо (9195.285) (UVEK) Вернок (I-Spector)
Наушники противошумные (с креплением на каску) или	до износа	565,00 490,00 850,00 755,00 1 030,00 1 490,00 665,00 510,00	Противошумные наушники со стандартным оголовьем. SNR 24-30 дБ Противошумные наушники со стандартным оголовьем. SNR 31-33 дБ Противошумные наушники со стандартным оголовьем. SNR 34-35 дБ Противошумные наушники с креплением на каску. SNR 24-30 дБ	Оптим I (3M PELTOR) Грин (EAR DEFENDER) Оптим II (3M PELTOR) Оранж (EAR DEFENDER) Оптим III (H540A-411-SV) (3M PELTOR) Увекс Икс (UVEK) Оптим I (3M PELTOR) Грин (EAR DEFENDER)

Рис. 2 – СИЗы в условиях Крайнего Севера

Низкие температуры и скучный почвенный покров могут привести к необратимым последствиям, ликвидация таких как:

- разрушение и изменение ландшафта (проседание грунта);
- выброс парниковых газов (таяние высвобождает в атмосферу огромное количество (CH4) и (CO2));
- потеря плодородия земель;

займет далеко немалый срок. Комплексный подход к экологической безопасности включает несколько задач, такие как: вторичного использования сточных вод под многоступенчатой очисткой, все хвостохранилища оснащены противофильтрационными экранами из геомембранны, предотвращающими попадание вредных веществ в грунт. После выполнения горных работ на отработанных участках проводятся незамедлительные технические работы по восстановлению рельефа и нанесению плодородного слоя. Также во время горных работ на территории ГТК производится круглосуточный мониторинг и отслеживание. Особое внимание уделяется контролю температурного режима мерзлых грунтов.

В горнотранспортном комплексе месторождения «Верхне-Мунское» (УГОК АК «АЛРОСА») безопасность производства обеспечивается комплексным подходом, адаптированным к экстремальным условиям Крайнего Севера. Безопасность технологических процессов достигается за счет применения специализированного оборудования, устойчивого к низким температурам: используются резинотехнические изделия и полимеры, сохраняющие эластичность при -50 °C, гидравлические жидкости с низкой точкой застывания, а тяжелая техника оснащается предпусковыми подогревателями. Размещение и эксплуатация оборудования осуществляются в строгом соответствии с требованиями охраны труда, что обеспечивает безопасное перемещение и обслуживание.

Особое внимание уделяется защите здоровья работников в условиях сурового климата. Безопасность персонала обеспечивается за счет строгого соблюдения регламента, включающего предсменный осмотр, ограничение времени работы на открытом воздухе в мороз и обязательные обогревы. Все сотрудники используют сертифицированные средства индивидуальной защиты (СИЗы) - термобелье, утепленную спецодежду и обувь, балаклавы и респираторы для защиты от мелкодисперской пыли, предотвращающей риск силикоза.

В области экологической безопасности реализуются превентивные меры, направленные на минимизацию ущерба хрупким экосистемам вечной мерзлоты. Для предотвращения фильтрации вредных веществ применяются геомембранны на хвостохранилищах, внедрены системы многоступенчатой очистки и вторичного использования сточных вод. По завершении горных работ незамедлительно проводятся работы по восстановлению рельефа и рекультивации земель. Круглосуточный мониторинг, включая контроль температурного режима мерзлых грунтов, позволяет своевременно выявлять и предупреждать негативные изменения.

Таким образом, промышленная, трудовая и экологическая безопасность на Верхне-Мунском ГТК обеспечивается за счет сочетания технических решений [5], адаптированных к арктическим условиям, строгого соблюдения нормативов и непрерывного контроля, что позволяет минимизировать риски и сохранять стабильную работу в одном из самых суровых регионов мира.

Литература:

1. Ничипорук А. О. «Алроса» и тенденции развития алмазно-бриллиантового рынка // Драгоценные металлы, драгоценные камни. 2005. № 10.
2. Леонов Е. Г. Осложнения и аварии при бурении нефтяных и газовых скважин. В 2 частях. Часть 1. Гидроаэромеханика в бурении / Е.Г. Леонов, В.И. Исаев. - М.: Недра-Бизнесцентр, 2020. - 416 с.
3. Крикун З. Н. Вычислительная техника в инженерных и экономических расчетах. Учебник для вузов / З.Н. Крикун. - М.: Недра, 2019. - 264 с.
4. Единые правила безопасности при взрывных работах. М., Недра, 2001. – 127 с.
5. «Правила безопасности при геологоразведочных работах» // [Электронный ресурс]: – URL: <https://classinform.ru/profstandarty/40.209-spetsialist-v-sfere-promyshlennoi-bezopasnosti.html/> (дата обращения: 07.05.2024). – Загл. с экрана. – Яз. рус

# **НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ – ЭКОЛОГИЯ И ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

## **Секция 10.1 ТЕХНОЛОГИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ**

### **ПЕРЕРАБОТКА СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ МЕТОДОМ БЕЗВАКУУМНОЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ КОНВЕРСИИ**

**Н. А. Аликеев, Т. С. Шляхов**

**Томский политехнический университет,**

**г. Томск, паа46@tpu.ru**

**Научный руководитель: Болатова Ж.С., к.т.н.**

*В связи с увеличением производства и эксплуатации солнечных панелей, возникает проблема их утилизации. Для получения и повторного дальнейшего использования полезных материалов из отходов, был разработан метод получения карбида кремния из измельченных отработавших панелей с помощью электродуговой конверсии.*

*With the increasing production and use of solar panels, the problem of their disposal arises. To recover and reuse useful materials from waste, a method has been developed for producing silicon carbide from crushed, used panels using electric arc conversion.*

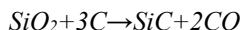
На данный момент по всему миру растет спрос на возобновляемые источники энергии, одним из которых является солнечный свет, из-за этого так же растет количество отходов, связанных с ростом эксплуатации солнечных панелей. Переработка отходов отработавших солнечных панелей является актуальной проблемой, поскольку они содержат в себе тяжелые металлы, которые способны принести вред человеку и окружающей среде, а также кремний, для получения которого требуются значительные затраты. В основном, элементами, перерабатываемыми в солнечных панелях, являются алюминий, стекло, медь, и высокочистый кремний [1].

Выделяют три основных способа переработки отработавших поликристаллических кремниевых солнечных панелей: переработка, upcycling (переработка в полезные материалы) и downcycling (переработка в материалы с меньшей ценностью) [2,3]. В данном исследовании рассматривается метод upcycling, заключающийся в расслосении модуля химической [6], механической [5] и термической [4]

обработкой. Химическая обработка может быть опасной для человека из-за выделения токсичных паров, физическое дробление не может дать полного расслоения модуля [7], поэтому использование термической обработки является наиболее целесообразным. Плазменные технологии, благодаря созданию высокой температуры, позволяют синтезировать из отходов карбид кремния, который из-за своих выдающихся свойств, таких как, высокая твердость, теплопроводность и коррозионная стойкость, имеет высокую стоимость на рынке [8].

Исследование проводилось с использованием лабораторной установки безвакуумной электродуговой конверсии, схема которой была описана ранее [9]. Особенность установки заключается в отказе от баллонов с инертными газами и поддержания вакуума в рабочем объеме реактора вследствие образования газов CO и CO<sub>2</sub>, из-за которых происходит экранирование рабочей зоны от кислорода, что значительно упрощает и удешевляет процесс.

Перед переработкой и последующего анализа поликристаллическая кремниевая солнечная панель была измельчена до частиц порядка 1 мм. В шихту так же был добавлен технический углерод N550 для восстановления кремния в соответствии с реакцией:



Сама реакция проходила в следующем режиме синтеза: 60 секунд; 200 Ампер. Выбранный режим необходим для достижения температуры выше 1800°C, которой достаточно для протекания реакции [10].

Полученные продукты были анализированы методом рентгеновской дифракции на установке Shimadzu XRD 7000s (CuK $\alpha$ ,  $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$ ), с использованием стандартного программного обеспечения дифрактометра, а также базы структурных данных PDF4+.

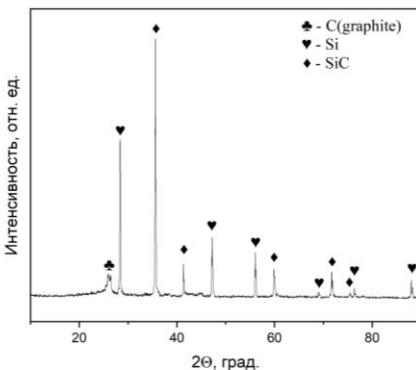


Рис.1 – Дифрактограмма обработанного в установке безвакуумной электродуговой конверсии образца отработавшей солнечной панели

Данные, полученные после проведения рентгенографического анализа, свидетельствуют о содержании в образце карбида кремния (№65-360), которому на графике принадлежит главный максимум и содержание которого составляет 66.8%. Так же в образце присутствуют фазы кремния (№77-2108) с его содержанием в 31,1% и гексагонального графита (№41-1487), с содержанием 2,1%.

Проведенное исследование указывает на возможность получения карбида кремния из отработанных солнечных панелей с помощью использования термической переработки на электродуговом реакторе, причем без использования дополнительной вакуумной установки или инертных газов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWW-2025-0003).*

#### Литература:

1. Majewski P., Al-shammary, W., Dudley, M., Jit, J., Lee, S., Myoung-kug, K., Sung-jim, K.: Recycling of solar PV panels- product stewardship and regulatory approaches. Energy Policy. 149, 112062 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.112062>
2. Wang X., Tian X., Chen X., Ren L., Geng C.: Solar Energy Materials and Solar Cells A review of end-of-life crystalline silicon solar photovoltaic panel recycling technology. Sol. Energy Mater. Sol. Cells. 248, 111976 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2022.111976>

3. Kokul S. R., Bhowmik S.: Recycling of crystalline silicon photovoltaic solar panel waste to modified composite products. (2021). <https://doi.org/10.1177/14777606211019416>
4. Doni A., Dughiero F.: Electrothermal Heating Process Applied to c-Si PV Recycling. 2012 38th IEEE Photovolt. Spec. Conf. 757–762 (2011). <https://doi.org/10.1109/PVSC.2012.6317715>
5. Li X., Liu H., You J., Diao H., Zhao L.: Back EVA recycling from c-Si photovoltaic module without damaging solar cell via laser irradiation followed by mechanical peeling. Waste Manag. 137, 312–318 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.11.024>
6. Azeumo M. F., Germana C., Ippolito N. M., Franco M., Luigi P., Settimio S.: Solar Energy Materials and Solar Cells Photovoltaic module recycling, a physical and a chemical recovery process. Sol. Energy Mater. Sol. Cells. 193, 314–319 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2019.01.035>
7. Granata G., Pagnanelli, F., Moscardini, E., Havlik, T., Toro, L.: Recycling of photovoltaic panels by physical operations. Sol. Energy Mater. Sol. Cells. 123, 239–248 (2014)
8. Izhevskyi V. A., Genova L. A., Bressiani J. C., Bressiani A. H. A.: silicon carbide. Structure, properties and processing. Cerâmica. 46, 4–13 (2000).
9. Plasma reactor for material synthesis and waste recycling, National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia / Zh. Bolatova, A.YA. Pak, A.A. Gumovskaya, P.V. Povalyaev, R.S. Martynov, K.B. Larionov // Proceedings of 8th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects. – 2022. – C1. – P. 801–805.
10. Ya. Pak A., Bolatova Z., Nikitin D. S., Korchagina A. P., Kalinina, N.A., Ivashutenko, A.S.: Glass waste derived silicon carbide synthesis via direct current atmospheric arc plasma. Waste Manag. 144, 263–271 (2022). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.04.002>.

# РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ТЕРРИТОРИИ ЗАНЯТОЙ ПОД СВАЛКУ ТКО, НА ПРИМЕРЕ ПОЛИГОНА «ЛЕВОБЕРЕЖНЫЙ»

**Е. С. Алпеева, Д. П. Кузякина**

**Новосибирский государственный университет**

**экономики и управления «НИНХ»,**

**г. Новосибирск, alpeeva-05@mail.ru**

**Научный руководитель: Лосева Е. Н., к.т.н.**

*В статье была рассмотрена экологическая ситуация, связанная с деятельностью полигона твёрдых коммунальных отходов «Левобережный» в городе Новосибирске. Приведены сведения о его функционировании, влиянии на окружающую среду и необходимости проведения мероприятий по рекультивации. Произведен анализ правовых и технических аспектов рекультивации полигонов, описаны этапы и основные мероприятия по восстановлению земель, включая инженерно-экологические изыскания, дегазацию, сбор фильтрата и восстановление растительного покрова. Особое внимание уделено проблеме исчерпания мощностей полигона и экологическим рискам, возникающим при переполнении.*

*This article examines the environmental situation surrounding the Levoberezhny municipal solid waste landfill in Novosibirsk. It provides information on its operation, environmental impact, and the need for remediation measures. It analyzes the legal and technical aspects of landfill remediation and describes the stages and key measures for land restoration, including engineering and environmental surveys, degassing, leachate collection, and vegetation restoration. Particular attention is paid to the issue of landfill capacity depletion and the environmental risks arising from overflow.*

Левобережный полигон МУП города Новосибирска «Спецавтохозяйство» был введен в эксплуатацию в 1995 году и является одним из крупнейших объектов размещения отходов в регионе. Полигон занимается приемкой ТКО и отходов, не отнесенных к ТКО. Поступающий на полигоны мусор уплотняется с использованием тяжелой техники – бульдозеров и изолируется слоем грунта не менее 20 см. Поступающие отходы частично проходят обработку – производится сортировка с выборкой полезных фракций, пригодных к дальнейшей переработке.

Отходы, собираемые на полигонах из-за хозяйственной деятельности человека, способствуют большому изменению окружающей среды.

Происходят такие изменения как:

- выделение в атмосферный воздух различных опасных химических соединений;
- выделение в почву и грунтовые воды, тяжелых металлов, что приводит к снижению плодородия;

- распространение токсичности с помощью грунтовых вод.

По заявлению компании АО «САХ» «Левобережный» полигон в Новосибирске перестал принимать часть мусора. Как сообщила пресс-служба компании – регионального оператора по работе с ТКО «САХ», его емкость почти исчерпана. «С 2024 года полигон работает в режиме повышенной готовности, и сейчас мы вынуждены прекратить прием части отходов. Твердые коммунальные отходы пока продолжат размещать, но в будущем планируется закрытие Левобережного полигона и рекультивация», – рассказала Лидия Куличкова, начальник отдела охраны окружающей среды АО «САХ» [2].

«Изменение маршрутов может увеличить расходы и привести к росту цен на вывоз не ТКО и строительного мусора. Но этот шаг необходим, чтобы снизить вред и нагрузку на природу» – прокомментировала Ольга Любенко, начальник отдела организации и контроля вывоза ТКО АО «САХ» [2].

После полного прекращения вывоза отходов на полигон «Левобережный», нужно проводить программы по рекультивации территории, занятой под полигоном.

В России рекультивация территорий, занимаемых полигонами с отходами, осуществляется на основании нормативно-правовых актов [4, 5].

Рекультивация – это не просто ликвидация имеющихся свалок, но и комплекс работ, направленный на ликвидацию негативного воздействия полигона на окружающую среду, а также восстановление земель.

Программа рекультивации территории, занятой под полигоном, включает в себя два раздельных этапа: технический и биологический. Таким образом, к техническому этапу рекультивации полигона ТБО относятся следующие мероприятия [1]:

- стабилизация тела полигона (завоз грунта для засыпки провалов и трещин, его планировка и создание откосов с необходимым углом наклона и т.д.);
- сооружение системы дегазации для сбора свалочного газа;
- создание системы сбора и удаления фильтрата и поверхностного стока;
- создание многофункционального рекультивационного защитного экрана.

Вторым этапом рекультивации полигона будет являться:

- подготовка грунта;
- выбор растительности;
- посев растительности;
- подключение всех фильтрационных установок.

После выполнения двух этапов, на протяжении многих лет нужно делать пробы, на состояние окружающей природной среды, чтобы контролировать состояние.

П.С. Куприенко и его соавторы в научной статье «Рекультивация закрытых полигонов ТБО» ссылались на то, что полноценно восстановить территории занимаемыми под полигонами невозможно, а значит, использование территорий может быть опасно для здоровья населения.

Поэтому необходимо другое направление рекультивации – рекультивацию территорий полигонов ТБО с целью повторного складирования отходов, то есть способ многократного использования площадок захоронения ТБО. Такой вид рекультивации позволяет решить проблему отведения новых территорий под полигоны ТБО [1].

Предлагаемый способ позволит [1]:

- санировать старые свалки и обеспечить выполнение действующих нормативных требований к объектам захоронения ТБО;
- многократно использовать отведенные территории для захоронения ТБО;
- экономить природные ресурсы за счет использования вторичного сырья (стекло, металлы, пластики) и рециркуляции полученного в процесс сортировки свалочного грунта для пересыпки ТБО и рекультивации; исключить разработку карьеров грунта;
- сократить затраты на стадии инвестиций.

Рекультивация полигонов ТБО не решит проблему полигонного депонирования отходов в полном объеме. Полноценным решением проблемы по утилизации различных отходов может стать строительство мусоросжигательного завода. Заниматься сбережением окружающей природной среды нужно начинать незамедлительно, это касается не только полигона «Левобережный», но и по всей России. Нужно чтобы во многих крупных городах построили мусорожигающие заводы, а государство занималось финансированием.

В 2019 году начала свою работу мусорная реформа, была создана публично-правовая компания «Российский экологический оператор», учредителем является Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. В декабре 2019 года внесли поправки в ФЗ №89 «Об отходах производства и потребления», где приравняли сжигание мусора к его переработке [6]. В ближайшие 10 лет в России должно появиться 25 заводов по переработке мусора в электроэнергию. Однако, для того чтобы вся система по сжиганию мусора работала исправно, нужно наладить раздельный сбор отходов по всей России.

**Литература:**

1. Рекультивация закрытых полигонов ТБО / П. С. Куприенко, Т. В. Ашихмина, Т. В. Овчинникова, М. И. Пинчук // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2017. – Т. 1, № 8. – С. 445-447. – EDN ZPEJDN.
2. Акционерное общество «Спецавтохозяйство». Левобережный полигон прекратил прием не ТКО: [Электронный ресурс]. – URL: <https://xn--80aa5bmv.xn--p1ai/news/12971517/> (дата обращения: 23.11.2025).
3. Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов: утв. Министром России 02.11.1996 [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_146721/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_146721/) (дата обращения: 03.11.2025).
4. О введении в действие санитарных правил (вместе с «СП 2.1.7.1038-01. 2.1.7.) Почва, очистка населенных мест, отходы производства и потребления, санитарная охрана почвы. Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твердых бытовых отходов. Санитарные правила»: Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 30.05.2001 № 16 [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_32662/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_32662/) (дата обращения: 27.11.2025).
5. Свод правил СП 320.1325800.2017 "Полигоны для твердых коммунальных отходов. Проектирование, эксплуатация и рекультивация": утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 17.11.2017 г. № 1555/пр. [Электронный ресурс]. – URL: <https://base.garant.ru/71882762/> (дата обращения: 27.11.2025).
6. Об отходах производства и потребления: федеральный закон от 24.06.1998 №89-ФЗ. [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_19109/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/) (дата обращения: 24.11.2025).

# КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ZIF-8 И ГАЛЛУАЗИТА КАК КАТАЛИЗАТОРЫ СИНТЕЗА МЕТИЛОВОГО ЭФИРА ПРОПИЛЕНГЛИКОЛЯ ИЗ ПРОПИЛЕНОКСИДА И МЕТАНОЛА

Е. П. Амbrasовская<sup>1</sup>, А. П. Глотов<sup>2</sup>,  
М. Н. Тимофеева<sup>1,3</sup>, В. Н. Панченко<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, камбга00@gmail.com

<sup>2</sup> Российский Государственный университет нефти и газа  
им. И.М. Губкина, г. Москва

<sup>3</sup> Институт катализа имени Г. К. Борескова СО РАН, г. Новосибирск

Показана возможность регулирования каталитических свойств композитов на основе цеолитоподобного имидазолатного каркаса ZIF-8 и галлуазита трубчатого алюмосиликата в реакции синтеза из оксида пропилена и метанола метилового эфира пропиленгликоля, широко применяемого в химической промышленности в качестве растворителя. Установлено, что каталитические свойства композита ZIF-8/галлуазит зависят от метода формирования наночастиц ZIF-8 на галлуазите. В каталитические свойства композита, полученного предварительной обработкой галлуазита мочевиной, сопоставимы со свойствами ZIF-8.

In this study, three preparation methods of composite based on Zeolitic Imidazolate Framework ZIF-8 and the tubular aluminosilicate halloysite. The preparation method was found to affect the process of forming ZIF-8 nanoparticles on halloysite that leads to the different catalytic properties in the synthesis of propylene glycol methyl from propylene oxide and methanol. The catalytic properties of the composite obtained by pretreating halloysite with urea were comparable to those of ZIF-8.

Гликолевые эфиры находят широкое применение в различных областях промышленности в качестве растворителей благодаря наличию эфирной и гидроксильной групп. Наиболее популярными считаются два основных типа гликолевых эфиров – серии Е (синтезируются из оксида этилена) и серии Р (синтезируются из РО). При этом отмечается, что гликолевые эфиры серии Р являются менее токсичными и потому вызывают больший интерес. Метиловый эфир пропиленгликоля (2-метокси-1-пропанол, 1-МП-2) – один из широко востребованных гликолиевых эфиров серии Р в качестве органического растворителя при изготовлении красок, чернил, чистящих средств, косметики, агрехимии, полимеров и в оргсинтезе благодаря его хорошей растворяющей способности и низкой токсичности.

Традиционно 1-МП-2 получают по реакции взаимодействия оксида пропилена (РО) с метанолом (МеОН) (Рис. 1) в присутствии катализатора.

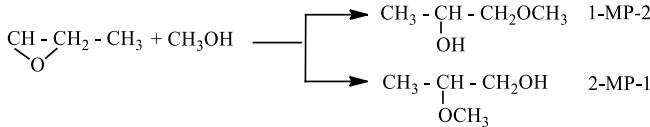


Рис. 1 – Реакция взаимодействия оксида пропилена с метанолом

Изомерный состав продуктов зависит от природы активных центров катализатора. Катализаторы, имеющие сильные основные центры позволяют получать с высоким селективностью 1-МП-2. В то время как в присутствии катализаторов, имеющие кислые центры, основным продуктом реакции будет 2-МП-1. Наблюдалось. Недавно в литературе показана возможность получения 1-МП-2 в присутствии цеолитоподобных имидозалатных каркасов ZIF-8, MAF-5 и MAF-6 [1, 2]. Их применение позволяет не только получать 1-МП-2 с 88-95% селективностью, но и проводить реакцию при температуре 90-110°C. Примечательно, что их катализитические свойства можно регулировать изменения размер частиц. Скорость реакции и выход 1-МП-2 возрастают с уменьшением размера частиц.

Цель данной работы – создание композита на основе наночастиц ZIF-8 и галлуазита (алюмосиликата, имеющего трубчатую структуру), а также установление основных факторов, позволяющих регулировать его катализитические свойства в реакции синтеза 1-МП-2 из РО и метанола (рисунок 1).

Композиты были получены тремя методами (Рис. 2).

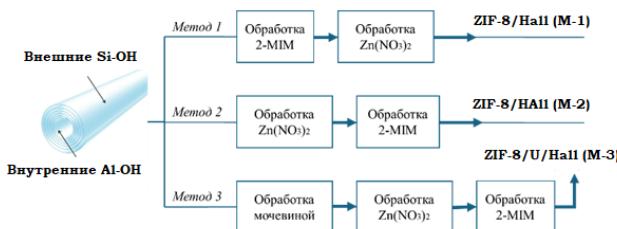


Рис. 2 – Методы синтеза композитов на основе галлуазита и ZIF-8

Катализитические свойства композитов изучали в реакции синтеза 1-МП-2 в условиях СВЧ-нагрева с использованием СВЧ-системы “PreeKem Nova 2S”. СВЧ-реактор закрывали после загрузки 2 мл РО, 10 мл MeOH, и 0.05 г катализатора и помещали в СВЧ-систему. Реакция проводилась при температуре 110 °C в течение 2 ч при постоянном перемешивании. После окончания реакции СВЧ-реактор охлаждали до комнатной температуры, отделяли катализатор и анализировали продукты реакции

методом ГХ. Согласно ГХ анализа основными продуктами реакции были 1-MP-2 и 2-MP-1.

На рисунке 3 приведено сравнение каталитических свойств полученных композитов. Согласно полученным данным, реакция протекает с высокой скоростью в присутствии галлуазита. Конверсия РО за 2 часа была 94%. Интересно, что в его присутствии 2-MP-1 образовывался в несколько большей селективностью (59.2%). Высокая конверсия РО, а также образование в большом количестве 2-MP-1 может указывать на наличие кислых центров в галлуазите.

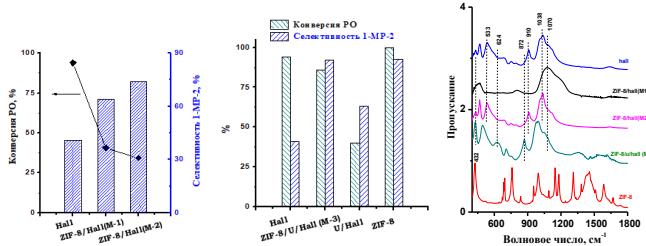


Рис. 3 – Влияние метода приготовления катализатора на основе галлуазита и ZIF-8 на конверсию РО и селективность по 1-MP-2

Блокировка кислых центров в результате обработки галлуазита  $Zn(NO_3)_2$ , а затем 2-метилимидазолом (метод 1) позволила повысить селективность по 1-MP-2 до 64%. Однако конверсия РО снизилась до 40.6%. Выход 1-MP-2 увеличился до 74% после изменения последовательности обработки галлуазита (метод 2). Различие каталитического поведения композитов ZIF-8/Hall(M-1) и ZIF-8/Hall(M-2) указывает на влияние метода синтеза на процесс формирования наночастиц ZIF-8. Согласно данным ИК спектроскопии применение метода 1 способствует формированию наночастиц ZIF-8 между слоями галлуазита. На это указывает исчезновение полос  $533\text{ cm}^{-1}$  и  $872\text{ cm}^{-1}$  (Si-O-Al) и уширение полосы в области  $900\text{-}1300\text{ cm}^{-1}$  (Si-O). В тоже время в случае метода 2 наночастицы ZIF-8 образуются на внешней поверхности галлуазита.

С целью полной блокировки кислых центров галлуазит был предварительно обработан мочевиной, кроме того, это способствовало закреплению катионов  $Zn^{2+}$  не на  $-OH$  группах, а на основных центрах мочевины (метод 3). Такой подход способствовал получению композита ZIF-8/U/Hall(M-3), обладающего каталитическим свойствами близкими к ZIF-8 (рисунок 3Б). В его присутствии конверсия была 85.4 %, а селективность по 1-MP-2 – 92.2 %. Таким образом, полученные данные указывают на то, что метод приготовления композита на основе

наночастиц ZIF-8 и галлуазита позволяет изменять его катализитические свойства.

**Литература:**

1. Timofeeva M. N. , Paukshtis E. A. , Panchenko V. N. , Shefer K. I. , Isaeva V. I. , Kustov L. M. , Gerasimov E. Y., Tuning the Catalytic Performance of the Novel Composites Based on ZIF-8 and Nafen through Dimensional and Concentration Effects in the Synthesis of Propylene Glycol Methyl Ether, European Journal of Organic Chemistry. 2019. V.2019. N26. P.4215-4225. DOI: 10.1002/ejoc.201900354.
2. Timofeeva M. N., Lykoyanov I. A., Panchenko V. N., Shefer K. I., Bhadra B. N., Jhung S. H., Zeolitic Imidazolate Frameworks ZIF-8 and MAF-5 as Highly Efficient Heterogeneous Catalysts for Synthesis of 1-Methoxy-2-propanol from Methanol and Propylene Oxide, Industrial and Engineering Chemistry Research. 2019. V.58. N25. P.10750-10758. DOI: 10.1021/acs.iecr.9b00655.

## **КУЛЬТИВИРОВАНИЕ ШТАММОВ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕВОДНОГО СЫРЬЯ**

**А. О. Беляева, В. В. Болтенков, А. В. Пилигаев, Н. В. Громов**

**Институт катализа им. Борескова СО РАН,**

**г. Новосибирск, gromov@catalysis.ru, vadim\_boltenkov@catalysis.ru**

*В работе изучены перспективы применения микроводорослей в качестве альтернативного источника углеводов, платформы для создания перспективных экологически чистых материалов, таких как биопластики и муравьиная кислота. Проведена культивация 15 штаммов микроводорослей, определены параметры накопления биомассы исследованных штаммов, а также определено содержание углеводов в ее составе.*

*The work studied the prospects of using microalgae as an alternative source of carbohydrates, a platform for creating promising environmentally friendly materials such as bioplastics and formic acid. The cultivation of 15 microalgae strains was carried out, the parameters of biomass accumulation of the studied strains were determined, and the carbohydrate content in their composition was determined.*

Крахмал служит важным и одним из основных источников углеводов как в пищевой сфере, так и в других отраслях промышленности. Около трети мирового производства крахмала используется далеко не в пищевой промышленности, а в производстве полимеров. Биопластики на основе крахмала бiorазлагаем и помогает снизить загрязнение

окружающей среды, что особенно актуально, учитывая угрозу ущерба экосистемам от пластиковых отходов [1].

Микроводоросли представляют собой перспективное экологичное сырьё для производства биоразлагаемого термопластичного крахмала благодаря высокой урожайности, эффективному фотосинтезу, простоте выращивания и отсутствия конкуренции с сельскохозяйственными культурами [2]. По некоторым исследованиям, крахмал, полученный из микроводорослей, может успешно заменить пищевой крахмал для создания качественного биопластика [3]. Также возможен путь производства и других ценных продуктов, например из биомассы микроводорослей возможно получение муравьиной кислоты в гидротермальных условиях и в воздушной среде с использованием катализатора  $H_5PMo_{10}V_2O_{40}$  [4].

В контексте снижения зависимости от ископаемого топлива, а так же с учетом концепции комплексной переработки биомассы, микроводоросли рассматриваются как многообещающий источник сырья для биодизеля и авиакеросинов (получаемых из липидов) благодаря видовому разнообразию, возможностям использования недорогих сред для культивирования, отсутствию конкуренции за сельхозугодья и высокой урожайности липидов на единицу площади (около 50 г/м<sup>2</sup>) [2]. Некоторые исследования подтверждают актуальность использования липидов для производства биотоплива в рамках задач углеродной нейтральности промышленности к 2050 году [5].

Однако текущие затраты на производство биотоплива из микроводорослей остаются высокими. Существует возможность снизить их за счёт применения дешёвых сред для культивирования, например, сточных вод, использования штаммов с высоким содержанием липидной части и внедрения энергосберегающих технологий экстракции и разделения биомассы. Так же пока отсутствуют оптимальные технологии получения крахмала из микроводорослей [2].

Целью работы явилось исследование различных перспективных штаммов микроводорослей в качестве альтернативного источника углеводов.

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), *Elliptocchloriss 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). Штаммы микроводорослей с индексом VCA были получены из коллекции ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН

(Владивосток, Россия). Штаммы микроводорослей с индексом IPPAS были получены из Коллекции микроводорослей IPPAS Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН (Москва, Россия). Штаммы микроводорослей с индексом IC были получены из коллекции Института катализа СО РАН (Новосибирск, Россия). Штаммы выращивали в среде ВВМ, аэрацией потоком газовой смеси воздух:  $\text{CO}_2$ , со скоростью потока 100 л/ч, с содержанием углекислого газа 2 об.%, при комнатной температуре, под УФ-лампами (мощность 10000 Лм).

Исследованные штаммы микроводорослей продемонстрировали различную скорость набора биомассы. Установлено, что наибольшей продуктивностью по биомассе обладал штамм *Chlorella vulgaris*.IPPAS-98 (50,0 мг/л·сут). Он же достигал наибольшего выхода биомассы (1,05 г/л). Наименьшей продуктивностью биомассы, как по скорости ее накопления (5,1 мг/л·сут), так и по наименьшему итоговому выходу (0,18 г/л) в заданных условиях обладал штамм *Elliptocchloriss cf. subsphaerica* VCA-193 ( $5,1 \text{ мг} \cdot \text{сут}^{-1} \cdot \text{л}^{-1}$ ).

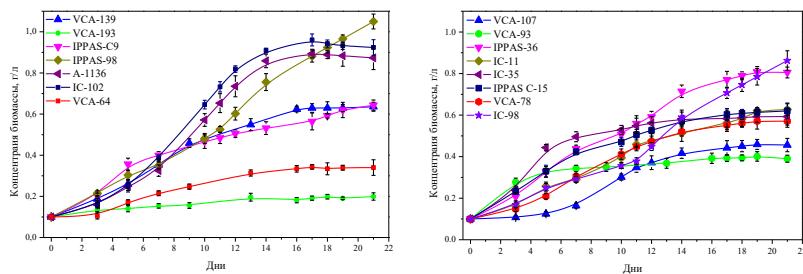


Рис. 1 – Прирост биомассы штаммов микроводорослей

Штаммы были исследованы на содержание углеводов в составе их биомассы (табл. 1). Анализ проводили спектрофотометрическим методом с использованием анtronового реактива. Установлено, что наибольшее количество углеводов в составе своей биомассы накапливают штаммы *Parachlorella kessleri* IC-11 (21,6 масс.%) и IPPAS C-15 (21,4 масс.%).

**Таблица 1 – Содержание углеводов в штаммах водорослей**

№	Название штамма	Содержание углеводов, масс.%	№	Название штамма	Содержание углеводов, масс.%
1	A1136	5,2±0,2	9	IPPAS 98	11,9±0,9
2	IC-11	21,6±1,3	10	VCA-64	15,1±1,1
3	IC-35	16,4±1,0	11	VCA-78	19,4±1,2
4	IC-98	16,1±0,6	12	VCA-93	19,1±1,7
5	IC-102	14,9±1,3	13	VCA-107	14,7±0,3
6	IPPAS C-9	18,2±0,7	14	VCA-139	13,3±0,8
7	IPPAS C-15	21,4±1,6	15	VCA-193	14,4±1,0
8	IPPAS C-36	13,2±0,7			

Проведено исследование масштабирования процесса культивации микроводорослей на примере штамма IC-11, в фотобиореакторе объемом 100 л. Установлено, что данный штамм сохраняет как скорость накопления биомассы (увеличивает свою биомассу в 12 раз за 15 суток), так и показатели содержания углеводов в своем составе, что свидетельствует о перспективности использования данного штамма в производстве углеводного сырья для дальнейшего использования.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках научного проекта № 25-23-20221.*

**Литература:**

1. Extraction and Characterization of Starch from Microalgae and Comparison with Commercial Corn Starch / R. N. Ramli, C. K. Lee, M. A. Kassim // Materials Science and Engineering. - 2020. - Vol. 716. – P. 012012. – doi: 10.1088/1757-899X/716/1/012012.
2. Extraction of Starch from Marine Microalgae, Chlorella salina: Efficiency and Recovery / P. Y. Wong, Y. H. Lai, S. Puspanadan, R. N. Ramli, V. Lim, C. K. Lee // International Journal of Environmental Research. – 2019. – Vol. 13. – P. 283-293. – doi:10.1007/s41742-019-00173-0.
3. Microalgae Biorefinery: Optimization of Starch Recovery for Bioplastic Production / F. D. Caprio, S. Amenta, I. Francolini, P. Altimari, F. Pagnanelli // ACS Sustainable Chemistry & Engineering. – 2023. – Vol. 11 N. 46. – P. 16509–16520. - doi:org/10.1021/acssuschemeng.3c04133.
4. Using Microalgae Biomass to Obtain High-value Products, Part One: Biomass Production Methods / K. N. Sorokina, Yu. V. Samoylova & V. N. Parmon //BIOCATALYSIS. – 2023. - V. 15. – P. 69–86 - doi: 10.1134/S2070050423010075.

5. Direct Conversion of Microalgae Biomass to Formic Acid under an Air Atmosphere with Soluble and Solid Mo–V–P Heteropoly Acid Catalysts / N. V. Gromov, T. B. Medvedeva, K. N. Sorokina, Y. V. Samoylova, Y. A. Rodikova, V. N. Parmon // ACS Sustainable Chemistry & Engineering. – 2020. - Vol. 8 N. 51 – P. 10. - doi:10.1021/acssuschemeng.0c06364.

**ОТГОННО-ПАСТБИЩНОЕ ЖИВОТНОВОДСТВО  
РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ, КАК ИСТОЧНИК  
БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ШТАММОВ  
БЕЗ АНТИБИОТИКОРЭЗИСТЕНТНОСТИ**

**М. М. Хандышанова, Н. В. Клоков, К. Г. Власова**

Томский государственный университет,

г. Томск, vlasova.ksu0@gmail.com

Научный руководитель: Лукина А. П., к.б.н., доцент

*Рост устойчивости к антибиотикам (AP) является серьезной проблемой здравоохранения. Работа посвящена поиску и выделению Lactobacillaceae, не имеющих генов устойчивости к антибиотикам. Из фекалий яков, выращиваемых методом отгонно-пастбищного скотоводства, выделены 5 новых представителей семейства Lactobacillaceae. Выделенные представители Ligilactobacillus salivarius, Limosilactobacillus mucosae, Lacticaseibacillus paracasei и Lactiplantibacillus plantarum не имеющие генов трансмиссивной AP, что делает их безопасными штаммами – пробиотиками.*

*This study focused on identifying and isolating Lactobacillaceae bacteria free of antibiotic resistance genes. Five new members of the Lactobacillaceae family were isolated from the feces of yaks raised using transhumance. The isolated bacteria—Ligilactobacillus salivarius, Limosilactobacillus mucosae, Lacticaseibacillus paracasei, and Lactiplantibacillus plantarum—were free of transmissible AR genes, indicating their safety as probiotics.*

В течение последних десятилетий исследования бактериальной устойчивости к антибиотикам неуклонно развивались, а решение проблемы неуклонного роста количества антибиотико-резистентных (AP) штаммов в настоящее время один из главных вопросов здравоохранения в мире. Молочнокислые бактерии (МКБ), используемые в производстве молочных продуктов и присутствующие в агрозоотехнической среде, могут выступать в качестве резервуаров генов устойчивости к антибиотикам (ARG), приобретая или передавая их другим микроорганизмам. Исследования последних 10 лет демонстрируют широкое распространение ARG генов в кишечных микробиомах сельскохозяйственных животных, разводимых в крупных

хозяйствах Российской Федерации стойловым методом, а также в штаммах пробиотиков и стартовых культур молочнокислых бактерий (МКБ). Все это вызывает в обществе опасения дальнейшего роста АР. Благодаря введению Евросоюзом запрета применения антибиотиков для стимуляции роста в 2006 году, запрету и ограничениям на использование антибиотиков в США в 2017 году удалось значительно сократить наличие АР МКБ в сыром молоке, в России запрет на использование антимикробных препаратов в корма вступил в силу лишь 1 марта 2025. Трансмиссивная резистентность по-прежнему присутствуют в промышленных культурах, несмотря на значительные усилия производителей заквасок по контролю технологического процесса и проверке безопасности коммерческих культур. Все это делает актуальным поиск, выделение стартовых и пробиотических культур свободных от генов трансмиссивной АР, а также является одной из главных задач при разработке пробиотических препаратов нового поколения.

Целью данного исследования было выделение новых представителей *Lactobacillaceae* из фекалий и продуктов животного происхождения, для которых ранее методами метагеномного анализа было показано отсутствие генов ARG.

Ключом к решению проблемы безопасности пробиотиков и пищевых добавок, содержащих молочнокислые бактерии, является изоляция штаммов из мест обитания, не являющихся резервуарами ARG, и подтверждение их отсутствия путем полногеномного секвенирования. Скрининг животноводческой продукции, который мы ранее проводили в рамках проекта по развитию генетических технологий, показал, что серьезной проблемой в животноводстве Российской Федерации является широкое распространение ARG в микробиоте животных, выращиваемых на крупных фермах. Также скрининг ARG показал, что у животных, выращиваемых отгонно-пастбищным способом, в Республике Алтай отсутствуют трансмиссивные ARG гены, а образцы фекалий, молоко и кисломолочные продукты на его основе являются подходящим объектом для выделения «чистых» МКБ (Begmatov et al., 2022; Karnachuk et al., 2023; Бегматов и др., 2024). В качестве объектов исследования использованы фекалии яков (*Bos grunniensis*). Пробы фекалий яков, выращенных отгонно-пастбищным способом отобраны 20.11.2021, 25.02.2025 и 8.11.25 в районе села Ташанта, Кош-Агачского района в высокогорье, на высоте 2600 метров, пограничном Монголией (республика Алтай). Из-за высокого снежного покрова в 2025 год животных докармливали сеном и они не получали кормовых добавок и антибиотиков. Первоначальные накопительные культуры получены из

фекалий животных, на среде де Мана, Рогоза, Шарпа (MRS), при pH 6.2 и pH 3.0. Последующее выделение чистых культур представителей *Lactobacillaceae* проводили на 3-х питательных средах средах MRS, DSMZ 58 и DSMZ 638 при различных температурах 15 °C, 30 °C, 37 °C и 45 °C. Инкубирование проводили в анаэростатах (Standard Schuett), заполненных азотом, а чистые культуры получены методом выделения отдельных колоний. Филогенетического положение чистых изолятов определяли в результате амплифицирования гена 16S рРНК с праймерами 27F-1492R. Коммерческое секвенирование по Сэнгеру проводили в компании Синтол (Москва, Россия). Из проб, отобранных в 2021 году, удалось получить накопительные и чистые культуры, содержащие лишь представителей семейства *Enterococcaceae*. Несмотря на то, что некоторые штаммы *Enterococcaceae* безопасны и являются пробиотическими, ряд представителей семейства могут вызывать серьезные инфекции, поэтому перед их применение в качестве пробиотиков необходимо проводить тщательные исследования для подтверждения отсутствия патогенности. Возможной причиной отсутствия представителей *Lactobacillaceae* в накопительных культурах из проб 2021 года являлось их низкое содержание в фекалиях, что было подтверждено в результате профильтрования по гену 16S рРНК. В 2025 году, был изменен подход при получении накопительных культур. Теперь накопительные культуры получали непосредственно при отборе проб, инокуляция питательных сред при отборе позволило накопить целевую группу и выделить чистые изоляты *Lactobacillaceae*. Благодаря изменению метода получения накопительных культур из фекалий яков получены пять новых чистых изолятов, а анализ последовательности гена 16S рРНК подтвердил их принадлежность к семейству *Lactobacillaceae*. Анализа последовательности гена 16S рРНК показал, что ближайшим родственником штамма 1983 является *Ligilactobacillus salivarius* сходство последовательностей составляло 99.72 %. Последовательность гена 16S рРНК штамма 2016 и 2141 на 100 % гомологична типовому штамму *Limosilactobacillus mucosae* S32 и *Lactiplantibacillus plantarum*, соответственно. А филогенетический анализ последовательностей гена 16S рРНК штаммов 2325 и 2328 демонстрировал 100 % сходство с *Lacticaseibacillus paracasei*.

Новые представители *Lactobacillaceae* (*L. salivarius*, *L. mucosae* *L. paracasei* и *L. plantarum*) широко известны своими пробиотическими свойствами, а отсутствие у штаммов трансмиссивной AP свидетельствует об их безопасности. Так же штаммы *L. paracasei* и *L. plantarum* можно использовать в качестве стартовых культур для приготовления кисломолочных продуктов и сыров.

*Исследование выполнено при поддержке Минобрнауки России FSWM-2025-0039.*

**Литература:**

1. Begmatov S. et al. Genome analysis of the candidate phylum MBNT15 bacterium from a boreal peatland predicted its respiratory versatility and dissimilatory iron metabolism //Frontiers in Microbiology. – 2022. – Т. 13. – С. 951761.
2. Karnachuk O. V. et al. The low-temperature germinating spores of the thermophilic Desulfofundulus contribute to an extremely high sulfate reduction in burning coal seams //Frontiers in Microbiology. – 2023. – Т. 14. – С. 1204102.
3. Begmatov S. et al. The structure of microbial communities of activated sludge of large-scale wastewater treatment plants in the city of Moscow //Scientific reports. – 2022. – Т. 12. – №. 1. – С. 3458.

**ПРИМЕНЕНИЕ V-СОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИТИЧЕСКИХ  
СИСТЕМ В ПРОЦЕССЕ ЖИДКОФАЗНОГО ОКИСЛЕНИЯ  
УГЛЕВОДОВ В МУРАВЬИНУЮ КИСЛОТУ**

**Н. А. Денисов<sup>1,2</sup>, И. А. Черенков<sup>1,2</sup>, Т. Б. Медведева<sup>1,2</sup>, Н. В. Громов<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН,

<sup>2</sup>Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск

*В работе рассматриваются современные исследования, направленные на получение муравьиной кислоты из возобновляемого сырья с использованием в качестве катализаторов оксидов ванадия ( $VO_x$ ), нанесенных на различные носители. Показано, что выбор носителя, предшественника ванадия, метода нанесения активного компонента и параметров условий реакции существенно влияет на конверсию глюкозы и выходы муравьиной кислоты. Отмечается перспективность использования данного типа катализаторов для процесса получения муравьиной кислоты. Также отдельно обсуждается вопрос стабильности таких систем в условиях реакции.*

*This work discusses modern researches aimed at obtaining formic acid from renewable feedstock in the presence of supported vanadium oxides ( $VO_x$ ) as a catalysts. It was shown that the support nature, the vanadium precursor, the preparation method and the reaction conditions affects significantly the conversion of glucose and yields of formic acid. Noted that V-supported catalytic systems can be a promising catalyst for formic acid production. The stability of the catalytic systems under reaction conditions is discussed separately.*

Муравьиная кислота (МК) и её соли, имеют широкий спектр применения: производство красителей, обезболивающих, дезинфицирующих средств, в качестве консерванта при силосовании

кормов. В настоящее время актуальным является поиск альтернативных энергоресурсов и недавние исследования показывают, что МК может выступать как перспективный носитель водорода для развития водородной энергетики. К преимуществам использования МК относят низкие токсичность и воспламеняемость, а также высокую объёмную водородную ёмкость, что выгодно выделяет МК среди прочих веществ-доноров водорода (метанол, бутанол, уксусная кислота и др.) [1].

Муравьиную кислоту как продукт в промышленности получают путем превращения невозобновляемых углеводородов, однако существуют исследования, направленные на изучение более экологичных способов получения этого продукта. Одним из них является окисление возобновляемого источника углерода — углеводов в присутствии катализаторов. Наибольшее внимание в литературе уделяется применению растворимых Mo-V-P гетерополикислотных (ГПК) катализаторов. К их преимуществам относится высокая эффективность в процессах окисления углеводов в МК (выходы МК до 90%), возможность их повторного использования в реакциях, а также высокую кислотность и высокий окислительный потенциал, которые позволяют осуществлять превращение субстратов сложного состава (целлюлоза, биомасса). Стоит отметить, что недостатком ГПК является очень большой расход катализатора (до 1000 г/л катализатора для превращения 5-40 г/л субстрата). Основным каталитически активным компонентом в ГПК в процессах окисления является ванадий, таким образом, рациональным подходом к разработке катализаторов в получении МК из углеводов представляется создания материалов с нанесенными  $\text{VO}_x$  структурами на поверхности носителя. Такой подход также позволит устранить недостаток растворимых катализаторов — сложность отделения от реакционной смеси.

В рамках некоторых исследований V-нанесенные системы уже применялись для превращения глюкозы в МК. Так, в своей статье авторы из Института материаловедения Севильи [2] использовали катализаторы  $\text{V}_2\text{O}_5/\text{TiO}_2$  с разным содержанием ванадия (0,6-10,5 мас.%), приготовленные методом пропитки по влагоемкости. Реакцию осуществляли в следующих условиях:  $m_{\text{глюкозы}} = 400$  мг,  $m_{\text{кат}} = 200$  мг катализатора,  $T = 150$  °С и давлении кислорода – 3 МПа. За 150 минут реакции авторы достигли полной конверсии глюкозы и отметили, что при увеличении содержания ванадия в катализаторе выходы муравьиной кислоты возрастают с 21 до 42%. В данной работе отмечается существенный недостаток используемых катализаторов — потеря активного компонента ввиду его вымывания с поверхности. Все системы

демонстрируют потерю активного компонента от 20 до 30%. В трех циклах испытания катализатора выходы МК снизились с 36 до 5%.

В другом исследовании [3] тот же коллектив авторов изучал влияние условий реакции (температура, время, давление кислорода, соотношение катализатор/глюкоза) и предшественника ванадия ( $\text{VOSO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{VO}_3$ ) на эффективность окисления глюкозы. В качестве катализатора был использован  $\text{V}_2\text{O}_5/\text{TiO}_2$  с загрузкой ванадия – 5 мас.%. Показано, что при использовании разных предшественников V, изменяется каталитическая активность нанесенного катализатора. Так, при использовании  $\text{VOSO}_4$  и  $\text{NH}_4\text{VO}_3$  выходы МК отличаются и составляют 40 и 29% соответственно. Также в работе были определены оптимальные условия процесса: температура – 150°C, время реакции – 1 ч, давление кислорода – 2,5 МПа, соотношение катализатор/глюкоза – 0,75/1. В оптимальных условиях выход МК достигает 48%. При этом авторы вновь сталкиваются с вымыванием активного компонента. После первого цикла реакции сообщается о 29% потере активного компонента.

В работе Shuxia Wei и др. [4] в качестве носителя используется коммерческий цеолит ZSM-5. Авторы исследовали эффективность нанесения V и Mo на поверхность носителя. Загрузка Mo варьировалась от 1 до 10 мас.%. Катализаторы приготовлены методом твердофазного смешивания. На первой стадии были определены оптимальные условия процесса: температура – 140°C, время реакции – 2ч, давление воздуха – 3 МПа, соотношение катализатор/субстрат – 0,5/1. Было показано, что добавление Mo оказывает положительное влияние на выходы МК. Так, максимальный выход МК достигается при 5% загрузке молибдена и составляет 71%. Авторы также сообщают, что данный катализатор стабилен в 5-ти циклах реакции, без потери каталитической активности.

На основе проведённого исследования литературы можно сделать вывод, что окисление биомассы с использованием нанесенных V-содержащих катализаторов для получения МК является актуальным и активно развивающимся направлением исследований. Такие системы позволяют превращать глюкозу в МК с выходами от 42 до 71%. Однако стоит отметить существенный недостаток таких систем – снижение каталитической активности ввиду вымывания активного компонента с поверхности носителя. Требуются дальнейшие исследований для разработки стабильного катализатора.

#### Литература:

1. Valentini F., Kozell V., Petrucci C., Marrocchi A., Gu Y., Gelman D., Vaccaro L. Formic acid, a biomass-derived source of energy and hydrogen for

biomass upgrading // Energy & Environmental Science. – 2019. – Т. 12, № 9. – С. 2646-2664.

2. Álvarez-Hernández D., Ivanova S., Penkova A., Centeno M. Á. Influence of vanadium species on the catalytic oxidation of glucose for formic acid production // Catalysis Today. – 2024. – Т. 441. – С. 114906.

3. Álvarez-Hernández D., Ivanova S., Domínguez M. I., Blanes J. M. M., Centeno M. Á. V2O5/TiO2 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.

4. 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.

## РАЗРАБОТКА БИОРАЗЛАГАЕМОГО ПОЛИМЕРА НА ОСНОВЕ КРАХМАЛА ДЛЯ УПАКОВКИ

У. А. Дюльдина, А. О. Уденеева

Самарский государственный технический университет,

г. Самара, nasty.uudeneeva.05@mail.ru

Научный руководитель: Дюльдина М. В., к.т.н., доцент

*XXI век считается веком высоких технологий. Кроме того, это и век глобальных экологических проблем. В России, и в Самаре, в частности, проблема отходов пластмасс как источника антропогенного загрязнения окружающей среды приобретает всё большую актуальность. Ежегодно производится свыше 400 млн тонн пластика. Огромная его часть, особенно упаковка и одноразовые изделия, попадают на свалки. Снизить остроту проблемы пластиковых отходов поможет переход к новым материалам из биоразлагаемых компонентов, способных разлагаться в природных условиях, не выделяя при этом вредных веществ.*

*The 21st century is considered the age of high technology. It is also the age of global environmental challenges. In Russia, and in Samara in particular, the problem of plastic waste as a source of anthropogenic environmental pollution is becoming increasingly pressing. Over 400 million tons of plastic are produced annually. A huge portion of this plastic, especially packaging and disposable items, ends up in landfills. A shift to new materials made from biodegradable components that can decompose in natural conditions without releasing harmful substances will help mitigate the plastic waste problem.*

Острота проблемы загрязнения окружающей среды отходами пластмасс, особенно упаковки, диктует необходимость перехода к

биоразлагаемым аналогам традиционных полимеров. В настоящее время наиболее часто для изготовления упаковки используются синтетические полимеры: полистилен, полипропилен или полимеры с биоразлагаемыми добавками. Кроме того, синтетические полимеры получают из нефти, т.е невозобновляемых источников сырья. Перспективным сырьем для их создания биоразлагаемых полимеров является крахмал – природный, возобновляемый и полностью разлагаемый полимер. Однако материалы на основе крахмала, как правило, обладают недостаточными для практического применения механическими свойствами и стабильностью [1].

Данное исследование направлено на решение глобальной проблемы загрязнения окружающей среды путем создания экологичной альтернативы для упаковки из отечественного сырья [2,3]. В связи со сложной geopolитической обстановкой задачи, связанные с использованием отечественных составов взамен импортных, являются особенно актуальными. Получение композиционного материала на основе крахмала позволит получить материал с улучшенными механическими свойствами и водостойкостью. Также данная технология позволит превратить отходы в ценный ресурс, что является примером экономики замкнутого цикла [4,5].

В данной работе разработан состав биоразлагаемого полимера на основе отходов крахмала, что позволит снизить его стоимость. Исследовано влияние состава композиции на ее свойства: прочность, гибкость, гидрофобность и скорость биодеградации.

Образцы пленок готовились следующим образом. Раствор желатина получали набуханием в дистиллированной воде при комнатной температуре. Раствор крахмала получали полным растворением в 200 мл дистиллированной воды при комнатной температуре. После получения растворов их необходимо смешать и нагревать на водяной бане при перемешивании до полного растворения крахмала (раствор должен стать прозрачным) при температуре 80-90°C (рис.1). Добавить 5 мл глицерина и растворить его в смеси. Продолжать нагрев до загустевания.

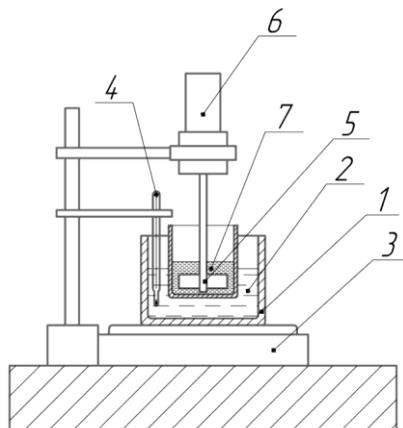


Рис. 1 - Лабораторная установка для получения полимерного состава  
1 – емкость; 2 – водяная баня; 3 – плитка; 4 – термометр;  
5 – якорная мешалка; 6 – электропривод; 7 – компоненты

Полученную массу разливали тонким слоем в чашки Петри и сушили при 25 °С до полного высыхания пленок. Для предотвращения прилипания пленок к форме их смазывали маслом.

Методом модификации состава получена прозрачная и гибкая пленка (рис.2) с прочностью на разрыв до 16 МПа, влагопоглощением, сниженным на 30% и увеличением относительного удлинения в 3 раза по сравнению с контрольным образцом. Тесты на биоразложение подтвердили полную деградацию образца в течение 90 дней в компосте.



Рис.2 - Образец

Таким образом, разработана рецептура и технология получения конкурентоспособного биоразлагаемого полимера на основе отходов крахмала. Результаты работы могут быть использованы на предприятиях, выпускающих упаковку и способствовать выполнению задач в области устойчивого развития замкнутой экономики.

Литература:

1. Тасекеев М. С., Еремеева Л. М. Производство биополимеров как один из путей решения проблем экологии и АПК: Аналит. обзор. – Алматы: НЦ НТИ, 2009. – С.7.
2. Фомин В. А., Гузеев В. В. // Пластические массы.– 2001.– №2. – С.12.
3. Борисов У. // The Chemical Journal. – 2005.– №5. – С.68.
4. Пармухина Е. Л.// Экологический вестник России. – 2011.– №2. – С.32.
5. Гусева Л. // Пластикс. – 2007.– №9 (55).– С.29.

## **ПОЛУЧЕНИЕ ЗОЛЬКЕТАЛЯ В МИКРОКАНАЛЬНОМ РЕАКТОРЕ ИЗ ГЛИЦЕРИНА И АЦЕТОНА В ПРИСУТСТВИЕ ЦЕОЛИТОВ**

**Н.А. Каверов, Д.А. Андреев, В.Н. Панченко, М.Н. Тимофеева**

**Институт катализа имени Г. К. Борескова СО РАН,**

**г. Новосибирск**

*Впервые показана возможность применения микроканального реактора для интенсификации синтеза золькетала из глицерина и ацетона в присутствие цеолитов, таких как: фожазит, цеолиты BETA, ZSM-5 и ZSM-12 с различными цеолитными модулями. Реакция была изучена при мольном соотношении ацетон/глицерин, равном 1.5, при этом катализатор подавали в реактор виде суспензии в глицерин-метанольном растворе (глицерин/метанол = 2:1 об./об.). Установлено, что конверсия глицерина зависит от структурных и кислотных свойств цеолита. Проведенные сравнения каталитических свойств цеолитов указывают на то, что удельная производительность по золькеталю в микроканальном реакторе выше по сравнению с реактором периодического действия.*

*The using a microchannel reactor to intensify the synthesis of solketal from glycerol and acetone in the presence of zeolites such as FAU, BETA, ZSM-5, and ZSM-12 zeolites with different zeolite modules was demonstrated. The reaction was studied at an acetone/glycerol molar ratio of 1.5, with the catalyst fed to the reactor as a suspension in a glycerol-methanol solution (glycerol/methanol = 2:1 vol./vol.). The glycerol conversion was found to depend on the structural and acidic properties of the zeolite. The comparison of the catalytic properties of zeolites points that the specific productivity to solketal in a microchannel reactor is higher than that of a batch reactor.*

В последнее время значительное внимание уделяется разработке новых подходов для проведения каталитических процессов с целью их интенсификации. Эти подходы основаны на увеличении тепло- и массопереноса, которое может быть достигнуто за счёт внешнего воздействия на реакционную систему. Так, проведение каталитических процессов в микроканальных реакторах также позволяет повысить тепло- и массоперенос по сравнению с традиционными реакторами за счёт малого диаметра канала. Недавно была показана возможность применения микроканальной технологии для синтеза золькетала, широко используемого в качестве растворителя и топливной добавки. Реакцию глицерина с ацетоном (рисунок 1) проводили в микроканальном стеклянном реакторе с внутренним диаметром 0.53 мм и длиной 100 мм, на внутренние стенки которого наносили плёнку цеолита ZSM-5. В оптимальных условиях при толщине плёнки 4.7 мкм, отношении

глицерин/ацетон, равном 1 : 8, температуре 50 °С и времени контакта 2.86 мин выход золькетала достигал 62.6%.

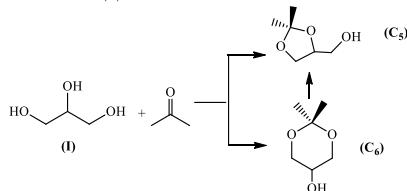


Рис. 1 – Реакция циклоконденсации глицерина с ацетоном

Стоить отметить внимание в этих работах уделено процессу синтеза цеолита ZSM-5 внутри микроканала, в то время как выявление основных факторов, влияющих на синтез золькетала (размер канала, длина реактора, скорость подачи реагентов и температура реакции), детально не изучалось.

Цель данной работы – изучение возможности применения микроканального реактора для интенсификации процесса получения золькетала из глицерина и ацетона в присутствии цеолитов различной структуры. Основное внимание было уделено изучению влияния структуры и количества кислотных центров на скорость реакции и селективность по золькеталю. Проведено сравнение каталитических свойств цеолитов в реакторе периодического действия (РПД) и микроканальном реакторе (МК).

Каталитические свойства цеолитов, таких как фожазит (цеолитная топология FAU) с цеолитными модулями ( $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 14.9 и 97 (Tosoh Corporation),  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 29.2$  (Tosoh Corporation), и  $\beta$ -цеолит (цеолитная топология BEA) с цеолитными модулями ( $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 25, 38 и 46.5, ZSM-5 (цеолитная топология MFI,  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 30.2$ ), ZSM-12 (цеолитная топология MTW,  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 112$ ), были изучены в реакции глицерина с ацетоном при мольном соотношении ацетон/глицерин 1.5 (МК реактор) и 2 (РПД) при 50 °С. Для снижения массообменных ограничений из-за плохого смешивания глицерина с ацетоном реакцию проводили с добавлением метанола (1 мл метанола на 1 г глицерина). Согласно данным ГХ анализа основными продуктами реакции были золькеталь (C<sub>5</sub>) и его шестичленный изомер (C<sub>6</sub>). Полученные данные указывают на то, что конверсия глицерина зависит от типа цеолита. Как видно из данных, показанных на рисунке 2 она снижается в ряду: BETA-38/BETA-25/BETA-46.2 > ZSM-12 > FAU-14.9/FAU-97 >> ZSM-5. Этот ряд хорошо коррелирует с количеством кислых центров на поверхности цеолитов. С увеличением их количества скорость реакции растет (рисунок 2). Размер канала цеолита оказывает влияние на

селективность реакции по золькеталю. С увеличением размера канала селективность по золькеталю возрастает. Можно предположить, что это связано с увеличением доступности активных центров для реагентов.

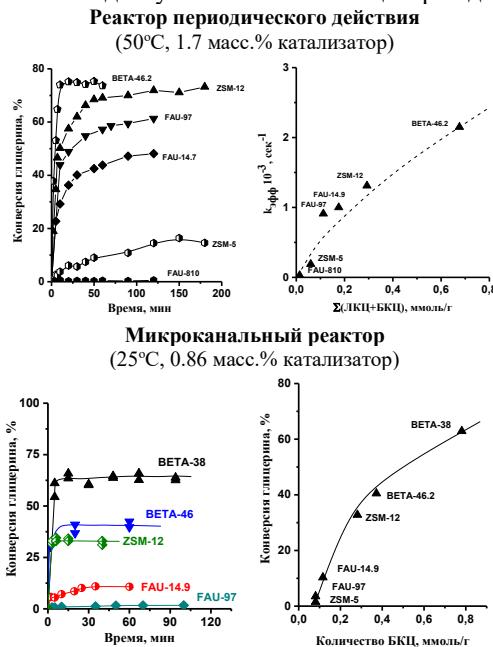


Рис. 2 – Кинетики конверсии глицерина в присутствии цеолитов разной структуры и корреляции между количеством Бренстедовских кислотных центров и конверсией глицерина в РПД и МК реакторе

Стоит отметить, что в МК реакторе реакция эффективно протекает при низком количестве катализатора (0.86 масс.%) и низкой температуре ( $25^{\circ}\text{C}$ ) по сравнению с РПД. Так же, как и в РПД конверсия глицерина в начале реакции возрастает, однако через 5-7 мин она выходит на плато. Это свидетельствует о том, что за это время в микроканальном реакторе устанавливается стационарный режим.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российской Научного Фонда (грант №25-23-00500)*

#### Литература:

1. Zhang G., Zhang L., Wang X., Chen A., Zhang Q. // React. Chem. Eng. 2020. V. 5. P. 539-546. DOI:10.1039/c9re00450e.

## РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

И. А. Маркова

Новосибирский государственный университет

экономики и управления «НИНХ»,

г. Новосибирск, markova.neet.03@gmail.com

Научный руководитель: Лосева Е. Н., к.т.н.

Лесные пожары в России представляют собой серьезную угрозу национальной безопасности, нанося ущерб экономике и ухудшая экологическую ситуацию как внутри страны, так и на глобальном уровне. Эффективное снижение их последствий во многом зависит от профилактических мер и оперативного обнаружения с использованием передовых систем мониторинга. В данной статье приведен анализ причин возникновения лесных пожаров, варианты ликвидации последствий (лесовосстановление) и предотвращения подобных ситуаций.

*Forest fires in Russia pose a serious threat to national security, causing damage to the economy and worsening the environmental situation both domestically and globally. The effective reduction of their consequences largely depends on preventive measures and prompt detection using advanced monitoring systems. This article provides an analysis of the causes of forest fires, options for eliminating their consequences (reforestation), and preventing such situations.*

Пожар – это неконтролируемый процесс горения, способный причинить ущерб жизни и здоровью людей, а также материальным ценностям. Возгорания возникают, когда одновременно присутствуют определённые физико-химические и технические условия, обеспечивающие запуск и поддержание цепной реакции горения. Основные факторы, порождающие пожары на территории лесов можно условно разделить на две группы: антропогенного и природного происхождения (рисунок 1).



Рис. 1 – Факторы возникновения лесных пожаров

В Российской Федерации более 60% территории занята землями лесного фонда, которые составляют богатство и основу экономики страны [1]. На 1 января 2025 года их площадь составила 1 137 236,6 тыс. га (Рис. 2).

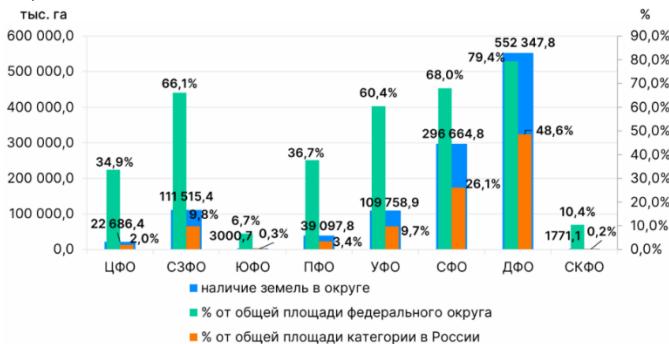


Рис. 2 – Земли лесного фонда в федеральных округах  
(без учета площади Донецкой Народной Республики, Луганской Народной Республики, Запорожской и Херсонской областей) [1]

В целях восстановления утраченных ресурсов государством разработан ряд мер по воспроизведению лесов.

Лесовосстановление – это процесс выращивания молодого и здорового леса на землях лесного фонда, где деревья не росли, погибли, были вырублены или сгорели. Существует несколько способов

лесовосстановления: естественное, искусственное и комбинированное. Эти способы закреплены в статье 62 Лесного кодекса Российской Федерации [2]:

**1. естественное лесовосстановление** – это вид лесовосстановления происходит благодаря природным процессам и мерам, направленным на поддержку самовосстановления леса. Места, где планируется естественное лесовосстановление, указываются в официальных документах лесничеств и проектах освоения лесов. К таким мерам относятся:

- сохранение уже имеющихся молодых деревьев и всходов основных лесных пород при проведении рубок;
- уход за молодыми деревьями основных лесных пород;
- подготовка почвы путем ее разрыхления или обработки.

**2. искусственное лесовосстановление** – этот процесс осуществляется человеком и включает в себя целенаправленное выращивание лесных насаждений. Применяется, когда естественное восстановление леса невозможно или когда комбинированный подход нецелесообразен для достижения желаемого состава лесных пород. Основные методы:

- посев семян лесных деревьев;
- посадка молодых деревьев (сейнцев и саженцев), в том числе выращенных в специальных контейнерах;
- уход за посадками, включающий рыхление почвы и борьбу с сорняками.

**3. комбинированное лесовосстановление** – метод объединяет в себе как естественные процессы, так и действия человека. При этом количество высаживаемых или высеваемых деревьев основной породы определяется исходя из того, сколько уже имеется жизнеспособных молодых деревьев и всходов. Комбинированное лесовосстановление может использоваться, например, в защитных лесах для улучшения их санитарно-гигиенических функций. Примером может служить:

- посадка или посев на участках, где естественное восстановление леса основными породами не происходит должным образом.

Лесные пожары являются одним из самых губительных природных бедствий, наносящие колоссальный ущерб экосистемам и здоровью людей. Ежегодно возгорания уничтожают леса, степи, торфяники и другие природные зоны, что ведет к вымиранию видов, деградации почв, загрязнению водоемов и изменению климата. Кроме того, пожары причиняют значительный материальный ущерб и негативно сказываются на здоровье человека. При горении выделяются токсичные вещества (диоксид углерода, оксиды азота, формальдегид и др.), которые могут

вызывать респираторные и сердечно-сосудистые заболевания, а также увеличивать риск развития рака и психологических проблем [3].

Необходимо применять меры по предотвращению и профилактике пожаров. Для этого можно воспользоваться законодательными методами на основе Лесного кодекса РФ ст. 53.1 «Предупреждение лесных пожаров» и Постановление Правительства РФ от 07.10.2020 №1614 «Об утверждении Правил пожарной безопасности в лесах» [1, 4]. Технические методы предотвращения пожаров предполагают создание противопожарных разрывов, регулярное патрулирование лесов, использования системы раннего предупреждения, спутникового наблюдения, а так же мониторинга с помощью беспилотных летательных аппаратов. Кроме того, можно использовать пропаганду охраны окружающей среды по средствам информирования населения о правилах поведения в лесу, создание видеороликов и информационных плакатов. Берегите природу!

#### Литература:

1. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации // Официальный сайт Росреестра [Электронный ресурс]. – URL: [rosreestr.gov.ru/upload/Doc/16-upr/Doc\\_Nation\\_report\\_2023\(1\).pdf](http://rosreestr.gov.ru/upload/Doc/16-upr/Doc_Nation_report_2023(1).pdf) (дата обращения: 23.11.2025).
2. Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 № 200-ФЗ [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_64299/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/) (дата обращения: 27.11.2025)
3. Карапузиков А. А. Исследование влияния пожаров на экологическую устойчивость и здоровье человека: последствия, риски и перспективы / А. А. Карапузиков, Н. П. Мураев, Л. А. Стороженко // Качество жизни населения и экология : Сборник статей III Всероссийской научно-практической конференции, Пенза, 21–22 августа 2023 года / Под редакцией Г.В. Ильиной. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2023. – С. 59-62. – EDN VTEZUH.
4. Об утверждении Правил пожарной безопасности в лесах: Постановление Правительства РФ от 07.10.2020 №1614 [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_364560/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_364560/) (дата обращения: 27.11.2025).

## **СОКРАЩЕНИЕ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА НА ГОРНОПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИТИИ**

**Н. А. Меркурева**

**Новосибирский государственный технический университет,**

**г. Новосибирск, merkurevava.2020@stud.nstu.ru**

**Научный руководитель: Удальцов Е. А., к.в.н., доцент**

*В работе рассматривается сокращение углеродного следа, который становится одной из ключевых экологических задач современности. Актуальность исследования обусловлена тем, что средняя абсолютная газообильность объекта наблюдения составляет: 343,06 м<sup>3</sup>/мин по метану и 4,16 м<sup>3</sup>/мин по диоксиду углерода. Согласно внутреннему приказу предприятия № 11 от 14.01.2022 «Об установлении категорий шахт по метану и диоксиду углерода на 2022 год», горнопромышленное предприятие отнесено к сверхкатегорному по метану: относительная газообильность – 53, 41 м<sup>3</sup>/т и к первой категории по диоксиду углерода: относительная газообильность – 0,46 м<sup>3</sup>/т.*

*The paper investigates the reduction of carbon footprint, which has emerged as one of the pivotal contemporary environmental challenges. The urgency of research is underscored by specific data indicating an average absolute gas output level of 343.06 m<sup>3</sup>/min for methane and 4.16 m<sup>3</sup>/min for carbon dioxide. According to Internal Order No. 11 issued by the company on January 14, 2022 ("On Establishing Categories of Shafts Based on Methane and Carbon Dioxide Levels"), the mine is categorized as ultra-high risk for methane (relative gas abundance: 53.41 m<sup>3</sup>/t) and first-level risk for carbon dioxide (relative gas abundance: 0.46 m<sup>3</sup>/t).*

Исследование негативного воздействия горнодобывающих предприятий на экосистемы позволяет разработать меры по сокращению выбросов парниковых газов предприятиями добывающего сектора, обеспечивая соблюдение экостандартов. До вступления федерального закона № 296 «Об ограничении выбросов парниковых газов» в силу в 2023 году российские горнодобывающие предприятия нечасто публиковали полную информацию о выбросах парниковых газов [2].

Парниковыми газами называют группу веществ, включающую метан ( $\text{CH}_4$ ), закись азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ) и продукты сгорания топлива. Объемы выбросов парниковых газов измеряются в эквиваленте  $\text{CO}_2$ , применяемом для количественной оценки их величины.



Рис. 1 – Коэффициент интенсивности выбросов парниковых газов на шахте «Кузбасская»

Оценка углеродного следа в горной промышленности включает прямые (Scope 1) и косвенные (Scope 2) выбросы на всех этапах производства, обеспечивая комплексный анализ влияния отрасли на экологию. Основной компонент парниковых газов составляет метан, доля которого достигает около 90%, тогда как второй по важности источник — это газы, образующиеся при сгорании топлива (около 7%).

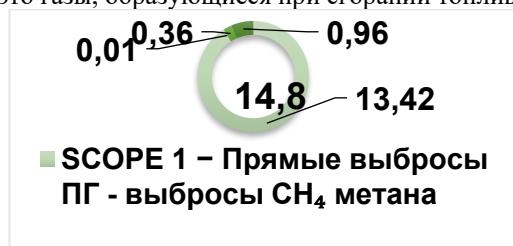


Рис. 2 – Структура выбросов CO<sub>2</sub> – экв., млн тонн на шахте «Кузбасская»

Прямые выбросы (Scope1) составляют 14,4 млн тонн CO<sub>2</sub> – экв.: 13,42 млн тонн от шахт (вентиляция, дегазация, газоуправление и др.); 1,96 млн тонн от сгорания топлива. Косвенные выбросы (Scope2) – 0,4 млн тонн CO<sub>2</sub> – экв., обусловлены приобретенной электроэнергией. Общий объем выбросов (Scope1 + Scope2) равен 14,8 млн тонн CO<sub>2</sub> – экв.

Шахта «Кузбасская» планирует сократить выбросы парниковых газов на 20% к 2030 году путем утилизации метана, энергосберегающих инициатив и выработки энергии из метана, повышая конкурентоспособность и экологичность предприятия.

Анализ выполнен по критериям TCFD и международным отраслевым рекомендациям, моделируя сценарии роста средней температуры Земли на 1,5°C и >4°C к 2100 году с учетом региональной специфики размещения активов.

Климатические изменения создают серьезные вызовы для горнодобывающей промышленности, включая ухудшение качества сырья и увеличение затрат на инфраструктуру и энергообеспечение.

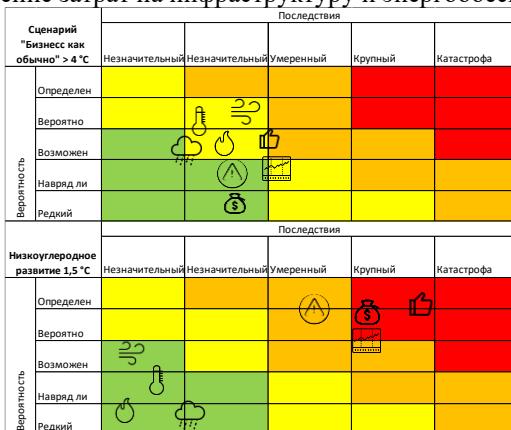


Рис. 3 – Климатические риски – тепловые карты для основных сценариев шахты «Кузбасская»

Обозначенные факторы диктуют необходимость регулярного мониторинга состояния окружающей среды и активного внедрения адаптационных мер, обеспечивающих надёжность и стабильность производственных процессов в условиях меняющегося климата.

Для устойчивого развития предприятия крайне важно внедрять технологии, снижающие интенсивность эмиссий парниковых газов.

Таким образом, сокращая объемы вредных выбросов, предприятие сможет повысить свою конкурентоспособность на международном рынке, снизить риски санкций и экономических ограничений, вызванных несоответствием экологическим стандартам.

#### Литература:

1. Федеральный закон "Об ограничении выбросов парниковых газов" от 02.07.2021 № 296-ФЗ // Официальный интернет портал правовой информации. – 2023. – с изм. и допол. в ред. от 10.07.2023.
2. Анализ углеродного следа, создаваемого горными предприятиями / В. И. Силаев, Р. В. Клюев, Д. В. Еремеев, Т. А. Мартынова, Ю. В. Данильченко // ГИАБ. – 2023. – №11–1. – с. 265–277.

# ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ

Н. Д. Осипова, Д. А. Немущенко

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, [natasha.osipov2018@yandex.ru](mailto:natasha.osipov2018@yandex.ru)

Научный руководитель: Немущенко Д.А., ст. преп.

Проведен анализ современного состояния в области получения строительных материалов на основе вторичного полимерного сырья и технологий введения наполнителей в полимерную матрицу. На основе патентного поиска сформулированы задачи экспериментального исследования по разработке технологий получения строительных композитов из фракции коммунальных отходов, образующихся при внедрении раздельного сбора мусора в Новосибирской области. Полученные образцы композитов удовлетворяют некоторым требованиям ГОСТ и являются перспективными для дальнейшей оптимизации рецептур и технологических операций.

*An analysis of the current state of the art in the production of building materials based on recycled polymer raw materials and technologies for introducing fillers into the polymer matrix was conducted. Based on a patent search, the objectives of an experimental study were formulated to develop technologies for producing building composites from municipal waste generated during the implementation of separate waste collection in the Novosibirsk Region. The resulting composite samples meet certain GOST requirements and are promising for further optimization of formulations and process steps.*

Коммунальные отходы, содержащие в своем составе значительное количество изделий из полимеров, стали глобальной проблемой, актуальной в современном мире. Отсутствие эффективных методов утилизации и рост потребления пластика приводят к накоплению отходов, которые не только загрязняют окружающую среду, но и приносят вред здоровью людей. Представляют опасность для окружающей среды именно синтетические полимеры, к таким относят: полиэтилен, полипропилен, формальдегидные смолы. Синтетические полимеры отличаются длительным разложением, порождают проблему «микропластика», образуют высокотоксичные соединения при возгорании в условиях свалок. Расширение сырьевой базы строительной отрасли может происходить за счет использования вторичных ресурсов, таких как продукты переработки изделий из полимеров.

Целью работы является отработка технологии получения высоконаполненных композитов в лабораторных условиях и исследование влияния различных наполнителей на физико-механические свойства образцов.

Для разработки рецептур композитов был проведен литературный обзор и патентный поиск. В качестве полимерного связующего был выбран полиэтилен (ПЭ) ввиду значительного его содержания в твердые коммунальные отходы. В качестве наполнителей полимерной матрицы определили песок, древесные опилки и стеклобой различных фракций. Выбранные материалы имеют низкую относительную стоимость и доступны. В рецептурах варьировали соотношение связующего и наполнителя и дисперсность наполнителя.

Образцы изготавливались по технологии горячего прессования. В соответствии с методиками ГОСТ для материалов строительного назначения у полученных образцов были определены следующие свойства: плотность, прочность при трехточечном изгибе, водопоглощение и теплопроводность.

По результатам проведенных испытаний можно сделать вывод о том, что по плотности, водопоглощению и прочности при изгибе (рис. 1) образцы удовлетворяют требованиям ГОСТа 4598-2018 «Плиты древесно-волокнистые мокрого способа производства» и могут применяться в качестве строительных облицовочных материалов, при производстве мебели и элементов интерьера. Результаты исследования теплопроводности (см. рис. 2) позволяют рекомендовать материалы как перспективные для облицовки фасадов зданий.

В дальнейшем планируется модифицирование образцов путем введения ультрадисперсных наполнителей, улучшение структуры полимера воздействием полей высокой интенсивности. В результате можно получить композиты с развитой молекулярной структурой, не уступающей по свойствам материалам из первичных полимеров. Композитные материалы на основе вторичного сырья, наполненные ультрадисперсными частицами, будут обладать дополнительными эксплуатационными свойствами, такими как стойкость к воздействию ультрафиолета, экранирование от вредных электромагнитных излучений, антибактериальная активность и т. п. в зависимости от применяемых модификаторов.

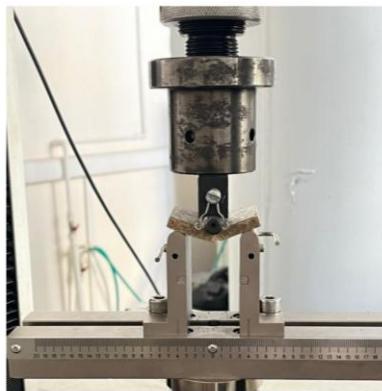


Рис. 1 - Испытание образцов на прочность при изгибе

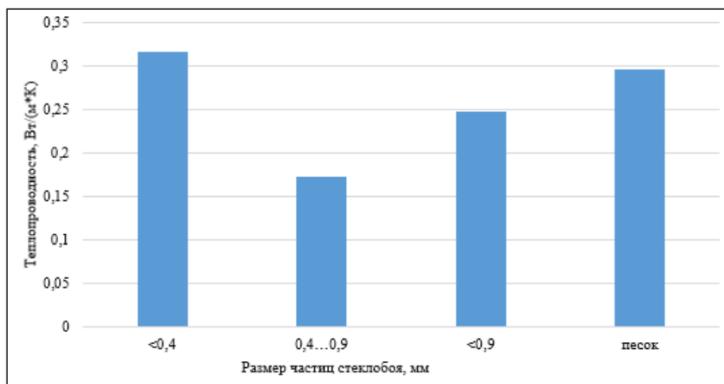


Рис. 2 - Зависимость теплопроводности образцов от вида наполнителя

#### Литература:

1. Патент № RU 2623754C1. Смесь для получения композиционных строительных материалов. Заявка № 2016111826, заявл. 29.03. 2016, опубл. 29.06.2017 / Иващенко Ю.Г., Фомина Н.Н., Полянский М.М.
2. Патент № RU 2005752C1. Полимерная композиция и профильно-погонажная деталь из нее. Заявка № 5048002/05, заявл. 15.07. 1992, опубл. 15.01.1994 / Цыбулькин В.Л., Бенин Г.М., Павленко Е.А., Клещук Л.А.

# ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МЕМБРАНЫ ДЛЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ НА ОСНОВЕ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ МИСКАНТУСА

**А. А. Перебейнос, К. С. Черепанова, И. А. Черенков Т. Б. Медведева,  
Н. В. Громов, В. Н. Пармон**

**Новосибирский государственный технический университет  
г. Новосибирск, n.v.gromov@corp.nstu.ru**

*В работе методом инверсии фаз были получены сепарационные мембранны на основе целлюлозы мискантуса, выделенной различными способами. Показано, что мембрана, изготовленная из целлюлозы, выделенной азотнокислым способом, характеризуется пористостью 42% и поглощением электролита 129% ( $1\text{M Na}_2\text{SO}_4$ ), что соответствует требованиям, предъявляемым сепараторам.*

*In this study, separation membranes based on miscanthus cellulose extracted by various methods were produced using phase inversion. It was shown that the membrane made from cellulose extracted by the method with nitric acid exhibits porosity 42% and electrolyte uptake 129% ( $1\text{ M Na}_2\text{SO}_4$ ), which meets the requirements for separators.*

Постоянное увеличение спроса на энергию, а также на устройства с автономными источниками питания вызывают быстрый рост производства устройств хранения энергии. Среди таких устройств можно выделить суперконденсаторы (СК). По данным аналитиков к 2027 году объём мирового рынка суперконденсаторов достигнет 5,7 млрд \$ [1]. СК характеризуются возможностью быстро высвобождать заряд при высокой удельной мощности, длительным сроком службы, а также в отличии от литий-ионных аккумуляторов являются более экологичными [2].

СК состоят из четырех ключевых элементов: анода, катода, электролита и сепаратора, который обеспечивает транспорт ионов и предотвращает прямой контакт электродов. Сепаратор должен быть термически и химически стабильным в используемом электролите, прочным, пористым и тонким. Традиционно сепараторы изготавливаются из синтетических полимеров, таких как полиэтилен и полипропилен, благодаря их химической стойкости и низкой стоимости. Такие сепараторы используются в устройствах с органическими электролитами. Для СК на основе водных электролитов сепараторные мембранны изготавливают из гидрофильной целлюлозы [3]. Целлюлозные мембранны соответствуют требованиям для сепараторов, используемых в СК, а также являются экологичной альтернативой сепараторам из синтетическим полимеров, поскольку их утилизация практически не оставляет углеродного следа (при термической деструкции сепаратора из

целлюлозы выброс CO<sub>2</sub> в 2 раза ниже, чем при сжигании сепаратора из полиолефинов, кроме того, во время роста растениями затрачивается столько же CO<sub>2</sub>), а целлюлозу возможно выделять из недревесной биомассы, которая является возобновляемым и недорогостоящим сырьем [4].

Перспективным для нашей страны целлюлозосодержащей культурой является многолетнее травянистое растение рода Мискантус, такое как сорт Мискантус Сорановский. Данное растение обладает высоким приростом биомассы (10-15 т/га/год), неприхотливо к почвам, отличается способностью к фиторемедиации, морозоустойчиво. Кроме того, мискантус также характеризуется высоким содержанием целлюлозы до 51 % [5].

Целью данной работы являлось исследование возможности получения сепараторов из целлюлозы мискантуса для потенциального применения в устройствах хранения энергии.

Целлюлоза была выделена из мискантуса с использованием 3 методов:

1) азотнокислой обработки по методике, разработанной в ИПХЭТ СО РАН [6], включающую в себя последовательную обработку мискантуса (Ми) растворами HNO<sub>3</sub> и NaOH; 2) окислительной делигнификации, в среде «CH<sub>3</sub>COOH – H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> – H<sub>2</sub>O» в присутствии нового для процесса катализатора ZrO<sub>2</sub> [7]; 3) восстановительного фракционирования, в среде «C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH – H<sub>2</sub>O» в присутствии катализатора NiMoCu. Полученные образцы целлюлозы были названы ДМи-А, ДМи-У и ДМи-Ф соответственно.

При изготовлении сепараторов на первом этапе проводили активацию целлюлозы Ми в диметилацетамиде (ДМАц). Далее активированную целлюлозу добавляли к раствору LiCl/ДМАц и выдерживали при перемешивании и нагревании. Полученный вязкий раствор выливали в стеклянные чашки Петри ( $d = 10$  см,  $S = 78,5$  см<sup>2</sup>) и оставляли на ровной поверхности на 24 ч. Полученные гели погружали в воду для формирования пленок и удаления остатков растворителя и сушили на воздухе. Полученные образцы пленок были обозначены как ДМи-А-сеп, ДМи-У-сеп и ДМи-Ф-сеп, соответственно.

Поглощение электролита определяли гравиметрическим методом по разнице масс сухого и выдержанного в течении 2 ч в 1 M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> образца сепаратора. Пористость определяли гравиметрическим методом с помощью *n*-бутанола по стандартной методике [4].

Поглощение 1 M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> возрастало в ряду ДМи-У-сеп <ДМи-Ф-сеп <ДМи-А-сеп и было равно 91% <112% <129% соответственно.

Пористость образцов возрастала в таком же ряду ДМи-У-сеп <ДМи-Ф-сеп <ДМи-А-сеп и составляла 0% <13% <42%.

Таким образом, целлюлоза мискантуса, выделенная с помощью азотнокислой обработки является перспективным сырьем для изготовления сепараторов для устройств хранения энергии.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 24-13-00406).*

Литература:

1. Аналитический отчет рынка [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.bccresearch.com/market-research/fuel-cell-and-battery-technologies/lithium-ion-battery-market.htm> (дата обращения: 20.11.2025).
2. Şahin M. E., Blaabjerg F. Sangwongwanich A. A Comprehensive Review on Supercapacitor Applications and Developments // Energies. - 2022. - V. 15. - N. 3. - P. 674.
3. Chen P., Lin X., Yang B., Gao Y., Xiao Y., Li L., Zhang H., Li L., Zheng Z., Wang J. Chou S. Cellulose Separators for Rechargeable Batteries with High Safety: Advantages, Strategies, and Perspectives // Advanced Functional Materials. - 2024. - P. 2409368.
4. 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.
5. 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.
6. Gismatulina Y. A., Budaeva V. V. Chemical composition of five Miscanthus sinensis harvests and nitric-acid cellulose therefrom // Industrial Crops and Products. – 2017. – V. 109. – P. 227-232.
7. Дворецкая Д. Д. Исследование методов выделения целлюлозы из недревесного сырья для решения проблем экологии / Д. Д. Дворецкая, К. С. Черепанова, Н. В. Громов // Наука Промышленность Оборона : Труды XXVI Всероссийской научно-технической конференции, посвященная к 80-летию Победы в Великой Отечественной войне и 75-летию НГТУ. В 4-х томах, Новосибирск, 23–25 апреля 2025 года. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2025. – С. 166-172.

# ТЕХНОЛОГИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В ЛОГИСТИКЕ

Н. Ю. Полещук

Новосибирский государственный университет

экономики и управления «НИНХ»,

г. Новосибирск, NikitaPretend@yandex.ru

Научный руководитель: Першина Е. Г., к.т.н., доцент

В контексте глобального перехода к «зеленой повестке дня» и увеличения климатических рисков логистика становится одним из ключевых секторов, требующих трансформации в направлении устойчивого развития. В данной статье рассматриваются современные технологии, способствующие снижению углеродного следа и повышению энергоэффективности в логистических цепочках, в том числе цифровизация, зеленые транспортные коридоры, альтернативные источники энергии и экологически ориентированное управление запасами [1–5].

*In the context of the global transition to a “green agenda” and increasing climate risks, logistics is becoming one of the key sectors requiring transformation towards sustainable development. This article discusses modern technologies that contribute to reducing the carbon footprint and increasing energy efficiency in logistics chains, including digitalization, green transport corridors, alternative energy sources, and environmentally oriented inventory management [1–5].*

Современные вызовы, связанные с изменением климата, ограниченностью ресурсов и растущими требованиями по соблюдению принципов ESG, требуют внедрения технологий устойчивого развития в логистику. На транспорт и логистику приходится значительная доля выбросов парниковых газов, более 80 % мировой торговли осуществляется морским транспортом, выбросы которого за последнее десятилетие выросли на 20 % [1].

Таблица 1 – Выбросы CO<sub>2</sub> по видам транспорта

Вид транспорта	Выбросы CO <sub>2</sub> (Гт)
Дорожный транспорт(автомобильный):	
- пассажирский	3,62
- грузовой	2,37
Железнодорожный транспорт	0,08
Авиация	0,93
Водный транспорт	0,86

Одной из ключевых областей является цифровизация логистических процессов. Современные информационные системы, такие как WMS, IoT

и платформы аналитики больших данных, позволяют оптимизировать маршруты, сократить количество порожних рейсов и минимизировать потребление энергии. Исследования Лю и Сунь (2025) показывают, что высокие рейтинги ESG стимулируют цифровую трансформацию, которая, в свою очередь, способствует развитию «зеленых» инноваций в отрасли [2].

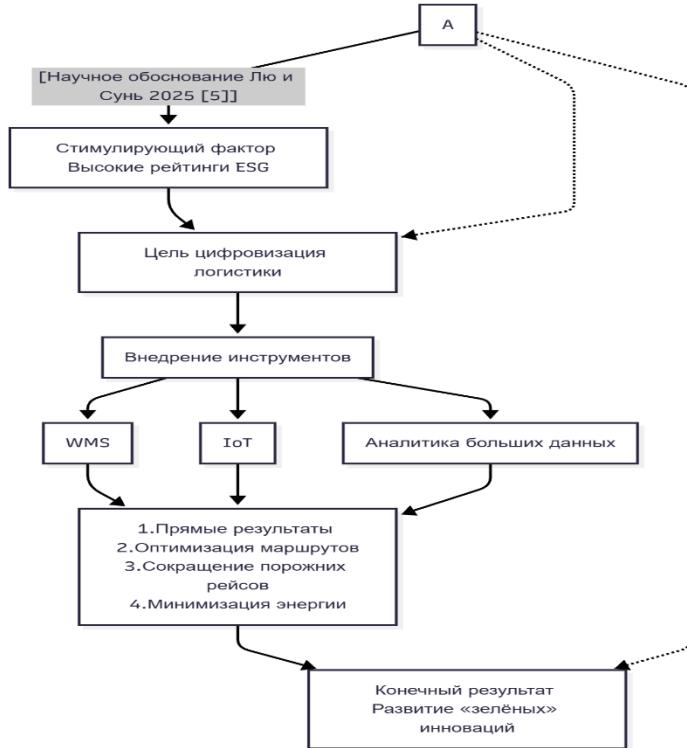


Рис.1 – Причинно-следственные связи и процесс от цели к результату

Важную роль играют «зеленые» транспортные коридоры — логистические маршруты, функционирующие по принципам экологической устойчивости. Как подчеркивают Мешков и Вострикова (2023), такие коридоры способствуют интеграции альтернативных видов топлива (водород, биотопливо, электроэнергия), стандартизации экологических требований и совместной работе всех участников цепочки поставок [3]. Проект «Зеленые коридоры Глобального Юга» (2024) направлен на оказание помощи странам в реализации климатически нейтрального морского транспорта [1].

Рациональное использование природных ресурсов в логистике также достигается за счет оптимизации упаковки и управления складскими запасами. Внедрение экологически чистых упаковочных решений и «умных» складов позволяет сократить объемы отходов и затраты на энергию [4]. Применение принципов циркулярной экономики — повторное использование тары, переработка вторичного сырья — соответствует концепции замкнутой экономики [4].



Рис.2 – Экономика замкнутого цикла основана на двух типах материальных потоков: биологическом и техническом

Декарбонизация логистики невозможна без активного участия государства и частного сектора. ЮНКТАД (2023) подчеркивает роль «умных» портов как ключевых узлов энергетического перехода, обеспечивающих производство и распределение возобновляемой энергии [1]. Порты также реализуют меры по повышению энергоэффективности, оптимизации логистики и сотрудничеству с заинтересованными сторонами [1].

Зеленые облигации, которые направляют инвестиции в транспорт, энергетику и строительство, являются важным финансовым инструментом. Кроме того, государственные механизмы, такие как экологические требования в сфере муниципальных закупок и налоговые льготы за применение экологических стандартов, стимулируют устойчивое развитие логистики [5].

Таким образом, устойчивое развитие логистики требует системного подхода, сочетающего технологические, организационные и нормативные меры. Внедрение этих технологий не только снижает воздействие на окружающую среду, но и повышает экономическую

эффективность и конкурентоспособность логистических операторов в новой «зеленой» экономике [2-3].

#### Заключение тезисов:

Устойчивая логистика становится ключевым направлением трансформации глобальной транспортной системы в контексте климатических рисков, ограниченности ресурсов и растущих требований ESG. Представленные данные и исследования показывают, что сочетание цифровизации, внедрения экологически чистых технологий и применения принципов циркулярной экономики формирует новую модель логистики, ориентированную на сокращение выбросов и рациональное использование ресурсов. Зеленые коридоры, умные порты и альтернативные виды топлива демонстрируют потенциал отрасли в области глубокой декарбонизации при поддержке государства и инвесторов. Интеграция этих решений укрепляет устойчивость цепочек поставок, повышает эффективность и создает долгосрочные конкурентные преимущества. Таким образом, дальнейшее развитие логистики связано с системными инновациями, обеспечивающими баланс между экономическими интересами и экологической ответственностью.

#### Литература:

1. UNCTAD. Обзор морского транспорта 2023: на пути к эко логичному и справедливому переходу. – Женева, 2023.
2. Лю Д., Сунь Н., Чжу С. Рейтинги ESG способствуют высококачественному развитию логистических предприятий посредством цифровой трансформации и зеленых инноваций // Scientific Reports. – 2025. – Т. 15.
3. Мешкова А. П., Вострикова Е. О. Декарбонизация транспортных коридоров: вклад в устойчивое развитие // Креативная экономика. – 2023. – Т. 17. – № 5. – С. 1731–1746.
4. Елизарова Ю. С., Разумовская Я. С. Применение эко технологий в управлении цепочкой поставок // Молодой ученый. – 2016. – № 29(133). – С. 491–493.
5. Фонд «Институт экономики города». «Зеленая повестка» устойчивого развития городов. – Москва, 2022.

# **ФОТОЭЛЕКТРОКАТАЛИТИЧЕСКОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ СО<sub>2</sub> НА САМООРГАНИЗУЮЩЕМСЯ КАТАЛИЗАТОРЕ AU/CU<sub>2</sub>O/CU/TIO<sub>2</sub> С ГЕТЕРОПЕРЕХОДОМ ТИПА Z-СХЕМА**

**Д. А. Польских, М. Н. Люлюкин, Д. С. Селищев**

**Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН,**

**г. Новосибирск, pol.d.a@catalysis.ru**

**Научные руководители: Люлюкин М. Н., к.х.н., с.н.с.,**

**Селищев Д. С., к.х.н., в.н.с.**

*Разработан самоорганизующийся катализатор Au/Cu<sub>2</sub>O/Cu/TiO<sub>2</sub> с Z-схемой переноса заряда для фотоэлектрокаталитического восстановления CO<sub>2</sub>. Катализатор оптимального состава обеспечивает селективность 90% по метанолу и фараадеевскую эффективность 19,6%. Катализатор демонстрирует пятикратное рост активности по сравнению с Au/TiO<sub>2</sub>.*

*A self-organizing Au/Cu<sub>2</sub>O/Cu/TiO<sub>2</sub> catalyst with a Z-scheme charge transfer was developed for photoelectrocatalytic CO<sub>2</sub> reduction. The catalyst with optimal composition provides 90% methanol selectivity and 19.6% Faradaic efficiency. The catalyst shows a fivefold increase in activity compared to Au/TiO<sub>2</sub>.*

Необходимость снизить выбросы диоксида углерода (CO<sub>2</sub>) представляет собой одну из ключевых проблем современной промышленности. Перспективной стратегией ее решения является конверсия CO<sub>2</sub> в органические соединения, что позволит сократить выбросы CO, а в перспективе создать технологию замкнутого углеродного цикла. Однако использование для этого энергии из невозобновляемых источников нивелирует эффективность процесса, поскольку генерация этой приведет к созданию дополнительных выбросов CO<sub>2</sub>.

Эффективной альтернативой является проведение восстановления CO<sub>2</sub> с применением возобновляемых источников энергии. Одним из таких методов выступает фотоэлектрокаталитическое восстановление, комбинирующее принципы фотокатализа и электрокатализа [1]. Данный подход обеспечивает использование возобновляемой энергии и открывает перспективы для снижения углеродного следа Лимитирующей стадией в данном процессе является перенос первого электрона на молекулу CO<sub>2</sub> с образованием анион-радикала CO<sub>2</sub><sup>-·</sup>, требующий высокого потенциала (-1,9 В [2]). Для его осуществления необходимы катализаторы с высокой энергией зоны проводимости. Оксид меди(I) (Cu<sub>2</sub>O) отвечает этому критерию, обладая потенциалом зоны проводимости около -1,3 В, что позволяет ему генерировать на

поверхности небольшое количество анион-радикалов  $\text{CO}_2^-$ , инициируя каскад последующих реакций.

Основным ограничением  $\text{Cu}_2\text{O}$  является низкая стабильность степени окисления меди, обусловленная неустойчивостью ее промежуточного состояния. Для повышения стабильности и эффективности разделения фотогенерированных зарядов в работе предложено формирование гетероструктуры с полупроводником n-типа. В качестве последнего выбран диоксид титана ( $\text{TiO}_2$ ), который при облучении способен заполнять валентную зону  $\text{Cu}_2\text{O}$  своими фотоэлектронами, тем самым подавляя фотокоррозию и усиливая разделение зарядов. Дополнительное модифицирование поверхности наночастицами золота (Au) создает центры накопления электронов и повышает селективность процесса благодаря высокой электропроводности и каталитической активности золота [3]. Для дальнейшего ускорения миграции носителей заряда между компонентами  $\text{Cu}_2\text{O}$  и  $\text{TiO}_2$  на границу раздела фаз введен слой металлической меди, сохраняющийся в ходе синтеза катализатора.

Синтез композитной структуры  $\text{Au}/\text{Cu}_2\text{O}/\text{Cu}/\text{TiO}_2$  проводили в два этапа. На первом этапе проводили осаждение металлической меди на поверхность  $\text{TiO}_2$  путем восстановления предшественника  $\text{Cu}^{2+}$  избытком гидразина. Второй этап заключался в фотохимическом осаждении золота, в процессе которого происходило частичное окисление поверхностного слоя меди до  $\text{Cu}_2\text{O}$ . Динамика преобразований подтверждается результатами рентгенофазового анализа (РФА) образцов на разных стадиях синтеза (рис.1). Размер областей когерентного рассеяния для частиц Cu и  $\text{Cu}_2\text{O}$  составил 21 и 15 нм соответственно, а их массовое соотношение достигло 1/11. Детектирование золота методом РФА оказалось невозможным из-за низкой массовой доли и малого размера его частиц.

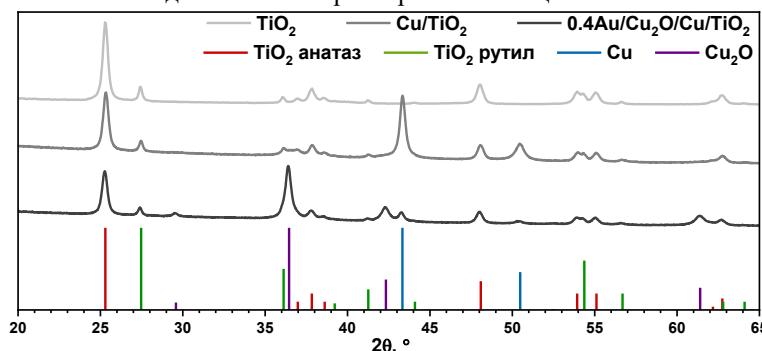


Рис. 1 – РФА образцов  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Cu}/\text{TiO}_2$ ,  $0.4\text{Au}/\text{Cu}_2\text{O}/\text{Cu}/\text{TiO}_2$

Сравнение образцов с различной массовой долей золота по количеству накапленного органического углерода при восстановлении CO<sub>2</sub> выявило оптимум загрузки Au на уровне 0.4% (Рис. 2а). Этот катализатор продемонстрировали пятикратное превосходство в активности по сравнению с немодифицированным медью TiO<sub>2</sub>, при сопоставимом общем количестве пропущенного заряда. Анализ продуктов реакции показал, что основным соединением является метанол (CH<sub>3</sub>OH), селективность образования которого достигает 90% при фарарадеевской эффективности 19.6%. Суммарная доля газообразных продуктов восстановления CO<sub>2</sub> не превышает 3%.

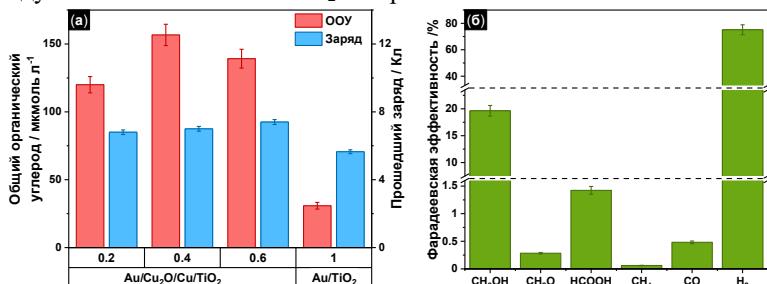


Рис. 2 – (а) Зависимость накапленного органического углерода и величины прошедшего заряда от состава катализаторов.  
(б) Фарарадеевская эффективность образования продуктов восстановления CO<sub>2</sub> на катализаторе 0.4% Au/Cu<sub>2</sub>O/Cu/TiO<sub>2</sub>

Полученные результаты позволяют детально описать механизм формирования Z-схемы переноса заряда в системе Cu<sub>2</sub>O/Cu/TiO<sub>2</sub> в процессе фотоосаждения золота и подчеркивают фундаментальную важность контроля состава и функциональных свойств поверхности фотоэлектрокатализаторов.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-43-00182, <https://rscf.ru/project/24-43-00182/>.*

Литература:

- Maximov A. L. et. al. Carbon dioxide and "methanol" economy: advances in the catalytic synthesis of methanol from CO<sub>2</sub> // Russian Chemical Reviews. 2024. T. 93. №. 1. C.5101-41.
- Kumaravel V. et. al. Photoelectrochemical Conversion of Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>) into Fuels and Value-Added Products // ACS Energy Lett. 2020. T. 5. C.486-519.

3. Polskikh D. A. et. al. Aspects of Photoelectrocatalytic Reduction of CO<sub>2</sub> on Titanium Oxide Catalysts Modified with Ag, Au, and Pt // Kinetics and Catalysis. 2024. T. 65. №. 6. С.663-671.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ НОВОСИБИРСКИХ ТЭЦ

**А. Е. Родионова**

**Новосибирский государственный технический университет,**

**г. Новосибирск, AR.alina42@mail.ru**

**Научный руководитель: Гуськов А. В., д.т.н., доцент**

Энергетика играет ключевую роль в экономическом росте государства, способствуя повышению качества жизни граждан. Однако функционирование угольных теплоэлектростанций сопровождается образованием значительных объемов золошлаковых отходов (ЗШО). Ежегодное накопление миллионов тонн этих отходов вблизи ТЭЦ создает серьезные трудности в области экологии и землепользования.

*Energy plays a key role in the economic growth of the state, contributing to improving the quality of life of citizens. However, the operation of coal-fired thermal power plants is accompanied by the formation of significant volumes of ash and slag waste. The annual accumulation of millions of tons of this waste near the thermal power plant creates serious difficulties in the field of ecology and land use.*

Новосибирск является крупным экономическим, научным и промышленным центром, оказывая влияние на развитие не только своей области, но и всей Сибири [1].

Теплоснабжение Новосибирска преимущественно осуществляется централизованно посредством ТЭЦ и крупных котельных. От городских котельных обеспечивается около 35 % суммарной нагрузки потребителей города, от ТЭЦ, находящихся в ведении АО "СГК - Новосибирск" (ранее – ОАО «СИБЭКО») – 64 %, в том числе от ООО «Генерация Сибири» - 1%.

Основную роль в обеспечении теплом центральной части города играют крупные энергоблоки: ТЭЦ-2, ТЭЦ-3, ТЭЦ-4 и ТЭЦ-5, а также важные водогрейные котельные, такие как Кировская и прочие.

Что касается Советского района, расположенного на правом берегу реки Обь, то там отопление обеспечивают специализированные тепловые станции №1 и №2, находящиеся в управлении ФГУП «УЭВ» [2].

В городе Новосибирске основными источниками тепловой энергии являются угольные и газовые топливные ресурсы. По состоянию на 2024 год, структура топливного баланса выглядит следующим образом:

примерно 86,6% общего объема потребляемого топлива составляет уголь, доля природного газа достигает 13,3%, а использование мазута минимально и составляет всего лишь 0,1%.

Таким образом, основным видом топлива, используемым для производства тепла в Новосибирске, является именно уголь, играющий ключевую роль в работе местных теплоэнергетических предприятий. [2].

Золошлаковые отходы, образующиеся в результате сжигания твердого топлива (угля), относятся к V классу опасности согласно классификации отходов в Российской Федерации.

**Таблица 1. Сведения об образовании на территории Новосибирской области в 2023 году отходов при сжигании твердого топлива ТЭС по данным Росприроднадзора**

№ п/п	Станция	Образование отходов за 2023 год, тыс. тонн
1	Новосибирская ТЭЦ-2	136
2	Новосибирская ТЭЦ-3	91
3	Новосибирская ТЭЦ-4	117
4	Новосибирская ТЭЦ-5	165
ВСЕГО:		509

Отходы от Новосибирских ТЭЦ входят в блок 6 «Отходы обеспечения электроэнергией, газом и паром» Федерального классификационного каталога отходов, утвержденного приказом Росприроднадзора от 22.05.2017 № 242 (далее – ФККО). Код типа отходов – 6 10 000 00 00 0 [3].

Однако несмотря на низкий уровень опасности, обращение с золошлаковыми отходами требует соблюдения определенных экологических норм и правил утилизации, поскольку даже незначительное воздействие больших объемов такого материала способно оказать влияние на экосистемы.

Строительство новых или модернизация уже существующих золоотвалов потребует большие затраты, что в конечном итоге скажется на уровне тарифов на тепловую и электрическую энергию.

Отходы Новосибирских ТЭЦ представлены в таблице 1.

Отходы, образовавшиеся в процессе хозяйственной деятельности, могут рассматриваться как потенциальные вторичные материальные ресурсы. Однако необходимо соблюдение ряда условий и требований, предусмотренных российским законодательством:

- Наличие документального подтверждения возможности использования отходов в качестве сырья (технический регламент, договоры купли-продажи или поставки).

- Принятое собственником отходов решение об их использовании в собственном производстве или о передаче иным потребителям [4].

Использование ЗШО обладает значительным потенциалом в сфере экологически ориентированного хозяйствования. Одним из перспективных направлений их использования является восстановление загрязненных земель и формирование поверхности рельефа парковых зон.

ООО «Сибирская генерирующая компания» внедрила технологию изготовления грунта техногенного происхождения из отходов станций Новосибирск-ТЭЦ-2, -3 и -5. Этот грунт соответствует стандартам ГОСТ 25100-2020 и предназначен для широкого спектра природных проектов.

Применение золошлаковых материалов возможны по следующим направлениям использования:

- Рекультивацию земель на территориях, пострадавших вследствие добычи полезных ископаемых, требуют специальных мероприятий по восстановлению;

- Использование в качестве изоляционных слоев на свалочных полигонах твёрдых бытовых отходов (ТБО), либо в составе нового слоя покрытия полигонов.

- Применение в строительном секторе для выравнивания поверхности почвы перед возведением зданий и сооружений [5].

Заключение Переработка золошлаков представляет собой важный элемент современной стратегии, направленной на снижение негативного воздействия промышленности на окружающую среду и здоровье человека. На мой взгляд перспективным направлением использования ЗШО в качестве изоляционных слоев на свалочных полигонах, так как в данном случае возможно использование большого количества материала, что существенно уменьшает объем отходов.

#### Литература:

1. Государственные доклады | Министерство природных ресурсов и экологии Новосибирской области: [официальный сайт] [Электронный ресурс]. – URL: <https://mpr.nso.ru/page/3736> (дата обращения: 03.04.2025).

2. Схема теплоснабжения города Новосибирска на период до 2033 года (актуализация на 2026 год) [Электронный ресурс]. – URL: <https://novo-sibirsk.ru/dep/energetics/skhema-teplosnabzheniya-goroda/> (дата обращения: 31.08.2025).

3. Федеральный классификационный каталог отходов (ФККО): утв. Приказом Росприроднадзора от 22.05.2017 № 242. – М.: Росприроднадзор, 2017. – 312 с.

4. ТР 73116035500007-2018 Постоянный технологический регламент по получению продукта «Материал золошлаковый, получаемый в результате деятельности Новосибирской ТЭЦ-5 АО «СИБЭКО». – Новосибирск, 2018. – 64 с.

5. Региональная программа Новосибирской области «Повышение объемов утилизации золошлаковых отходов V класса опасности»: утв. постановлением Правительства Новосибирской области от 26.03.2025 № 124-п. – Новосибирск, 2025. – 14 с.

## **ПРЕВРАЩЕНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМОГО УГЛЕВОДНОГО ПОЛИСАХАРИДА-ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В ХИМИЧЕСКИ ЦЕННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ В ПРИСУТСТВИИ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ ЦИРКОНИЯ И НИОБИЯ**

К. С. Черепанова<sup>1,2</sup>, М. В. Солодкова<sup>1,2</sup>, Т. Б. Медведева<sup>1,2</sup>,  
А. В. Жужгов<sup>1</sup>, Н. В. Громов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт катализа СО РАН, г. Новосибирск,

<sup>2</sup>Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, n.v.gromov@corp.nstu.ru

*Данная работа рассматривает серию каталитических систем на основе циркония и ниобия, приготовленных методом конвективного и СВЧ-нагрева, включая массивные и нанесенные катализаторы. Приготовленные каталитические материалы испытаны в процессе превращения основного компонента растительной биомассы – целлюлозы, являющейся наиболее перспективным источником углеводного сырья. В результате трансформации целлюлозы среди основных продуктов обнаружены молочная и левулиновая кислоты, а также 5-гидроксиметилфурфурол, которые считаются высокоценными многофункциональными соединениями в области химии.*

*This paper considers a series of zirconia and niobium based catalytic systems prepared by convective and microwave heating including bulk and supported catalysts. The prepared catalytic materials were tested in the transformation process of plant biomass main component – cellulose – the most promising source of carbohydrate raw material. As a result of the cellulose transformation, among the main products lactic, levulinic acids and 5-hydroxymethylfurfural have been found, which are considered to be high valuable multifunctional compounds in the chemistry field.*

В результате интенсивного развития экономики в наше время одной из глобальных проблем становится, с одной стороны, истощение запасов ископаемых энергетических ресурсов, а с другой - связанное с их

использованием, непрерывное увеличение выбросов загрязняющих веществ. В связи с этим возрастаёт необходимость поиска новых источников химических веществ и энергии, эксплуатация которых позволит соответствовать принципам устойчивого развития.

Лигноцеллюлозная биомасса, являющаяся возобновляемым ресурсом, представляет из себя перспективное сырье для производства широкого ряда ценных химических веществ с добавленной стоимостью. К числу таких продуктов, которые можно получить из растительного сырья, относятся в том числе так называемые молекулы-платформы (от англ. “Platform molecules”): 5-гидроксиметилфурфурол (5-ГМФ), левулиновая (ЛК) и молочная (МК) кислоты. 5-ГМФ и ЛК, а также их производные используются для производства биотоплива, высокооктановых топливных присадок, полимеров и растворителей. Помимо этого, ЛК применяется в пищевой, сельскохозяйственной и медицинской отраслях. Также, будучи ценным соединением, МК и вещества её трансформации (полимолочная кислота, этиллактат, лактаты натрия, кальция) используется в фармацевтической, пищевой, полимерной и косметической областях промышленности [1].

На сегодняшний день актуальной задачей исследований, направленных на переработку растительного сырья и его компонентов в 5-ГМФ, ЛК и МК представляется разработка эффективных каталитических систем таких превращений. Как известно, гетерогенные катализаторы более перспективны, чем гомогенные из-за высокой коррозионной активности и сложности отделения вторых. Согласно литературным данным, материалы на основе оксидов циркония и ниobia считаются многообещающими катализаторами превращения целлюлозы и растительной биомассы [2, 3]. Системы на основе  $ZrO_x$  и  $Nb_xO_y$  демонстрируют гидротермальную устойчивость и возможность создания необходимого соотношения кислотных центров Льюиса и Бренстеда, что обуславливает их высокую активность и селективность в процессах конверсии целлюлозы. Однако, актуальной задачей является поиск способов приготовления оксидных катализаторов.

Данная работа посвящена исследованиям каталитических систем на основе оксидов циркония и ниobia, приготовленных методом конвективного и СВЧ-нагрева, включая массивные и нанесенные катализаторы, для превращения основного компонента растительной биомассы – целлюлозы в 5-ГМФ, левулиновую и молочную кислоты.

Исследуемые в работе массивные катализаторы на основе оксидов были приготовлены методом терморазложения предшественников: оксалата ниobia (V) (Alfa Aesar) и оксонитрата циркония (IV) (Acros Organics). Нанесенные катализаторы приготовлены путем пропитки по

влагоемкости коммерчески доступного носителя КСКГ (фракция < 0,25 мм) растворами тех же предшественников. Терморазложение осуществлялось двумя способами. Конвективный нагрев проводили в муфельной печи Snol (Россия) при температуре от 220 до 420 °С и времени выдержки 240 мин. Приготовление катализаторов способом СВЧ-нагрева проводили в установке Milestone Руто (Франция) в диапазоне температур от 220 до 320 °С и времени выдержки от 0 до 20 мин при программируемом времени нагрева 30 мин.

Приготовленные катализаторы исследованы рентгенофазового анализа (РФА) и низкотемпературной адсорбции N<sub>2</sub>. По полученным данным удельная площадь носителя КСКГ составила 544 м<sup>2</sup>/г. Среди массивных катализаторов наибольшая удельная площадь поверхности 178 м<sup>2</sup>/г отмечается у образца ZrO<sub>2</sub>-СВЧ-T320-t0, приготовленного СВЧ нагревом при температуре 320 °С без дополнительной выдержки. По данным РФА все массивные катализаторы, приготовленные с помощью СВЧ нагрева, имеют рентгеноаморфную структуру.

Испытания катализитических систем проводились в присутствии модельного субстрата микрокристаллической целлюлозы (ХЧ, Вектон, Россия). Реакции проводили в реакторе высокого давления в атмосфере аргона (10 атм) в водной среде, при температуре 190 °С. Соотношение катализатор / субстрат составляло 1/16. По результатам испытаний массивных катализаторов наибольшие выходы целевых продуктов отмечены в присутствии образца Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-СВЧ-T220-t0. В этом случае выход 5-ГМФ и МК достигли 9 и 12 мол.%, соответственно. Среди серии нанесенных катализаторов наибольшие выходы отмечены в присутствии 20%Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/КСКГ-СВЧ-T220-t-20, приготовленного в тех же условиях.

#### Литература:

1. Deng W., Zhang Q. & Wang Y. Catalytic transformations of cellulose and its derived carbohydrates into 5-hydroxymethylfurfural, levulinic acid, and lactic acid. *Sci. China Chem.* 58, 29–46 (2015). <https://doi.org/10.1007/s11426-014-5283-8>
2. Gromov N. V., Taran O. P., Semeykina V. S. et al. Solid Acidic NbOx/ZrO<sub>2</sub> Catalysts for Transformation of Cellulose to Glucose and 5-Hydroxymethylfurfural in Pure Hot Water. *Catal Lett* 147, 1485–1495 (2017). <https://doi.org/10.1007/s10562-017-2056-y>
3. Antonetti C., Raspolli Galletti A. M., Licursi D., Fulignati, S., Di Fidio N., Zanetti F., Monti A., Tabanelli T., Cavani F. Niobium and Zirconium Phosphates as Green and Water-Tolerant Catalysts for the Acid-Catalyzed Valorization of Bio-Based Chemicals and Real Lignocellulosic Biomasses. *Catalysts* 2022, 12, 1189. <https://doi.org/10.3390/catal12101189>.

**ВЛИЯНИЕ ПРОМОТОРОВ (M = RE, PD, MO)  
НА КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА M-Ce<sub>0.2</sub>Ni<sub>0.8</sub>O<sub>1.2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> В  
ПРОЦЕССЕ КИСЛОРОДНО-УГЛЕКИСЛОТНОЙ КОНВЕРСИИ  
МЕТАНА**

**Д.А. Стрельцова<sup>1,2</sup>, Е.Н. Коваленко<sup>2</sup>, С.Д. Васильев<sup>2</sup>, И.З.  
Исмагилов<sup>2</sup>, О.Б. Сухова<sup>2</sup>, Е.В. Матус<sup>1,2</sup>, С.Р. Хайрулин<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup>Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, dasha.streltsova.05@mail.ru**

**<sup>2</sup>Институт катализа СО РАН, г. Новосибирск,  
Научный руководитель: Матус Е.В., к.х.н.**

*Исследовано влияние введения промоторов Re, Pd или Mo в состав катализатора Ce<sub>0.2</sub>Ni<sub>0.8</sub>O<sub>1.2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> на его активность в процессе кислородно-углекислотной конверсии метана. Установлено, что исследуемые промоторы изменяют температурные пороги начала реакций и ключевые показатели процесса. Наибольшую эффективность продемонстрировал катализатор, промотированный палладием, который обеспечивает при 800°C конверсию CH<sub>4</sub> и CO<sub>2</sub> на уровне 91% и 84% соответственно, с выходами H<sub>2</sub> и CO 87% и 90%.*

*The influence of promoting the Ce<sub>0.2</sub>Ni<sub>0.8</sub>O<sub>1.2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst with metals such as Re, Pd, and Mo on its activity in the process of simultaneous oxygen and carbon dioxide conversion of methane has been investigated. It was established that all promoters alter the temperature thresholds for the onset of reactions and key performance indicators of the process. The catalyst promoted with palladium demonstrated the highest efficiency, achieving CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> conversion rates of 91% and 84%, respectively, at 800°C, with H<sub>2</sub> and CO yields of 87% and 90%.*

Кислородно-углекислотная конверсия метана представляет собой перспективный процесс, позволяющий одновременно получать синтез-газ (смесь CO и H<sub>2</sub>) и утилизировать CO<sub>2</sub>. Катализаторы на основе никеля широко используются в процессах конверсии метана благодаря своей доступности и активности, но они склонны к дезактивации. Это ставит важную задачу разработки высокоактивных и стабильных катализаторных систем. Одним из эффективных подходов к улучшению характеристик катализаторов является их промотирование, позволяющее изменить текстурные характеристики, дисперсность и электронное состояние металлы-содержащих активных центров. Данная работа посвящена синтезу и исследованию каталитической активности промотированных катализаторов состава M-Ce<sub>0.2</sub>Ni<sub>0.8</sub>O<sub>1.2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (M = Re, Pd, Mo) в процессе кислородно-углекислотной конверсии метана.

Синтез промотированных катализаторов осуществляли методом последовательной пропитки по влагоемкости. Содержание Ni составляло 10 мас. %, Ce – 6 мас. %, мольное соотношение Ni/M = 4. Каталитические

испытания проводили в проточном реакторе при атмосферном давлении в температурном диапазоне 150–850°C. В качестве реакционной смеси использовалась газовая смесь с мольным соотношением компонентов CH<sub>4</sub>:CO<sub>2</sub>:O<sub>2</sub>:He=9.39:7.26:1.61:13.9. Концентрации исходных компонентов (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>) и продуктов (CO, H<sub>2</sub>) определяли методом газовой хроматографии. Каталитическую активность оценивали по конверсии исходных компонентов и выходу продуктов реакции.

Установлено, что для исходного Ce<sub>0.2</sub>Ni<sub>0.8</sub>O<sub>1.2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> катализатора характерно начало изменений концентрации исходных компонентов в среднетемпературной области (T = 350°C) с реализацией реакции полного окисления метана. Образование целевых продуктов происходит при 600°C. При 800°C катализатор демонстрирует высокие показатели процесса: конверсия CH<sub>4</sub> – 83%, CO<sub>2</sub> – 77%, выходы H<sub>2</sub> и CO – 80% и 83% соответственно.

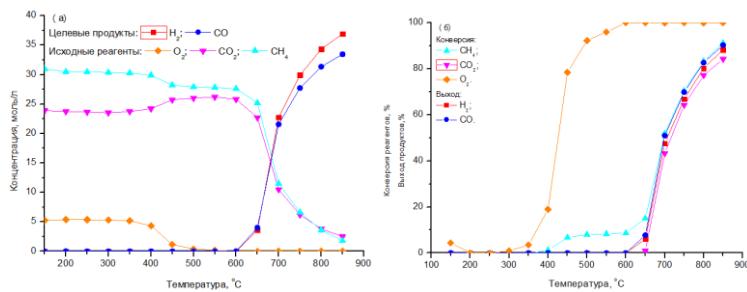


Рис. 1 – Температурные зависимости концентраций компонентов реакционной смеси (а) и показателей (б) для процесса кислородно-углекислотной конверсии метана в присутствии катализатора Ce<sub>0.2</sub>Ni<sub>0.8</sub>O<sub>1.2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Введение промоторов существенно влияет на функциональные свойства катализатора (табл. 1). В отличие от Ce<sub>0.2</sub>Ni<sub>0.8</sub>O<sub>1.2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, для катализатора, модифицированного M = Mo, начало образования синтез-газа происходит при более высокой температуре (700 vs. 600°C) и наблюдается снижение значений выходов целевых продуктов: с 83 до 75% для CO и с 80 до 72% для H<sub>2</sub> (T = 850°C). При введении Pd начало реакции риформинга смешается в среднетемпературную область (350 vs. 600°C) и достигаются наиболее высокие значения всех показателей реакции. Введение M = Re не оказывает существенного влияния на каталитические свойства катализатора.

**Таблица 1. Показатели процесса кислородно-углекислотной конверсии метана в присутствии катализаторов M-Ce<sub>0.2</sub>Ni<sub>0.8</sub>O<sub>1.2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

T °C	X <sub>CH4</sub> , %	X <sub>CO2</sub> , %	X <sub>O2</sub> , %	Y <sub>H2</sub> , %	Y <sub>CO</sub> , %	H <sub>2</sub> /CO
<b>Ce<sub>0.2</sub>Ni<sub>0.8</sub>O<sub>1.2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>						
600	9	-10	100	0	0	0
800	83	77	100	80	83	1,1
<b>PdCe<sub>0.2</sub>Ni<sub>0.8</sub>O<sub>1.2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>						
600	43	31	100	40	42	1,1
800	91	84	100	87	90	1,1
<b>ReCe<sub>0.2</sub>Ni<sub>0.8</sub>O<sub>1.2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>						
600	8	-11	89	0	0	0
800	84	78	100	81	83	1,1
<b>MoCe<sub>0.2</sub>Ni<sub>0.8</sub>O<sub>1.2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>						
600	8	-11	96	0	0	0
800	78	72	100	72	75	1,1

Для всех катализаторов, кроме М = Mo, с ростом температуры (800–850°C) показатели процесса достигают значений термодинамического равновесия. По сравнению с литературными данными [1,2], катализаторы показывают наиболее высокие значения конверсии CO<sub>2</sub> и выхода целевых продуктов.

Проведенные исследования позволили установить, что промотирование катализатора Ce<sub>0.2</sub>Ni<sub>0.8</sub>O<sub>1.2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> является эффективным способом управления его каталитическими свойствами. Оптимальным составом является Pd-Ce<sub>0.2</sub>Ni<sub>0.8</sub>O<sub>1.2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, который активен в низкотемпературной области и обеспечивает высокие показатели реакции при 800°C: конверсия CH<sub>4</sub> – 91%, CO<sub>2</sub> – 84%, выход H<sub>2</sub> – 87%, выход CO – 90%. Данный катализатор является перспективным для дальнейшего изучения.

#### Литература:

1. Виноградов Н. А., Галеева Ю. Е., Елизарова В. И., Долгих В. Д., Кудинов И. В. Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-катализаторы пиролиза природного газа: зависимость физико-химических свойств и каталитической активности от температуры прокалки // Нефтехимия. - 2025. - Т. 65. - №5. - С. 391-399. doi: 10.31857/S0028242125050058.
2. Фионов Ю. А., Семенова С. М., Хайбуллин С. В., Фионова Е. А., Братчикова И. Г., Харланов А. Н., Жукова А. И. Активный и стабильный катализатор Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-(Zr+Ce)O<sub>2</sub> для получения синтез-газа в процессе

углекислотной конверсии глицерина // Кинетика и катализ. - 2025. - Т.66.  
- №2. - С.126-135. DOI: 10.31857/S0453881125020068.

## ПРИМЕНЕНИЕ ЖЕЛЕЗОКЕРАМИЧЕСКОГО КОМПОЗИТА $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4\text{-TiN-}\alpha\text{-Fe}$ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ МЕТИЛЕННОВОГО СИНЕГО ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВИДИМОГО СВЕТА

О. Г. Крюкова, Т. В. Татаринова  
Томский научный центр СО РАН,  
г. Томск, tanya123456780tatarinova@yandex.ru  
Научный руководитель: Крюкова О. Г., к.т.н.

Исследована фотокаталитическая активность железокерамического композита  $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4\text{-TiN-}\alpha\text{-Fe}$ , полученного методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, при деградации метиленового синего под действием видимого света. Установлено, что совместное использование пероксида водорода ( $H_2O_2$ ) и щавелевой кислоты ( $H_2C_2O_4$ ) приводит к синергетическому эффекту, обеспечивая почти полное разложение красителя (99,6 % за 60 мин).

The photocatalytic activity of the  $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4\text{-TiN-}\alpha\text{-Fe}$  iron-ceramic composite, obtained by self-propagating high-temperature synthesis, in the degradation of methylene blue under the influence of visible light was studied. It was found that the combined use of hydrogen peroxide ( $H_2O_2$ ) and oxalic acid ( $H_2C_2O_4$ ) leads to a synergistic effect, ensuring almost complete decomposition of the dye (99.6% in 60 min).

Удаление стойких органических загрязнителей, особенно красителей, остаётся актуальной экологической задачей, поскольку их попадание в воду вызывает токсическое воздействие на живые организмы [1]. Ежегодно около 20 % красителей, используемых в промышленности, теряется в процессе окрашивания и сбрасывается в водоёмы без очистки, что приводит к изменению цвета, уменьшению прозрачности воды и угнетению фотосинтеза [2]. Одним из наиболее опасных соединений является метиленовый синий (МС) — устойчивый фенотиазиновый краситель, токсичный даже при низких концентрациях и способный вызывать нарушение клеточного дыхания водных организмов [3]. В связи с этим актуальным направлением является разработка фотокаталитических технологий, обеспечивающих эффективную деградацию органических красителей под действием видимого света.

Одним из наиболее перспективных подходов к разрушению стойких органических соединений являются усовершенствованные процессы окисления (AOPs), основанные на образовании высокоактивных

радикалов  $\cdot\text{OH}$ , способных удалять органические загрязнители. Среди них особое внимание привлекают фотокаталитические системы на основе полупроводников, таких как  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CdS}$ ,  $\text{TaON}$  и их композиты, которые под действием света инициируют образование электрон-дырочных пар и активных форм кислорода, обеспечивая эффективное окисление. Фото-Фентон процесс представляет собой реакцию пероксида водорода с ионами железа ( $\text{Fe}^{2+}$ ), образуя высокореакционноспособные гидроксильные радикалы. Однако под действием света ускоряется восстановление  $\text{Fe}^{3+}$  в  $\text{Fe}^{2+}$ , увеличивая образование активных гидроксильных радикалов ( $\cdot\text{OH}$ ), что позволяет значительно ускорить разложение органических красителей. Известно, что добавление хелатирующих агентов (ЭДТА, щавелевая, лимонная кислоты), усиливает этот процесс за счёт образования, например, фоточувствительных ферри-оксалатных комплексов, фотолиз которых обеспечивает постоянную генерацию активных радикалов и расширяет рабочий диапазон рН. [4].

В последние годы усилился интерес к разработке композитных материалов, сочетающих фото-Фентон-процесс и гетерогенный фотокатализ на основе полупроводников. Такой подход позволяет объединить преимущества гомогенных и гетерогенных систем, обеспечивая повышенное образование гидроксильных радикалов ( $\cdot\text{OH}$ ) и, следовательно, более полное разложение устойчивых органических загрязнителей. Особое внимание уделяется железосодержащим керамическим композитам на основе нитрида кремния ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), полученным методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Так, в работах [5-6] было показано, что железокерамические композиты обладают оптимальным сочетанием высокой каталитической активности, экологической безопасности и экономической эффективности при разложении органических загрязнителей под воздействием УФ-излучения.

В данной работе для получения железокерамического композита на основе нитрида кремния использовались ферросилиций и ильменит. Ферросилиций, представляющий собой сплав железа с кремнием, применялся в виде циклонной пыли, являющейся отходом металлургического производства. В качестве второго компонента использовался ильменит — природный минерал состава  $\text{FeTiO}_3$ , содержащий оксиды железа и титана. Для повышения степени азотирования в систему вводили газифицирующую добавку — фторид аммония ( $\text{NH}_4\text{F}$ ), который при разложении образует газообразные продукты ( $\text{NH}_3$  и  $\text{HF}$ ), являющимися дополнительными азотирующими и газотранспортными агентами.

В результате получен композит  $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4\text{-TiN-}\alpha\text{-Fe}$ , представляющий собой керамическую матрицу из нитрида кремния с равномерно распределёнными фазами узкозонного полупроводника TiN и металлического железа ( $\alpha\text{-Fe}$ ). Такое сочетание компонентов обеспечивает совмещение процессов гомогенного и гетерогенного фотокатализа, что позволяет реализовать фотокаталитические ферриоксалатные системы и процесс фото-Фентона, а наличие полупроводника TiN позволяет матрице участвовать в фотоокислительных процессах. Благодаря этим свойствам материал рассматривается как перспективный катализатор для деградации метиленового синего под воздействием видимого света. Целью данной работы является исследование каталитической активности железокерамического композита в условиях видимого света в зависимости степени деградации МС от разных параметров (масса композита, pH раствора, добавка  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , температура).

Композит  $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4\text{-TiN-}\alpha\text{-Fe}$  в виде гранул размером 2 мм определенной массы помещался в стакан и заливался 2,5 л модельным раствором МС (исходная концентрация 5 мг/л). Эксперименты проводились при температуре окружающей среды. Перед облучением смесь сначала выдерживалась в темноте в течение 30 минут для достижения равновесия адсорбции-десорбции при магнитном перемешивании. Растворы пероксида водорода ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) и щавелевой кислоты ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ) добавлялись как по отдельности, так и совместно. Контроль за содержанием красителя осуществлялся спектрофотометрическим методом на приборе СФ-56. Степень деградации R (%) оценивалась по убыли МС из раствора по уравнению (1):

$$R, \% = \frac{(C_{\text{нач.}} - C_{\text{ост.}}) * 100}{C_{\text{нач.}}}, \quad (1)$$

где  $C_{\text{нач.}}, C_{\text{ост.}}$  – начальная и остаточная концентрации красителя в растворе.

На рисунке 1 представлена зависимость степени деградации метиленового синего от времени при различных условиях среды и параметров проведения реакции. Как видно из графика, при использовании только катализатора  $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4\text{-TiN-}\alpha\text{-Fe}$  (кривая 1) наблюдается постепенное повышение активности, и степень деградации достигает 27,4 % за 240 минут, что обусловлено протеканием процесса гетерогенного фотокатализа: под воздействием света в композите генерируются электронно-дырочные пары, инициирующие образование активных радикалов. При добавлении перекиси водорода ( $\text{H}_2\text{O}_2$ , кривая 2) скорость реакции значительно возрастает — степень деградации

достигает 84,5 % за 240 минут благодаря участию  $\text{H}_2\text{O}_2$  в фото-Фентон-реакции ( $\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \cdot\text{OH} + \text{OH}^-$ ). Введение щавелевой кислоты ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , кривая 3) дополнительно усиливает процесс до 92,8 % за 240 минут за счёт образования феррооксалатных комплексов, повышающих фотогенерацию  $\cdot\text{OH}$ -радикалов [7]. Наибольшая эффективность наблюдается при совместном добавлении  $\text{H}_2\text{O}_2$  и  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  (кривая 4), где достигается почти полная деградация (99,6 %) уже за 60 минут. Это свидетельствует о выраженным синергетическом эффекте между пероксидом водорода и щавелевой кислотой, существенно усиливающем фото-Фентон-процесс. В результате проведённых экспериментов были определены оптимальные условия реакции: концентрация  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  – 0,06 г/л,  $\text{H}_2\text{O}_2$  – 1 mM, pH – 5,5, температура – 22 °C и количество катализатора – 2 г/л.

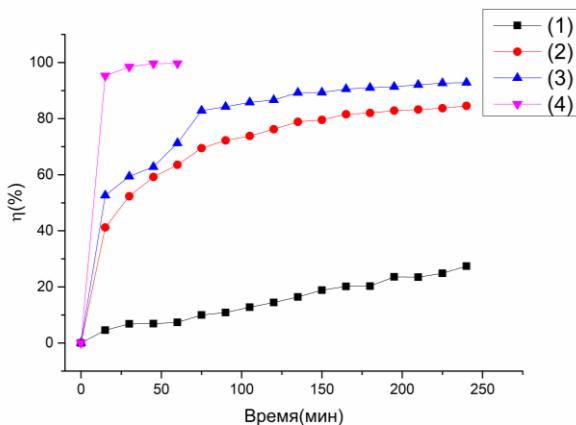


Рис.1 – Эффективность деградации 5 мг/л метиленового синего,  $t = 22^\circ\text{C}$ , начальное значение pH 5,5 при различных условиях (1 – 2 г/л катализатор  $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4\text{-TiN-}\alpha\text{-Fe}$  + видимый свет; 2 – 2 г/л катализатор  $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4\text{-TiN-}\alpha\text{-Fe}$  + 1 ммоль/л  $\text{H}_2\text{O}_2$  + видимый свет; 3 – 2 г/л катализатор  $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4\text{-TiN-}\alpha\text{-Fe}$  + 0,06 г/л  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  + видимый свет; 4 – 2 г/л катализатор  $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4\text{-TiN-}\alpha\text{-Fe}$  + 1 ммоль/л  $\text{H}_2\text{O}_2$  + 0,06 г/л  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  + видимый свет)

В результате проведённых экспериментов были определены оптимальные условия реакции для максимальной степени деградации МС: концентрация  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  – 0,06 г/л,  $\text{H}_2\text{O}_2$  – 1 mM, pH – 5,5, температура – 22 °C и количество катализатора  $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4\text{-TiN-}\alpha\text{-Fe}$  – 2 г/л.

**Литература:**

1. Toxicity of textile dyes and their degradation by the enzyme horseradish peroxidase (HRP) / S. M. G. U. de Souza, E. Forgiarini, A. A. U. de Souza // Journal of Hazardous Materials. – 2007. – Vol. 147, Iss. 3. – P. 1073–1078. – DOI: 10.1016/j.jhazmat.2007.06.003.
2. Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: a review / M. T. Yagub, T. K. Sen, S. Afrose, H. M. Ang // Advances in Colloid and Interface Science. – 2014. – Vol. 209. – P. 172–184. – DOI: 10.1016/j.cis.2014.04.002.
3. An overview on the photocatalytic degradation of azo dyes in the presence of TiO<sub>2</sub> doped with selective transition metals / M. A. Rauf, M. A. Meetani, S. Hisaindee // Desalination. – 2011. – Vol. 276. – P. 13–27. – DOI: 10.1016/j.desal.2011.03.071.
4. Enhancement of a solar photo-Fenton reaction by using ferrioxalate complexes for the treatment of textile dyeing wastewater / L. I. Doumic, P. A. Soares, M. A. Ayude, M.C. Caddanello, R. A R Boaventura, V.J P Vilar // Chemical Engineering Journal. – 2015. – Vol. 277. – P. 86–96. – DOI: 10.1016/j.cej.2015.04.074.
5. Photocatalytic degradation of pharmaceutical pollutants under UV and visible light using iron-containing metal-ceramic composites / L. N. Skvortsova, K. A. Bolgaru, K. I. Kazantseva, I.A. Tikhonova, A.A. Reger, K.A. Dychko // Russian Physics Journal. – 2023. – DOI: 10.1007/s11182-023-02855-x.
6. Synthesis of Fe/TaON/β-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/β-Si<sub>3</sub>Al<sub>3</sub>O<sub>3</sub>N<sub>5</sub> composites for photocatalytic degradation of chloramphenicol in water / L. N. Skvortsova, K. I. Kazantseva, K. A. Bolgaru, A.A. Reger, I.A. Artyukh, K.A. Dychko // Inorganic Materials. – 2023. – Vol. 59, № 3. – P. 321–328. – DOI: 10.1134/S0020168523030123.
7. The photochemical generation of hydroxyl radicals in the UV-vis/ferrioxalate/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> system / K. A. Hislop, J. R. Bolton // Environmental Science & Technology. – 1999. – Vol. 33, № 18. – P. 3119–3126. – DOI: 10.1021/es9810134.

# УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ДИСПЕРГИРОВАНИЕ ПИРИТНЫХ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ В ПРИСУТСТВИИ РЕАГЕНТОВ МОДИФИКАТОРОВ

У. Р. Шарипова, М. А. Третьяк, К. А. Каримов

Уральский федеральный университет имени первого

Президента России Б. Н. Ельцина,

г. Екатеринбург [m.a.tretiak@urfu.ru](mailto:m.a.tretiak@urfu.ru)

В рамках исследования изучили предварительную ультразвуковую (УЗ) обработку пиритных хвостов в сернокислых растворах с применением технического лигносульфоната (ЛС). Установлено, что совместное воздействие УЗ (30 кГц),  $H_2SO_4$  (25 г/дм<sup>3</sup>) и ЛС (0,5 г/дм<sup>3</sup>) оптимизирует гранулометрический состав: содержание мелкой фракции возрастает до 44 %, а крупных частиц снижается до 2,5 %. Метод перспективен для подготовки техногенных отходов к гидрометаллургической переработке.

The study examined the preliminary ultrasonic (US) treatment of pyrite tailings in sulfuric acid solutions using technical lignosulfonate (LS). It was found that the combined effect of ultrasound (30 kHz),  $H_2SO_4$  (25 g/dm<sup>3</sup>), and LS (0.5 g/dm<sup>3</sup>) optimizes the particle size distribution: the fines content increases to 44 %, while the coarse content decreases to 2.5 %. This method holds promise for preparing industrial waste for hydrometallurgical processing.

Современная горнодобывающая промышленность сталкивается с системной проблемой истощения запасов легкообогатимых руд при одновременном увеличении доли сложных и упорных медных и медно-цинковых руд в минерально-сырьевой базе. Данная тенденция объективно обуславливает необходимость комплексного использования всех компонентов сырья, включая техногенные отходы обогатительных производств [1]. Проблема реутилизации техногенных образований горно-обогатительного комплекса занимает центральное место в современных исследованиях рационального недропользования. Несмотря на внешнюю обеспеченность металлургического сектора, наблюдаемая деградация качественных характеристик минерально-сырьевой базы цветной металлургии формирует объективные предпосылки для пересмотра перехода к использованию вторичных ресурсов. В данном контексте значительная часть научных исследований концентрируется на технологиях вовлечения в переработку, накопленных в хвостохранилищах минеральных комплексов [2]. В этой связи пиритные хвосты, значительные объемы которых аккумулируются в отвалах обогатительных фабрик, представляют собой стратегически важный техногенный ресурс. Их вовлечение в переработку является не только решением экологических проблем, связанных со складированием,

но и перспективным направлением рационального недропользования [3]. Широкий спектр успешного применения УЗ технологий в смежных областях подтверждает перспективность их использования для решения задач переработки техногенных минеральных ресурсов. УЗ эффективно применяется в синтезе цеолитов, очистке сточных вод, медицинской диагностике, прецизионных измерениях, очистке поверхностей и флотационных процессов. Накопленный научно-технический опыт позволяет целенаправленно адаптировать УЗ методы для предварительной активации пиритных хвостов [4-6].

В качестве объекта исследования процессов УЗ вскрытия использовали пиритные хвосты обогащения медно-цинковых руд. Идентификацию и количественную оценку состава объекта проводили методом рентгеноспектрального флуоресцентного анализа (ARL Advant'X 4200, США), гранулометрический состав объекта определён методом лазерной дифракции (Bettersize ST, Китай). Результаты анализов исходного сырья, приведены в таблице 1,2. Основные ключевые минералообразующие компоненты в составе хвостов обогащения: пирит ( $\text{FeS}_2$ ), халькопирит ( $\text{CuFeS}_2$ ), сфалерит ( $\text{ZnS}$ ) и силикатная составляющая в форме кварца ( $\text{SiO}_2$ ).

**Таблица 1 – Химический состав пиритных хвостов**

Элемент	S	Fe	Cu	Zn	$\text{SiO}_2$	Собщ	Прочие	Au, г/т
% масс	36,68	32,13	0,4	0,55	12,62	0,4	17,22	1,33

**Таблица 2 – Гранулометрический анализ исходного сырья, %**

Размерность, мкм							
0-1	1-2	2-5	5-10	10-20	20-45	45-75	75 -200
3,21	6,26	13,54	11,89	15,01	22,02	16,45	11,62

Лабораторные исследования влияния УЗ обработки на пиритные хвосты выполнялись на специализированном комплексе, включающем УЗ генератор «Алена» (модель УЗТА-0,1/28-О, Россия), систему магнитного перемешивания и термостатирующую емкость. Температурный режим поддерживали на уровне  $80 \pm 5$  °C с механическим перемешиванием на верхнеприводной мешалке Cat R-100C (460 об/мин), другими постоянными параметрами являлись: Ж:Т=5, продолжительность 4 ч и частота УЗ механических колебаний 30 кГц. Варьируемыми параметрами эксперимента являлись: концентрация серной кислоты (25–50 г/дм<sup>3</sup>), введение ЛС в количестве 0,5 г/дм<sup>3</sup>, а также применение УЗ воздействия (таблица 3). Серия контрольных экспериментов проводилась в идентичных условиях без УЗ обработки для сравнительного анализа эффективности метода. Методика предусматривает предварительный нагрев раствора до установленной

температуры с последующим введением серной кислоты и навески исходного сырья. После УЗ воздействия пульпу подвергали фильтрации, а полученный кек последовательно промывали дистиллированной водой и анализировали на влажность (21 %) на анализаторе ЭВАЛАС-2М (Россия). Количественный выход кека определяли с коррекцией на измеренную влажность проб. Для гранулометрического исследования высушенный в анализаторе материал характеризовали методом лазерной дифракции. Результаты анализа представлены в таблице 4.

**Таблица 3 – Установленные параметры экспериментов**

№ опыта	ЛС, г/дм <sup>3</sup>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , г/дм <sup>3</sup>	Воздействие УЗ
1	0,5	50	–
2	0,5	–	–
3	–	–	+
4	–	25	–
5	–	25	+
6	0,5	–	+
7	0,5	25	+

**Таблица 4 – Гранулометрический анализ сырья, % масс.**

№ опыта	Размерность, мкм								
	0-1	1-2	2-5	5-10	10-20	20-45	45-75	75 -100	100-200
1	2,38	4,40	10,32	10,05	14,92	28,53	18,29	5,47	5,63
2	5,0	8,25	14,40	11,64	15,72	23,97	16,61	4,06	0,35
3	4,49	6,62	10,91	8,87	12,75	24,02	18,65	8,33	5,36
4	5,0	7,80	14,29	12,66	17,46	26,82	14,63	1,34	-
5	5,4	8,11	14,15	11,80	15,68	24,26	16,91	3,40	0,29
6	6,62	9,31	14,48	11,67	16,45	24,34	14,59	2,42	0,12
7	5,20	8,72	16,92	13,20	16,29	23,08	14,11	2,32	0,16

Сравнительный анализ опытов 2 и 6 с наличием ЛС демонстрирует положительное влияние УЗ на диспергирование. При УЗ воздействии (опыт 6) наблюдается увеличение выхода тонких фракций (0–10 мкм) до 42,1 % в сравнении с 39,3% (опыт 2), а также снижение содержания наиболее крупной фракции 100–200 мкм с 0,35 до 0,12 %. Сравнение опытов 4 и 5 (присутствие H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) указывает на положительное комплексное влияние параметров. Хотя в опыте 5 (с УЗ) содержание фракции 0–1 мкм возросло до 5,4 % против 5 %, также наблюдается рост содержания фракций 75–100 мкм, что свидетельствует о сложном характере взаимодействия УЗ в кислотной среде в отсутствии ЛС. Максимальный эффект диспергирования достигнут в опыте 7 при комбинированном воздействии УЗ, ЛС и H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Суммарное содержание

мелкой фракции (0–10 мкм) составляет 44 %, наблюдается минимальное среди всех опытов содержание крупной фракций (75–200 мкм) 2,48 % и отмечается максимальное содержание фракций (2–5 мкм) 16,92 %.

Метод ультразвуковой обработки позволяет повысить эффективность переработки техногенного сырья, разрушая агрегированные частицы сульфидов и тем самым увеличивая их реакционную способность. Метод обеспечивает целенаправленное диспергирование материала с увеличением выхода активных поверхностей для последующих гидрометаллургических процессов. Экспериментально доказана синергия от комбинированного воздействия УЗ колебаний с реагентами-модификаторами, оптимизирующая гранулометрический состав продукта. Разработанный подход создает основу для энергоэффективной технологии глубокой переработки упорных минеральных форм с извлечением ценных компонентов.

*«Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-29-00838, <https://rscf.ru/project/25-29-00838/>»*

#### Литература:

1. Минерально сырьевая база меди России: состояние, возможности развития / Г.Ю. Боярко, А.М. Лаптева, Л.М. Болсуновская. – 2024. – № 9 (4). – С.352-386.
2. Голик В. И., Титова А. В., Титов Г. И. \ К утилизации хвостов обогащения руд цветных металлов. // Горная промышленность. – 2024. – № 5. – С. 96-101О выборе возможных способов комплексного использования техногенных пиритных хвостов в связи с их переработкой / В.А. Бочаров, В.А. Игнаткина, Е.Л. Чантурия, Т.И. Юшина, Л.С. Хачатрян, В.Н. Дунаева // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 10. – С. 92-99.
3. Еранская Т. Ю. Получение цеолита с использованием ультразвука // Вестник Амурского государственного университета. Серия: Естественные и экономические науки. – 2023. – № 103. – С. 80-82.
4. Викулин П. Д. Перспективы использования ультразвука в очистке сточных вод // Системные технологии. – 2023. – № 4 (49). – С. 169-174.
5. Гасанов Т. И., Гогичаев В. А., Попова В. А. Методы применения ультразвука в травматологии // Инновационная наука. – 2025. – № 1-2-2. – С. 131-132.
6. Effects of ultrasonic pretreatment on the flotation performance and surface properties of coking middlings / C. Zheng, Y. Ru, M. Xu, K. Zhen, H. Zhang // Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. – 2018. – V. 40. – p. 1-8.

## Секция 10.2 ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

### КАТАЛИТИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ВЛАЖНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ СО НА ГРАНУЛИРОВАННОМ ЦЕРИЙ-ОЛОВЯННОМ КАТАЛИЗАТОРЕ

**Н. Р. Болдырев, Е. В. Овчинникова, Н. В. Верниковская**

**Институт катализа СО РАН,  
г. Новосибирск, boldyrev@catalysis.ru**

*В работе представлено математическое моделирование окисления CO в промышленных газовых выбросах на новом низкотемпературном Cu/CeSn катализаторе. Показано, что окисление CO на Cu/CeSn катализаторе при 70–120 °C, O<sub>2</sub>/CO≥0.5 в присутствии 10% H<sub>2</sub>O описывается кинетическим уравнением первого порядка. Моделирование реактора проведено для гранул катализатора в форме цилиндра 3×10 мм и кольца 15×15×3,2 мм при использовании стационарной однофазной модели адиабатического реактора. В результате определены наилучшие условия для достижения требуемого остаточного содержания CO в выбросах без превышения температурных ограничений слоя.*

*The paper presents the mathematical modeling of CO oxidation in industrial exhaust gases using a new low-temperature Cu/CeSn catalyst. It is shown that the CO oxidation on the Cu/CeSn catalyst at 70–120 °C, an O<sub>2</sub>/CO≥0.5 in the presence of 10% H<sub>2</sub>O is described by a first-order kinetic equation. Reactor simulation was performed for catalyst granules in the form of a 3×10 mm cylinder and a 15×15×3.2 mm ring using a stationary single-phase reactor model. As a result, the best conditions for achieving the required residual CO content in emissions without exceeding the bed temperature limitations were proposed.*

Каталитическое окисление является основным методом обезвреживания CO – токсичного газа, который образуется в результате работы автомобилей и на промышленных производствах [1]. В отличие от хорошо исследованных методов обезвреживания автомобильных выхлопов при высоких температурах, очистку промышленных выбросов от CO часто требуется проводить при относительно невысоких температурах и при широком изменении содержания CO [2]. Создание катализаторов низкотемпературного окисления CO сильно осложняется присутствием паров воды, которые блокируют активные центры. При сжигании CO с высокой концентрацией развиваются высокие температуры, приводящие к дезактивации катализатора.

В связи с этим создание катализаторов, эффективных при низких температурах и во влажных условиях, а также сохраняющих

стабильность при высоких температурах, является крайне важной и актуальной задачей. Перспективными с этой точки зрения признаны церий-оловянные катализаторы  $\text{Me/CeSn}$ , содержащие в качестве активного компонента переходные элементы ( $\text{Me} = \text{Fe}, \text{Co}, \text{Ni}, \text{Cu}$  и т.п.) [3]. Несмотря на значительный научный интерес к  $\text{Me/CeSn}$  катализаторам, вопросы их применения в реакторах обезвреживания промышленных выбросов, где требуется загрузка гранул в форме цилиндра или кольца, рассматриваются крайне редко. Задачи определения оптимальных условий проведения процесса в реакторе на катализаторе оптимальной формы эффективно решаются с применением методов математического моделирования [4]. Целью настоящей работы является исследование возможности каталитической очистки влажных промышленных выбросов с широкой вариацией содержания CO на гранулированном катализаторе на основе церий-оловянной системы.

Исследования проводились на катализаторе  $\text{Cu/CeSn}$  в виде фракции ~0,2 мм, прокаленном при 450°C; носитель  $y\text{CeO}_2 \cdot z\text{SnO}_2$  ( $y=z=50\%$  масс.) получен методом встречного соосаждения [5], активный компонент Cu (10% масс.) введен методом пропитки по влагоемкости.

Кинетические исследования выполнены в проточном изотермическом реакторе при температурах 70-120°C, времени контакта 0,3 с; реакционная смесь содержала 1% CO, 0,5% O<sub>2</sub>, 10% об. H<sub>2</sub>O.

Предварительная оценка параметров реактора обезвреживания влажных промышленных выбросов CO выполнена при использовании **стационарной однофазной модели реактора идеального вытеснения**. Модель включает уравнения материального и теплового баланса (1-2) с граничными условиями (3):

$$\frac{P_0}{RT_0} \frac{\partial(\bar{u}_l y_i)}{\partial l} = \sum_j (1-\varepsilon) \gamma_{ij} \bar{\omega}_j, \quad i = \overline{1, N-1} \quad (1)$$

$$\frac{P}{RT_0} \bar{u}_l c_p \frac{\partial T}{\partial l} = -(1-\varepsilon) \sum_j \Delta H \bar{\omega}_j \quad (2)$$

$$l = 0 : \bar{u}_l(0) = \bar{u}_0, \quad T(0) = T_{in}, \quad y_i(0) = y_{in}, \quad i = \overline{1, N} \quad (3)$$

где  $P$  – давление, атм;  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $\text{м}^3 \cdot \text{атм} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ ;  $l$  – координата по длине слоя, м;  $T$  – температура, К;  $u_l$  – линейная скорость потока при н.у.,  $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$ ;  $y_i$  – концентрация  $i$ -го вещества, мол. доли;  $\omega_j$  – скорость  $j$ -й реакции, моль· $\text{м}^{-3}$ ;  $\varepsilon$  – порозность слоя;  $\Delta H$  – энтальпия  $j$ -й реакции, Дж·моль $^{-1}$ .

Математическое моделирование реактора дожигания CO проведено для  $\text{Cu/CeSn}$  катализатора в форме гранул, часто применяемых на практике: цилиндр 3×10 мм (далее – цилиндр), и кольцо 15×15 мм с толщиной стенки 3,2 мм (далее – кольцо). Характеристики газа,

подлежащего очистке от CO: объем 1000 м<sup>3</sup>/ч (н.у.), состав CO/ O<sub>2</sub>/ H<sub>2</sub>O = (1.5-4.0)/ 3/ 10 об% (азот по балансу). Объем загрузки катализатора, с учетом ограничений на максимально допустимую температуру  $T_{max} \leq 450^{\circ}\text{C}$ , должен обеспечивать остаточную концентрацию CO в выбросах  $C_{out} \leq 500 \text{ ppm}$ .

На первом этапе определены вид кинетического уравнения реакции и его параметры. Экспериментально показано, что скорость окисления CO на Cu/CeSn катализаторе может быть представлена кинетическим уравнением **первого порядка по CO и нулевым порядком по O<sub>2</sub>** (4), что согласуется с выводами, полученными в работах [1,6]:

$$\omega_{CO} = k_0 \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \cdot C_{CO} \quad (4)$$

где  $E_a$  – наблюдаемая энергия активации, 24 ккал/моль,  $k_0$  – предэкспоненциальный множитель,  $6,1 \times 10^{13} \text{ c}^{-1}$ .

На втором этапе рассчитана степень использования катализатора  $\eta$  для гранул в форме цилиндра и кольца, и определены наблюдаемые кинетические параметры на гранулах катализатора. Показано, что для цилиндра и кольца  $\eta$  составила 0,72 и 0,44, соответственно.

На третьем этапе с использованием математической модели (1-3) и кинетической модели (4) определены требуемое время контакта  $\tau$  и входная температура газа  $T_{in}$ , соответствующие условиям:  $C_{in}=1,5\text{-}4\%$ ,  $C_{out} \leq 500 \text{ ppm}$ ,  $T_{max} \leq 450^{\circ}\text{C}$  (рис. 1). Определено, что в этих условиях  $T_{in}$  должна составлять  $95^{\circ}\text{C}$ , а величина  $\tau$  (и объем загрузки) для цилиндров и колец — 1.2 с (0.32 м<sup>3</sup>) и 3.0 с (0.83 м<sup>3</sup>), соответственно. Таким образом, объем загрузки Cu/CeSn катализатора в виде цилиндров 3×10 мм в 2,5 раза меньше и потому более предпочтителен, чем загрузка колец 15×15×3,2 мм.

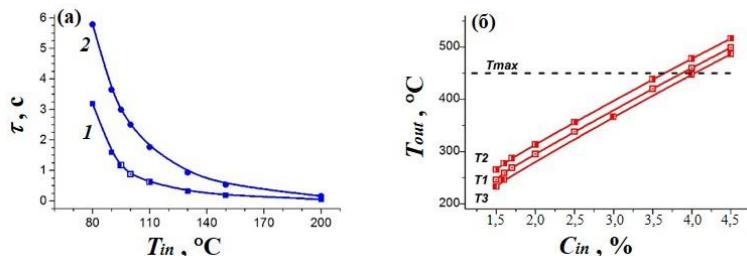


Рис. 1 – Влияние  $T_{in}$  на время контакта  $\tau$  (а) и  $C_{in}$  на температуру на выходе из слоя  $T_{out}$  (б). Обозначения: 1 – для слоя цилиндров, 2 – для слоя колец

*Условия:* (а)  $C_{in} = 1.5\%$ ,  $C_{out} = 500 \text{ ppm}$ ; (б) для слоя цилиндров при  $T_{in}$  и  $\tau$ , соответственно,  $110^\circ\text{C}$  и  $0,6 \text{ с}$  ( $T1$ ),  $130^\circ\text{C}$  и  $0,3 \text{ с}$  ( $T2$ ),  $95^\circ\text{C}$  и  $1,2 \text{ с}$  ( $T3$ )

Отметим, что при увеличении  $T_{in}$  на  $15\text{--}35^\circ\text{C}$  можно снизить  $\tau$  в 2-4 раза, однако это приведет к превышению принятого  $T_{max}$  (линии  $T1$  и  $T2$  на рис.), следовательно реализация этого потребует применения катализатора, который будет стабилен при  $470\text{--}600^\circ\text{C}$ . Вместе с тем, для повышения эффективности (и снижения объема загрузки) катализатора в форме колец возможно уменьшение его размеров для достижения  $\eta$ , сопоставимого с  $\eta$  цилиндра  $3\times10 \text{ mm}$ .

Установлено, что для снижения во влажных промышленных выбросах объемом  $1000 \text{ m}^3/\text{ч}$  содержания CO от 1,5-4% до 500 ppm требуется  $0.3 \text{ m}^3 \text{ Cu/CeSn}$  катализатора в виде цилиндров  $3\times10 \text{ mm}$ , при входной температуре газа  $95^\circ\text{C}$ . Результаты служат основой для дальнейшей оптимизации размеров и форм гранул катализаторов, обладающих стабильностью при повышенных температурах, а также для разработки промышленных реакторных узлов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания Института катализа СО РАН (проект FWUR-2024-0037). Катализатор синтезирован сотрудниками ИНХ СО РАН к.х.н. Задесенцем А.В. и к.х.н. Филатовым Е.Ю. Активность катализаторов тестировалась сотрудниками ИК СО РАН к.х.н. Славинской Е.М. и д.х.н. Борониным А.Н.*

#### Литература:

1. Trovarelli A., Catalytic properties of ceria and CeO<sub>2</sub>-Containing materials // Catal. Rev. - Sci. Eng. – 1996 – Vol.38 – P.439-520.
2. Biemelt T., Wegner K., Teichert J., Lohe M. R., Martin J., Grothe J., Kaskel S., Hopcalite nanoparticle catalysts with high water vapour stability for catalytic oxidation of carbon monoxide // Appl. Catal. B: Environ. – 2016 – Vol.184 – P.208-215.
3. Kardash T. Y., Slavinskaya E. M., Gulyaev R. V., Zaikovskii A. V., Novopashin S. A., Boronin A. I., Enhanced Thermal Stability of Pd/Ce–Sn–O Catalysts for CO Oxidation Prepared by Plasma-Arc Synthesis // Top. Catal. – 2017 – Vol.60 – P.898-913.
4. Ovchinnikova E. V., Banzaraktsaeva S. P., Chumachenko V. A., Optimal design of ring-shaped alumina catalyst: A way to intensify bioethanol-

to-ethylene production in multi-tubular reactor // Chem. Eng. Res. Des. – 2019 – Vol.145 – P.1-11.

5. Slavinskaya E. M., Zadesenets A. V., Stonkus O. A., Stadnichenko A. I., Shchukarev A. V., Shubin Y. V., Korenev S. V., Boronin A. I., Thermal activation of Pd/CeO<sub>2</sub>-SnO<sub>2</sub> catalysts for low-temperature CO oxidation // Appl. Catal. B: Environ., – 2019 – Vol.277 – A.119275.

6. Song W., Deng Y., Lv Z., Su M., Dong L.L., Zheng H., Wang D., Yuan S., Ouyang L. Effect of cobalt on CeO<sub>2</sub> nanorod supported Pt catalyst: Structure, performance, kinetics and reaction mechanism in CO oxidation. // Chemical Engineering Science – 2024 – Vol.296 – A.120212.

## ИЗУЧЕНИЕ ОГНЕТУШАЩИХ СВОЙСТВ ПОРОШКОВЫХ СОСТАВОВ НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛОГИДРАТОВ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЛЕЙ

**Д. О. Дорохина, В. В. Гуровский, Н. В. Громов, В. Н. Пармон**  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, doroxina.2020@stud.nstu.ru, n.v.gromov@corp.nstu.ru

*Низовые лесные пожары являются наиболее опасными. Наилучшим способом их тушения является применение огнетушащих порошковых составов, глубоко проникающих в слои биомассы. В данной работе были синтезированы порошки на основе кристаллогидратов неорганических солей, нанесенных на матрицу силикагеля. Были проведены испытания на огнетушащую способность и определены наилучшие составы.*

*Ground forest fires are the most dangerous. The best way to extinguish them is to use fire extinguishing powder compounds that penetrate deeply into the layers of biomass. In this study, powders based on crystalline hydrates of inorganic salts deposited on a silica gel matrix were synthesized. Fire extinguishing capacity tests were carried out and the best compositions were determined.*

Наиболее тяжело контролируемой формой лесных пожаров является низовой пожар. Его пламя неравномерно распространяется по территории из-за различной влажности и плотности растительности, ее химического состава. В условиях низкой интенсивности и высокой вероятности заглубления, наиболее эффективным методом тушения данного вида пожаров является применение порошковых огнетушащих составов (ОПС). ОПС охлаждают зону горения и снижают концентрацию горючих веществ, образуя на поверхности горящего материала прочную корочку из расплавленных частиц порошка [1].

В большинстве коммерческих марок ОПС в качестве активного компонента используются фосфаты, в связи с их высокими

огнетушащими свойствами [2, 3]. Однако, высокая стоимость солей обуславливает поиск новых огнетушащих компонентов. Интерес вызывают кристаллогидраты, гидроксиды и пористые оксиды, допускающие обратимую дегидратацию-гидратацию за счет способности удержания большого количества воды или другого активного компонента.

В данном исследовании был синтезирован огнетушащий порошок по методике [4]: силикагель КСКГ (ГОСТ 3956-76, ЛенРеактив) был измельчен в планетарной мельнице (PULVERISETTE 7, Германия) и разделен на фракции ( $<0,2$  мм) и ( $0,2 - 0,5$  мм) с помощью вибропривода ВП-30 с лабораторными ситами. Фракции были пропитаны 40 %-ми водными растворами кристаллогидратов неорганических солей, используемых в качестве активного компонента (табл. 1), и высушены до постоянной массы при температуре  $110 - 120$  °C.

**Таблица 1 – Термодинамические характеристики кристаллогидратов неорганических солей [5]**

№ п/п	Кристаллогидрат неорганической соли	$\Delta H^{\circ}_{298}$ , кДж/моль	$\Delta G^{\circ}_{298}$ , кДж/моль	$\Delta S^{\circ}_{298}$ , Дж/(моль·К)
1	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	-2596,590	-2217,520	391,388
2	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	-2498,852	-2114,899	366,100
3	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	-3391,843	-2881,219	393,296
4	$\text{CuCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}^1$	-	-	-
5	$\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	-2981,560	-2475,526	406,057

<sup>1</sup>Нет данных.

Огнетушащий порошок является открытой системой, накапливающей энергию посредством обратимой реакции дегидратации-гидратации. При получении энергии кристаллогидраты распадаются на низкогидратированную или безводную форму; при выделении энергии безводные соли рекомбинируют с парами выделившейся воды, то есть прямая реакция, происходящая в матрице ОПС, является эндотермической, а обратная – экзотермической.

Для эффективного тушения пожара важна положительная энталпия ( $\Delta H$ ) абсорбции тепла (эндотермический процесс), так как, чем больше тепла пламени требуется на разложение кристаллогидрата, тем эффективнее охлаждение. Аналогично, желательна положительная энтропия ( $\Delta S$ ), при которой образуется большее количество газообразных продуктов, разбавляющих концентрацию кислорода в зоне

горения и способствующих тушению. Энергия Гиббса ( $\Delta G$ ), напротив, должна быть отрицательной, для возможности самопроизвольного процесса разложения кристаллогидрата неорганической соли [6].

Учитывая вышеописанные данные, наилучшим активным компонентом для ОПС является  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ . Для подтверждения были проведены испытания на огнетушащую способность ОПС при тушении сухих (2 г) и пропитанных в бензине опилок (2 г, 2 мл).

Испытания проводили в лабораторной вытяжке; для обеспечения безопасности в доступе были песок, вода, асбестовое одеяло и порошковый огнетушитель. Установка для испытания огнетушащих составов представляла собой стеклянную чашу с песком, на которой располагался металлический лист с рабочей зоной  $10 \times 10$  см. Для измерения скорости тушения и температуры пламени использовали тепловизор Seek Thermal Compact PRO KIT FB0090A, с диапазоном температур от -40 до 330 °C.

Сухие опилки поджигали в одной точке для симуляции естественного движения фронта пожара; у пропитанных в бензине опилок поджигали испаряющиеся бензиновые пары. Время свободного горения субстратов составило 140 с и 150 с соответственно.

Результаты испытаний представлены в Таблице 2.

**Таблица 2 – Результаты тушения древесных опилок синтезированными огнетушащими порошками**

Вид горючего материала	Кристаллогидрат неорганической соли	Время тушения, с		Огнетушащая способность, г/100 см <sup>2</sup>	
		0,2 – 0,5 мм	<0,2 мм	0,2 – 0,5 мм	<0,2 мм
Сухие опилки	$CaCl_2 \cdot 6H_2O$	125	90	0,1127	0,0880
	$MgCl_2 \cdot 6H_2O$	95	65	0,0931	0,0996
	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	125	75	0,1300	0,1843
	$CuCl_2 \cdot 6H_2O$	115	80	0,1370	0,2396
	$CoSO_4 \cdot 7H_2O$	110	85	0,2150	0,2012
Пропитанные в бензине опилки	$CaCl_2 \cdot 6H_2O$	85	90	0,6840	0,3289
	$MgCl_2 \cdot 6H_2O$	75	80	0,6032	0,2048
	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	80	90	0,4529	0,4267
	$CuCl_2 \cdot 6H_2O$	100	100	0,4825	0,4386
	$CoSO_4 \cdot 7H_2O$	90	105	0,5737	0,5587

При тушении сухих опилок в первые 20 – 25 с происходит наибольший спад температуры в связи с началом процесса дегидратации в матрице силикагеля. Далее, кристаллогидраты распадаются на

безводную форму и пары воды. Полученные оксиды металлов оказывают значительное влияние на уменьшение температуры поверхности, выступая в роли ингибиторов горения [7].

При применении ОПС фракцией ( $<0,2$  мм) заметно сокращение возникновения новых очагов пламени и уменьшение времени, затраченного на тушение сухих опилок, примерно на 30 % и на тушение пропитанных в бензине опилок на 20 %. Данный эффект можно объяснить изменением свойств силикагеля КСКГ после измельчения в планетарной мельнице, частично разрушившей матрицу, и, таким образом, дав больший доступ молекулам воды. Также, уменьшение фракции позволило порошку проникать в более глубокие слои горящего субстрата, предотвращая заглубления огня.

Наибольшую скорость тушения достиг ОПС содержащий кристаллогидрат хлорида магния, что подтверждает теоретические расчеты.

В данном исследовании были синтезированы огнетушащие порошки на основе кристаллогидратов неорганических солей двух фракций: ( $0,2 - 0,5$  мм) и ( $<0,2$  мм). Проведено 20 экспериментов на огнетушащую способность при тушении сухих и пропитанных бензином древесных опилок, по результатам которых было выявлено, что порошок меньшей фракции прекращает горение на 20 – 30 % быстрее порошка большей фракции. Наилучшим активным компонентом является кристаллогидрат хлорида магния, что подтверждено его термодинамическими характеристиками.

#### Литература:

1. Voelkert J. C. Fire and fire extinguishment // A brief guide to fire chemistry and extinguishment theory for fire equipment service Technicians. – 2009. – С. 3-5.
2. Powder fire and explosion protection. / Krasniansky M. E. – Donetsk: Donbass, 1990. – 110 c.
3. Fudang S., Zhiming D., Xiaomin C., Linshuang Z., Ye Y., Limming L. Experimental study on fires extinguishing properties of melamine phosphate powders // Procedia Engineering. – 2014. – Т. 84. – С. 535-542.
4. 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.
5. Брусенцева Л., Кудряшова А. Краткий справочник физико-химических величин некоторых неорганических и органических

соединений // Ilyin KK, Sinegubova SI A word about the teacher: To the 90th birthday of professor NI Nikurashina. Chemical Sciences-2006: Sat. scientific tr. – 2011. № 3. – С. 3-13.

6. Замараев К. И. Химическая кинетика: Курс лекций: В 3 ч./Под ред // АГ Окунева/Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск. – 2003.

7. Huang Q., Lu G., Wang J., Yu J. Thermal decomposition mechanisms of  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$  and  $MgCl_2 \cdot H_2O$  // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. – 2011. – Т. 91, № 1. – С. 159-164.

## УГЛЕРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ КАК СЕНСОРЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ИОНОВ МЕТАЛЛОВ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

**С. Н. Ельсукова<sup>1,2</sup>, Ю. В. Федосеева<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup>Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, sofi.elsu@yandex.ru**

**<sup>2</sup>Институт неорганической химии им. А.В. Николаева Сибирского  
отделения Российской академии наук,  
г. Новосибирск**

**Научный руководитель: Федосеева Ю. В., к.ф-м.н**

*В тезисе рассматривается использование углеродного материала для обнаружения ионов тяжелых металлов в водных растворах. Сенсорные свойства исследовались в трехэлектродных электрохимических ячейках с использованием раствора одномолярного хлорида калия и десяти миллимолярного гексацианоферрата калия (III) в качестве электролита. В качестве электрода сравнения использовался хлорсеребряный электрод. В исходный электролит добавлялись растворы солей хлорида железа, кобальта, кадмия и олова концентрации 0,025 M, 0,05 M, 0,1 M и 0,2 M. Электрохимическое исследование растворов показало, что при добавлении ионов металлов в электролит происходит сдвиг окислительно-восстановительных пиков в циклических вольт-амперограммах, связанный с частичной заменой ионов калия ионами металлов в составе гексацианоферрата калия (III).*

*The article discusses the use of carbon-based material for the detection of heavy metal ions in aqueous solutions. Sensory properties were studied in three-electrode electrochemical cells using a solution of monomolar potassium chloride and ten millimolar potassium (III) hexacyanoferrate as an electrolyte, and a silver chloride electrode was selected as the reference electrode. Solutions of iron, cobalt, cadmium, and tin salts were added to the initial electrolyte. Electrochemical study 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.*

За последние десять лет промышленное производство выросло резко, что привело к увеличению объёмов выбросов в окружающую среду. Накопление ионов металлов в организмах представляет собой одну из ключевых экологических проблем современности. Изучение механизмов обнаружения ионов тяжёлых металлов в воде остаётся одной из фундаментальных задач науки. Электрохимические сенсоры на основе углеродных электродов представляют собой перспективный инструмент для детекции ионов благодаря высокой чувствительности, надёжности и простоте эксплуатации. Углеродные материалы характеризуются большой удельной поверхностью, хорошими сенсорными свойствами, высокой электропроводностью и химической стабильностью.

Целью данной работы является обнаружение ионов  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Sn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  в водном электролите с использованием графита, пористого углеродного материала (ПУМ), а также бромированного пористого углеродного материала в качестве электродов электрохимического сенсора.

Графитовый электрод размером 2x5 мм и толщиной 2 мм выпиливали при помощи напильника из графитового стержня. Модификация ПУМ проводилась путем 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 изготавливались путем добавления к ним связующего поливинилденфорида и растворителя этанола, с последующей гомогенизацией и раскаткой смеси до однородной тонкой пленки. Образцы ПУМ, Br-ПУМ и графиты были исследованы с помощью сканирующей электронной микроскопией, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопией и циклической вольтамперометрией. Было выявлено, что морфология ПУМ после бромирования изменилась слабо. Бром преимущественно находится в состояниях C-Br и Br-Br. Электрохимические измерения циклических вольтамперограмм (ЦВА) проводились на потенциостате BioLogic в диапазоне напряжений от -0,3 до 0,7 В относительно хлорсеребрянного электрода сравнения на скоростях развертки потенциала 1000, 500, 200, 50 и 5 мВ/с. Сенсорные свойства электродов исследовали при добавлении растворов  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{CoCl}_2$ ,  $\text{CdCl}_2$ ,  $\text{SnCl}_2$  с концентрацией от 0,025 М до 0,2 М к водному раствору 1 М  $\text{KCl}$  + 10 мМ  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ , выступающему в качестве электролита.

Электрод из ПУМ оказался наиболее чувствительным к изменению потенциала за счет высокой проводимости и большой удельной поверхности. Его ЦВА кривые симметричные 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. Наибольший сдвиг потенциала между анодным и катодным пиком потенциала был обнаружен для раствора ионов  $\text{Cd}^{2+}$ .

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕЧИ ПИРОЛИЗА ЭТАНА: ВЛИЯНИЕ ОТНОШЕНИЯ СЫРЬЯ К ПАРАМ ВОДЫ НА ПРОДУКТЫ РЕАКЦИЙ

**Д. А. Канзафаров<sup>1,2</sup>, Н. В. Верниковская<sup>1,2</sup>, В. А. Чумаченко<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Институт катализа СО РАН, Новосибирск

<sup>2</sup>Новосибирский государственный технический университет,  
Новосибирск, kanzafarov.daniil@bk.ru

*Работа посвящена математическому моделированию процесса пиролиза этана при варьировании отношения сырья к парам воды. Показано влияние отношения сырья к парам воды на концентрацию этилена и побочного продукта бутадиена, который является предшественником кокса. Сравнительный анализ результатов расчёта и экспериментальных данных показал, что модель адекватно описывает процесс пиролиза этана.*

*The study focuses on mathematical modeling of an ethane pyrolysis process in which raw material to water vapor ratio was varied. The influence of the raw material to water vapor ratio on the concentration of ethylene and by product butadiene, which is a coke precursor is shown. A comparative analysis of the modeling results with experimental data showed, that the model adequately describes the process of ethane pyrolysis.*

Этилен – наиболее важный полупродукт нефтегазохимической промышленности. На базе этилена и его производных получают многие конечные продукты нефтегазохимии и изделий из них. По уровню производства этилена можно судить о степени развития всей нефтехимической промышленности в стране. Основным методом промышленного получения этилена является пиролиз (термический крекинг) различного углеводородного сырья, в том числе, этана. Достигаемые показатели пиролиза зависят прежде всего от технического совершенства конструкций трубчатых пиролизных печей. Процесс сопровождается образованием углеродистых отложений (кокса) на стенках труб, что ухудшает общую теплопередачу к сырью и влечет серьёзные последствия для печей пиролиза. Для увеличения срока службы змеевиков применяют новые термостойкие материалы труб,

покрытия, присадки. Формирование продуктов пиролиза и отложение кокса определяются многими технологическими факторами, одним из которых является ввод водяного пара, который способствует повышению выхода олефинов и снижает образование кокса в змеевике.

В данной работе моделирование процесса пиролиза этана было направлено на исследование влияния отношения углеводородного сырья к парам воды, а также на поиск условий минимизации выхода побочных продуктов, являющихся предшественниками кокса.

Кинетическая модель процесса пиролиза этана включает 7 уравнений основных и побочных реакций относительно концентраций наблюдаемых веществ [1,2].

Моделируемый объект представляет собой трубчатый змеевик внутренним диаметром 0.134 м и длиной 83 м, длины прямолинейных и закруглённых участков составляют 8.618 м и 0,408 м, соответственно. Газовая смесь подаётся в цилиндрический канал постоянного сечения. Тепло к газовой среде поступает через стенки канала за счёт вынужденной конвекции и излучения [3]. Температура на входе реактора равна 818 °C. Влияние соотношения сырье/пар на процесс пиролиза этана исследовалось при постоянном давлении 2.2 атм, расходе 0.860 кг/с и при переменной температуре стенки в диапазоне от 810 до 920 °C.

Для описания гомогенного процесса пиролиза, в стационарную 2D математическую модель каталитических процессов в трубчатых реакторах [4] 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.

Рассмотрим варианты процесса при минимальном и максимальном значениях соотношения массовых потоков углеводородного сырья и паров воды ( $[C_2H_6]/[H_2O] = F$ ). На рисунках 1а и 1б представлены профили концентраций образовавшихся веществ по длине трубы при значениях величины F, равных 1.0 и 2.0, соответственно. При  $F = 2.0$  (рис. 1б) концентрация этилена на выходе меньше, чем при  $F = 1.0$  (рис. 1а). Кроме того, с ростом величины F наблюдается повышение концентраций побочных продуктов реакции, в частности, увеличивается от 0.029 до 0.032 вес. долей концентрация бутадиена  $C_4H_6$ , который является предшественником образования кокса (рис 1б). Поскольку скорость реакции образования кокса из бутадиена увеличивается с ростом

величины F [2], то вследствие роста концентрации бутадиена процесс образования кокса будет протекать более интенсивно.

Таким образом, путем варьирования отношения сырья к парам воды можно получить максимальную концентрацию целевого продукта - этилена на выходе из реактора и достичь минимальных значений концентрации побочного продукта бутадиена, т.е. снизить риск образования кокса. Максимальная концентрация этилена при минимальной концентрации бутадиена достигается при  $C_2H_6/H_2O = 1.0$ . Однако при таком отношении получается низкий расход этана 0.430 кг/с, что снижает производительность реактора по этилену. Поэтому оптимальным можно считать отношение  $C_2H_6/H_2O$  в диапазоне 1.5-1.9, при котором получается достаточно высокая концентрация этилена, 0.464-0.485 весовых долей при достаточно низкой концентрации бутадиена 0.0311-0.0326 весовых долей. Кроме того, сохраняется достаточно высокий расход этана 0.520-0.560 кг/с.

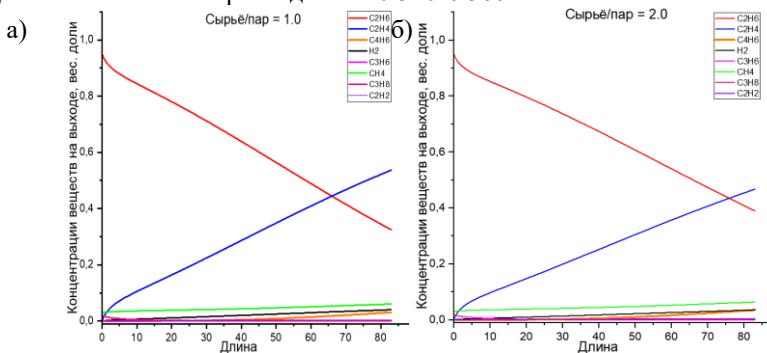


Рис. 1 – Профили концентраций основных продуктов пиролиза при  $F = 1.0$  (а) и  $2.0$  (б)

На рисунке 2 представлено сравнение рассчитанной концентрации образовавшегося этилена с экспериментальными данными [3]. Следует отметить, что эксперименты проводились при разных расходах смеси. При повышении отношения углеводородного сырья к парам воды от 1.4 до 2.0 выходная концентрация этилена в расчётах уменьшается незначительно от 0.338 до 0.320 мольных долей (рис 2). В экспериментах концентрация этилена практически постоянна. В области рабочих отношений  $C_2H_6/H_2O$  1.5-2.0 совпадение хорошее, что подтверждает адекватность расчетной математической модели процесса пиролиза этана.

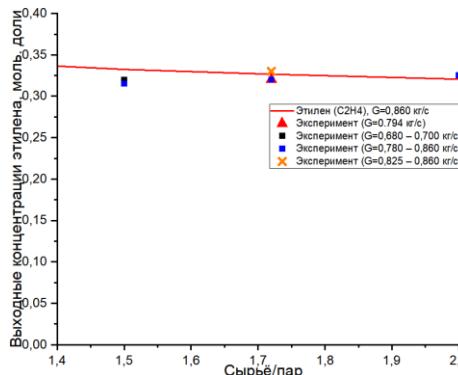


Рис. 2 – Сравнение расчётной концентрации образовавшегося этилена с экспериментальными данными

Результаты расчётов показывают, что варьирование соотношения сырья к парам воды напрямую влияет на процесс пиролиза, а именно на концентрации основных и побочных продуктов на выходе. В ходе моделирования процесса пиролиза этана установлено, что в диапазоне отношений сырья к парам воды 1.5-1.9 возможно получить достаточно высокую концентрацию этилена и достаточно низкую концентрацию бутадиена при расходе этана 0.520-0.560 кг/с. Хорошее совпадение результатов расчёта с экспериментальными данными подтвердило адекватность математического описания процесса пиролиза этана.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания Института катализа СО РАН (проект FWUR-2024-0037)*

#### Литература:

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. Андреева М. М., Прикладные аспекты химической термодинамики. 2010 136.
4. Кагырманова А. П. [и др.] // Теоретические основы химической технологии (ТОХТ). – 2006. – Т. 40, № 2. – С. 171.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ГЕОХИМИЧЕСКОГО ФОСФАТНОГО БАРЬЕРА В ДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

М. С. Круглова<sup>1,2</sup>, С. М. Софонова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, mash.cruglova2015@yandex.ru

<sup>2</sup>Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск  
Научный руководитель: Богуславский А. Е., д.г-м.н., профессор

Проведены исследования образования фосфатного геохимического барьера в динамических условиях – в проточном реакторе (колбе), заполненном песком из изучаемого участка грунта. Получены данные о формировании фосфатно-кальциевых минеральных фаз, установлена сорбционная способность их по отношению к урану.

*Studies of the formation of a phosphate geochemical barrier were conducted under accessible conditions—in a flow reactor (flask) filled with sand at the studied soil site. Data on the formation of calcium phosphate mineral phases were obtained, and their sorption capacity for uranium was established.*

Хвостохранилища радиоактивных отходов (РАО) являются одним из источников загрязнения окружающей среды. Особенно опасно загрязнение подземных и поверхностных вод растворимыми формами урана и других тяжелых металлов, которые могут создавать угрозу для экосистем и здоровья населения [1,2].

Перспективным методом предотвращения их распространения является создание геохимических барьеров. Эффективным способом задерживания является соосаждение с фосфатами кальция, такими как апатит и гидроапатит, которые способны сорбировать на себе уран, а также образовывать труднорастворимые фосфатные фазы урана (отенит), [3,4].

Для районов размещения отстойников радиоактивных отходов ядерно-топливного цикла (ЯТЦ) характерно образование нитратно-кальциевых грунтовых вод, имеющих минерализацию до 20 г/л. Данный тип вод при добавлении фосфатов способствует образованию геохимического барьера, который способен задерживать на себе уран и другие мигрирующие компоненты, такие как тяжелые металлы.

Поэтому целью данного исследования было установить эффективность формирования фосфатного геохимического барьера в модельных условиях для задержки распространения урана.

Для достижения поставленной цели использовалась установка, представляющая собой проточный реактор, представляющую собой

делительную воронку объемом 78 мл, заполненную песком из изучаемого грунта массой 119 г (рис. 1). В колонку-реактор через две трубы, подключенные к насосам, подавались растворы нитрата кальция  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  (концентрация 1398 мг/л) и фосфата калия (концентрация по  $\text{PO}_4$  1237 мг/л), скорости подачи 40,32 мл/сут и 20,48 мл/сут соответственно. К раствору нитрата добавили  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$  для концентрации урана 30 мг/л. Раз в три дня проводился отбор пробы на выходе из колонки, в которой устанавливались концентрации Са,  $\text{PO}_4$ , У.

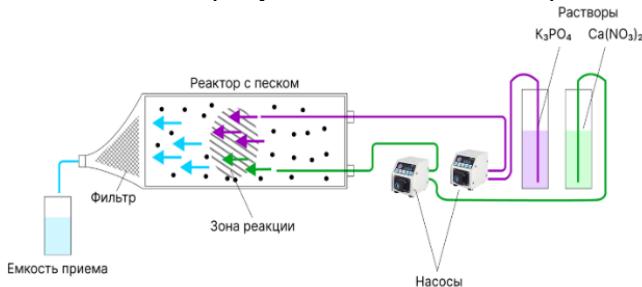


Рис.1 – Схема экспериментальной установки

Анализ растворов включал атомно эмиссионную спектрометрию с индуктивно-связанной плазмой ИСП-АЭ (IRIS Advantage), погрешность методов не превышает 5%. Для фиксирования pH полученных растворов использовался прибор «АНИОН4100». 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). Минеральный состав полученного фосфатного осадка был определен методом ИК спектроскопии.

Эксперимент длился 36 суток. В течение этого времени концентрации Са и  $\text{PO}_4$  на выходе из колонки постепенно снижались и на 35 день сократили 395 мг/л для ионов кальция и 267 мг/л для ионов фосфата (рис. 2), а концентрация урана на вторые сутки уменьшилась до 0,01 мг/л, что является признаком работы геохимического барьера и задерживании урана в колонке.

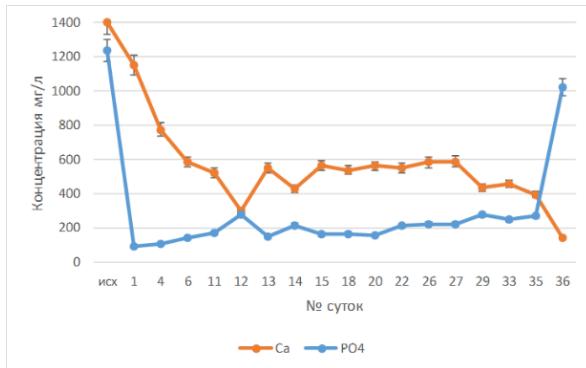


Рис.2 – Изменение концентраций ионов на выходе из колонки

Средняя скорость движения растворов в колонке практически не изменялась со временем и составляла 38 мл/сут для ионов Са и 26 мл/сут для РО<sub>4</sub> (рис. 3). Изменение скорости протекания раствора с ионами кальция на 35 сутки обусловлено снижением пористости грунта за счет кольматации пор фосфатным осадком.

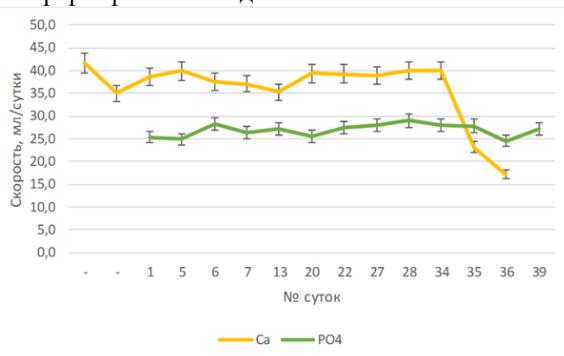


Рис.3 – Изменение скоростей протекания растворов с ионами Са и РО<sub>4</sub>

После завершения эксперимента установка была разобрана, грунт из нее отобрали для дальнейшего анализа. Согласно данным электронной микроскопии внутри колонки образовались фосфаты кальция, по составу близкие к брушиту, согласно данным ИК-спектроскопии. Различная морфология кристаллов определялась размером пор, в которых происходило их образование. На входе в колонку при отсутствии грунта фосфат кальция образовался в натечной форме (рис. 4 а), в области фильтра игольчатые кристаллы (рис. 4 б), для тела колонки, которая была заполнена грунтом было характерно образование в виде кольматажа

(рис.4 в). Урановые соединения не были зафиксированы, вследствие низкого содержания урана в исходном растворе.

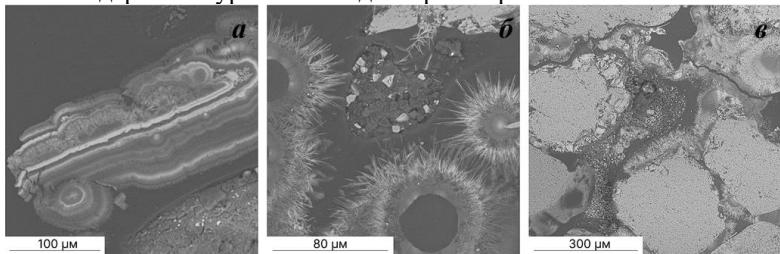


Рис.4 – СЭМ-фотографии осадков, полученных в конце (а), фильтре (б) и теле (в) колонки-реактора

Таким образом в ходе проведения динамического эксперимента на установке было наблюдалось снижение скоростей подачи растворов с ионами Са и РО<sub>4</sub> и их концентраций на выходе из колонки-реактора, что свидетельствует о процессе кольматации пространства между порами песка внутри установки. Концентрация урана не превышала порог обнаружения (0,01 мг/л), что подтверждает удержание фосфатным осадком. Полученные результаты подтверждают эффективность формирования фосфатного геохимического барьера в модельных условиях.

Работа выполнена на основе гранта РНФ 24-27-00319.

#### Литература:

1. Кузнецов В. М., Кузнецова Е. Э. Сравнительная потенциальная опасность предприятий ядерного топливного цикла // Теоретическая и прикладная экология. – 2007. – № 1. – С. 30.
2. Солонин М. Н., Состояние и перспективы развития ядерного топливного цикла мировой и российской ядерной энергетики // Атомная энергия. — 2005. — Т.98, №6. — С.448-460.
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. Никашина В.А. Проницаемые геохимические барьеры как способ защиты окружающей среды от загрязнений // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2019. – Т. 19, № 3.
5. Chen B. et al. Adsorption of uranium from uranium mine contaminated water using phosphate rock apatite (PRA): isotherm, kinetic and characterization studies // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. – 2017. – Т. 520. – С. 612-621.

## **МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЧАСТИЦ МАНИКЮРНОЙ ПЫЛИ**

**Э. В. Лихоузова, Е. А. Удальцов**

**Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, lihouzova02@gmail.com**

**Научный руководитель: Удальцов Е. А., к.в.н., доцент**

*Проведено микроскопическое исследование морфологического состава маникюрной пыли. Установлено, что в образцах преобладают частицы пластинчатой и игольчатой формы размером до 25 мкм с неровными и заостренными краями. Выявленные характеристики частиц представляют профессиональную опасность, поскольку способствуют механическому повреждению слизистых дыхательных путей и повышают адсорбционную способность частиц. Результаты исследования подтверждают необходимость применения средств индивидуальной защиты органов дыхания и усовершенствования систем вентиляции в маникюрных салонах.*

*A microscopic study of the morphological composition of nail dust was conducted. It was found that the samples were predominantly composed of plate-like and needle-shaped particles up to 25 µm in size, with irregular and sharp edges. The identified morphological characteristics of the particles pose an occupational hazard, as they contribute to mechanical damage of the respiratory tract mucous membranes and increase the aerosol's adsorption capacity. The results confirm the necessity of using personal respiratory protection equipment and improving ventilation systems in nail salons.*

В настоящее время, российский рынок ногтевого сервиса демонстрирует устойчивую, положительную динамику, в основе которой лежит стабильно высокий потребительский спрос. Маникюр занимает особое место в структуре потребительских расходов, демонстрируя черты высоконеэластичной услуги: даже в условиях экономической нестабильности большая часть клиенток сохраняет приверженность к регулярному посещению салонов. Согласно прогнозам, к концу 2025 года объем отечественного рынка маникюра и педикюра превысит 230 млрд рублей, а ежегодные темпы прироста составят 5-10%, что свидетельствует о выходе отрасли на траекторию зрелого развития [1].

Профессиональные риски в маникюрном сервисе в значительной степени связаны с образованием мелкодисперсной пыли при механической обработке ногтей и покрытий. Технологические процессы опиливания и шлифовки генерируют аэрозоль, содержащий частицы кератина, полимерных материалов и химических компонентов. В условиях ограниченного пространства салонов данная взвесь создает устойчивую концентрацию в воздухе, представляя респираторную

опасность для мастеров. При длительном воздействии пыль способна вызывать раздражение слизистых, аллергические реакции и способствовать развитию профессиональных заболеваний. В связи с этим актуальной задачей является изучение физико-химических свойств маникюрной пыли, в частности её морфологии и дисперсного состава. Результаты таких исследований необходимы для разработки эффективных мер защиты и оптимизации условий труда в ногтевой индустрии.

Исследование частиц проводилось в центре коллективного пользования микроскопического анализа биологических объектов ИЦиГ СО РАН. Для анализа формы пылевых частиц была отобрана проба пыли. Проба была взята с пылевого мешка, находящегося за вентилятором местной вытяжной вентиляции, встроенной в стол. Так как частицы маникюрной пыли не растворимые, были приготовлены стеклышки с данными частицами, перемешанные с водой, для дальнейшего анализа.

Анализ проводился с помощью исследовательского микроскопа AXIOSKOP 2 PLUS и программным обеспечением ZEN 2.6., которое помогает обрабатывать и анализировать изображения с микроскопа. Микроскопия была проведена на объективах: 10x, 20x, 40x. Таким образом, общее увеличение составило 63, 126 и 256 соответственно.

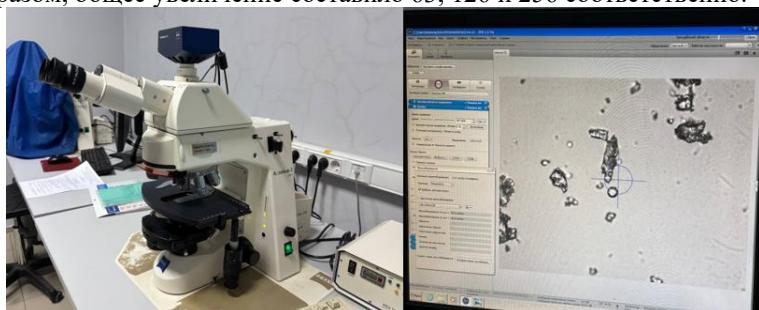


Рис. 1 – Используемый микроскоп и программное обеспечение

По форме пылевые аэрозоли разделяют по сравнительной протяженности частиц в трех измерениях на 3 класса: Изометрические частицы, имеющие, в трех измерениях примерно одинаковые размеры (шар, правильный многогранник); Частицы, имеющие в двух измерениях значительную протяженность, чем в третьем (чешуйки, пластинки и др.); Частицы, имеющие большую протяженность в одном измерении (иглы, стержни, волокна) [2].

Пылевые частицы, в отличие от летучих соединений и паров, попадая в дыхательные пути, своими острыми кромками могут травмировать

слизистые поверхности или оседать на них и со временем накапливаться. Так как в состав пыли могут входить опасные для здоровья химические вещества, то воздействие этих компонентов будет носить отравляющий характер [3].

В результате измерений было выяснено, что в маникюрной пыли преобладают частицы пластинчатой и игольчатой формы с острыми или неровными краями (рисунок 2 в-е). В среднем, размер частиц данной формы составляет 25 микрометров и менее. Если рассматривать частицы на при увеличении в 63 раза (рисунок 2 а-б), можно сделать вывод, что частиц с заостренной формой и неровными краями множество и они составляют не малую часть от всего количества частиц.

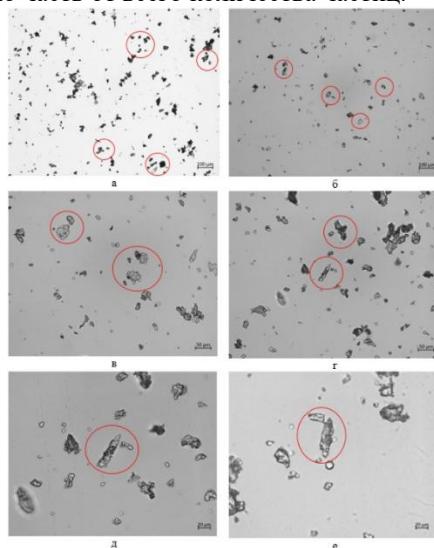


Рис. 2 – Микроскопия частиц маникюрной пыли:  
при а, б при увеличении в 63 раза, в, г при увеличении в 126 раз,  
д, е при увеличении в 252 раза

Проведенное исследование морфологических характеристик маникюрной пыли позволило установить особенности образующихся аэрозолей. Микроскопический анализ выявил доминирование частиц пластинчатой и игольчатой форм с выраженным неровными и заостренными краями. Средний размер частиц не превышает 25 мкм, что соответствует респирабельной фракции, способной проникать в дыхательные пути. С морфологической точки зрения преобладание частиц с острыми кромками представляет особую опасность. Такие частицы способны не только механически травмировать слизистые

оболочки, но и создавать условия для длительного контакта химических компонентов пыли с тканями организма. Установленная форма частиц объясняет их повышенную адгезивную способность и потенциал для накопления в респираторном тракте.

Литература:

1. Рынок ногтевого сервиса: формирование конкурентных преимуществ [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://companies.rbc.ru/news/qGub3AGM6G/ryinok-nogtevogo-servisa-formirovanie-konkurentnyih-preimuschestv/> – Загл. с экрана.
2. Фукс Н. А. Механика аэрозолей. – М.; Издательство академии наук СССР, 1955. - 383 с.
3. Аверкова О. А., Крюков И. В., Уваров В. А., Минко В. А., Крюкова О. С. Исследование физико–механических свойств пыли, образуемой в маникюрных кабинетах // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №2. С. 69–80.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПИРОЛИЗА ЭТАНА: ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССА

**А. В. Петров<sup>1,2</sup>, Н. В. Верниковская<sup>1,2</sup>, В. А. Чумаченко<sup>1</sup>.**

<sup>1</sup>Институт катализа СО РАН, Новосибирск

<sup>2</sup>Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, lehapetrov10@bk.ru

*Работа посвящена исследованию влияния давления на показатели процесса пиролиза этана в трубчатой печи. В результате математического моделирования получены профили концентрации продуктов реакции при варьировании давления. Продемонстрировано хорошее совпадение результатов моделирования с экспериментальными данными. Найдена величина оптимального давления для процесса пиролиза этана.*

*The work is devoted to the study of the influence of pressure on the parameters of the ethane pyrolysis process in a tubular furnace. As a result of mathematical modeling, profiles of the concentration of reaction products at different pressures were obtained. The simulation results showed good agreement with the experimental data. The optimal pressure value for the ethane pyrolysis process has been found.*

Пиролиз этана является одним из важнейших промышленных процессов нефтехимии, обеспечивающих производство этилена - ключевого мономера для полимеризации и последующего получения широкого спектра полимерных материалов, пластмасс, синтетических

волокон и других ценных продуктов. Эффективность и экономическая целесообразность процесса пиролиза этана напрямую зависят от выбора оптимальных условий проведения реакции, конструкции печи и технологических параметров. Одним из серьёзных препятствий на пути повышения производительности печей пиролиза является образование твёрдых углеродистых отложений (кокса), которое снижает теплопередачу и увеличивает гидравлическое сопротивление. Это приводит к неравномерному распределению температуры в реакторе, снижению выхода этилена и необходимости частых остановок для очистки оборудования.

Целью данной работы является исследование методом математического моделирования влияния давления на концентрацию целевого продукта – этилена, а также побочных продуктов, в частности бутадиена, который является предшественником кокса.

Процесс пиролиза этана в трубчатой печи рассматривается в приближении одномерного течения реагирующей газовой смеси в цилиндрическом канале постоянного сечения типа змеевика, в котором чередуются прямолинейные участки и участки с изгибом. Подвод тепла к газовой смеси осуществляется от стенок канала вынужденной конвекцией и излучением [1]. Моделируемый объект представляет собой трубу внутренним диаметром 0.134 м и общей длиной 83 м, где длина каждого прямого участка 8.618 м, а закруглённого 0.408 м. Входная температура в реактор равна 818 °С. Моделирование процесса пиролиза этана при отношении сырья к пару 1.5 осуществлялось при переменной температуре стенки в диапазоне от 810 до 920 °С.

Стационарная 2D математическая модель каталитических процессов в трубчатых реакторах [2] была модифицирована для описания гомогенного процесса пиролиза. Введено изменение коэффициентов теплопроводности и диффузии по радиусу трубы; для расчета перепада давления учтено различие коэффициентов трения на прямых и закругленных участках трубы; для расчета теплопередачи через стенку учтена теплопроводность материала трубы, конвективный теплообмен со стенкой, учитывающий наличие прямых и закругленных участков трубы, и теплообмен излучением. Кинетическая модель пиролиза этана включает 7 уравнений основных и побочных реакций относительно концентраций наблюдаемых веществ [3,4].

В результате математического моделирования было получено распределение продуктов реакции по длине трубы при шести разных значениях давления. Из рисунков 1а и 2а видно, что с увеличением давления от 1.5 до 2.95 бар концентрация этилена увеличивается незначительно, в то время как концентрации побочных продуктов

существенно возрастают (Рис. 1б и Рис. 2б). В частности, концентрация бутадиена C<sub>4</sub>H<sub>6</sub> – предшественника кокса – на выходе из трубы увеличилась примерно в 15 раз.

В работе [1] приведены экспериментальные данные по процессу пиролиза этана при разных давлениях смеси. Для проверки корректности модели, полученные по нашей модели результаты были сопоставлены с экспериментальными данными (Рис. 3). Расчеты проводились в интервале давлений от 1.55 до 2.95 бар.

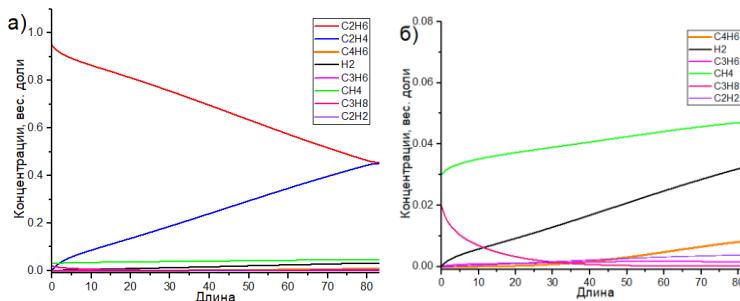


Рис. 1 – Профили концентраций продуктов реакции по длине трубы при давлении 1.55 бар.

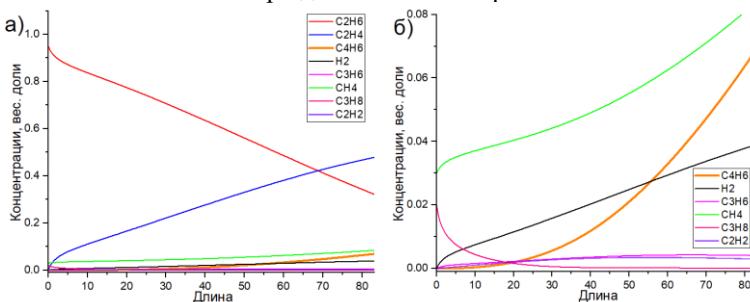


Рис. 2 – Профили концентраций продуктов реакции по длине трубы при давлении 2.95 бар

Из Рисунка 3 видно, что расчетные значения концентрации этилена согласуются с экспериментальными, что подтверждает адекватность математической модели рассматриваемому процессу пиролиза этана.

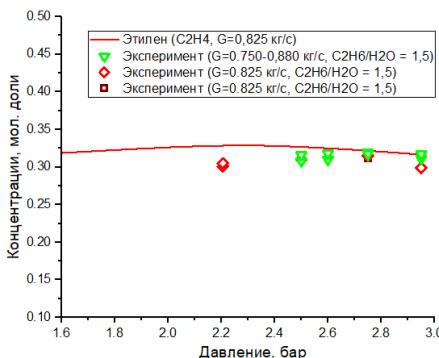


Рис. 3 – Зависимость концентрации этилена от давления на входе

Поскольку с увеличением давления концентрация этилена проходит через пологий максимум, можно сделать вывод, что для процесса пиролиза этана существует область оптимального давления. При низком давлении 1.55 бар и высоком давлении 2.95 бар, концентрация этилена составляет не более 0.318 мол. долей. Оптимальным давлением является 2.2 бар, при котором достигается наибольшая концентрация этилена 0.33 мол. долей. Концентрация бутадиена при этом в два раза ниже, чем при давлении 2.95 бар, что может приводить к пониженному образованию кокса.

Методом математического моделирования исследовано влияние давления на состав продуктов реакции в процессе пиролиза этана. Результаты показали, что при оптимальном давлении процесса пиролиза, равном 2.2 бар, достигается высокая концентрация целевого продукта (этилена) и относительно низкая концентрация побочного продукта реакции бутадиена, который ведет к образованию кокса. Результаты моделирования хорошо согласуются с экспериментальными данными, полученными при различных величинах давления, что свидетельствует об адекватности математической модели.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания Института катализа СО РАН (проект FWUR-2024-0037).*

#### Литература:

1. Андреева М. М. Прикладные аспекты химической термодинамики. – М., 2010. – 136 с.
2. Кагырманова А. П. [и др.] // Теоретические основы химической технологии (ТОХТ). – 2006. – Т. 40, № 2. – С. 171.

3. Sundaram K. M., Froment G. F. // Chemical Engineering Science. – 1977. – Vol. 32. – P. 601.
4. Sundaram K. M., Van Damme P. S., Froment G. F. // AIChE Journal. – 1981. – Vol. 27, No. 6. – P. 946.

## ИЗУЧЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ РОСТА ВОДНОГО ПАПОРОТНИКА РОДА AZOLLA В УСЛОВИЯХ ВЫРАЩИВАНИЯ IN VITRO

И. В. Пискунов<sup>1</sup>, В.С. Жданова<sup>1</sup>, Н.В. Громов<sup>1</sup>,  
А. О. Шарафутдинова<sup>2</sup>, Д.А. Романов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, onirs@corp.nstu.ru

<sup>2</sup> Центральный Сибирский ботанический сад (ЦСБС СО РАН),  
г. Новосибирск, botgard@ngs.ru

Данная работа посвящена изучению скорости роста биомассы Азоллы каролинской (*Azolla caroliniana*) – водного папоротника с фиторемедиационным потенциалом в задачах очистки сточных вод от органических загрязнений и тяжёлых металлов. Эффективность прироста биомассы оценивали при различных условиях освещения, режима колебаний среды и плотности засадки культуры в стеклянных колбах с питательной средой. Целью работы было выявление наиболее оптимального режима выращивания Азоллы каролинской *in vitro* для проведения дальнейшей серии экспериментов по фиторемедиации загрязнённых сточных вод.

*This study focuses on investigating the biomass growth rate of *Azolla caroliniana*, an aquatic fern with phytoremediation potential for the treatment of wastewater that is contaminated with organic pollutants and heavy metals.. Biomass accumulation efficiency was evaluated under different illumination conditions, environmental fluctuation regimes, and culture stocking densities in glass flasks containing a nutrient medium. The aim of the study was to identify the most optimal cultivation conditions for *Azolla caroliniana* in vitro to enable a subsequent series of phytoremediation experiments involving contaminated wastewater.*

Растения рода *Azolla* — водные папоротники, встречающиеся в умеренном, тропическом и субтропическом климатах. В 2024 году сотрудниками Ботанического сада СО РАН было зафиксировано заселение Азоллей каролинской (*Azolla caroliniana*) застойного участка реки Зырянка, протекающей на территории Сибирского Ботанического сада в Новосибирске. По наблюдениям сотрудников, растение обладает высокой скоростью наращивания биомассы, являясь по литературным данным, растением-фильтратором [1, 2].

*Azolla caroliniana*, будучи представителем порядка Сальвиниевые (*Salviniales*), класса Настоящие папоротники (*Polypodiopsida*), относится к водным папоротникам семейства Азолловые (*Azollaceae*) [3]. Исследования водных папоротников рода *Azolla* связано с её потенциалом использования в экологии (системы биологической очистки воды) и сельском хозяйстве (кормовые добавки для животных, биологическая азотфиксация).

Перенесённые из пруда парка «Бонсай» ЦСБС СО РАН образцы *Azolla caroliniana* троекратно промывали бидистилированной водой, промакивая фильтровальной бумагой после каждой промывки для удаления отмерших частей растения. Навески *Azolla caroliniana* помещали в 125 мл питательной среды в стеклянные плоскодонные конические колбы объёмом 250 мл. Каждую серию экспериментов проводили параллельно в 5 колбах.

Состав питательной среды, аналогичный раствору Хогланда, был выбран в ходе анализа литературы и представлен в таблице. Стоковые растворы микроэлементов и элементов разводили в концентрации, исходя из расчёта разведения 1 мл стокового раствора в 1 л маточного (итогового питательного раствора), за исключением комплекса хелата железа, который добавляли в концентрации 0,1 мл стокового раствора на 1 л маточного раствора (рисунки 1 а,б). Кислотность питательной среды итогового раствора доводили до pH 5,5.

**Таблица 1 – Состав питательной среды (согласно методике [4])**

Элементы/ микроэлементы	Реагент	Концентрация в стоковом растворе (г/л)
P	NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O	89,0
K	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	89,1
Ca	CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	147,0
Mg	MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	405,3
Fe (хелат)	FeSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O ЭДТА C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> O <sub>8</sub> N <sub>2</sub>	24,9 26,1
Mn	MnCl <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	1,80
Mo	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O	0,38
B	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1,14
Zn	ZnSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	0,04
Cu	CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O	0,04
Co	CoCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	0,04

В ходе эксперимента исследовали влияние трёх режимов освещённости – затемнение (30-210 лк), фиолетовый свет фитолампы (1700-1800 лк) и холодный свет (2500 лк).

Ещё одним изменяемым параметром выступала кучность засадки – единичными организмами 0,001 гр/см<sup>2</sup> (неплотная засадка) и при полном перекрытии площади поверхности среды 0,020 гр/см<sup>2</sup> (плотная засадка) (рисунок 2а).

Характер движения поверхности питательной среды варьировали тремя способами - подачей воздуха в биореакторе (0,1 л/мин), механическим раскачиванием на шейкере (50 об/мин), статичным положением (рисунок 2б). Биореактор заполняли питательной средой объёмом 2 л.

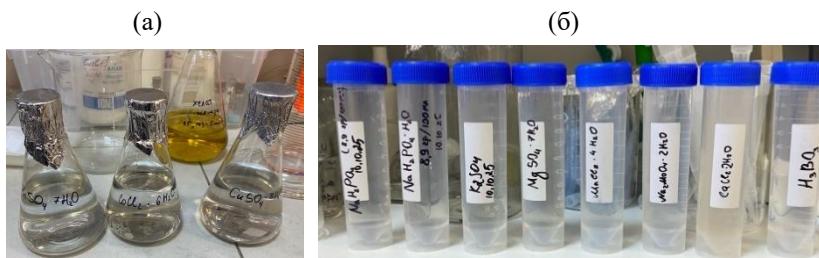


Рис. 1 – Стоковые растворы (а) элементов и (б) микроэлементов для питательной среды

Температуру среды поддерживали равной 23°C, режим освещения 12ч/12ч регулировали при помощи розетки с автоматическим часовым выключателем.



Рис. 2 – *Azolla caroliniana*, (а) помещённая в питательную среду, в статичном положении, и (б) выращиваемая в биореакторе и на шейкере

На рисунке 3 приведены результаты измерений прироста биомассы в исследуемых условиях. По результатам, отражённым на рисунке 3а, был

сделан вывод, что на фиолетовом свете прирост биомассы больше, чем на холодном, несмотря на меньшую освещённость. Вероятно, это связано с более подходящим для *Azolla caroliniana* спектром излучения фиолетового света.

Раскачивание питательной среды демонстрирует различие в скорости набора биомассы, начиная с 21-го дня (рисунок 3б). Так как часть экспериментов была начата позже, для построения окончательного вывода необходимы дальнейшие наблюдения.

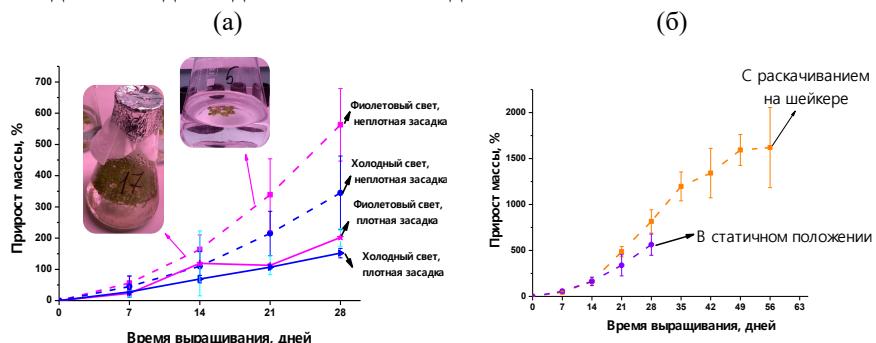


Рис. 3 – Графики влияния (а) света и плотности засадки, и (б) режима колебаний питательной среды на продуктивность прироста биомассы *Azolla caroliniana*

Тусклое освещение (30–210 лк) являлось лимитирующим фактором не только для роста *Azolla caroliniana*, но и для её выживаемости (Рис. 4а).

Подача воздуха в питательную среду не приводит к увеличению продуктивности роста при сравнении со статичным и колебательным режимами. После 21-го дня начинается деградация культуры. Вероятно, это связано с попаданием капелек воды на вайи *Azolla caroliniana* от всхлопывания пузырьков на поверхности питательной среды (рисунок 4б), что приводит, со временем, к их загниванию.

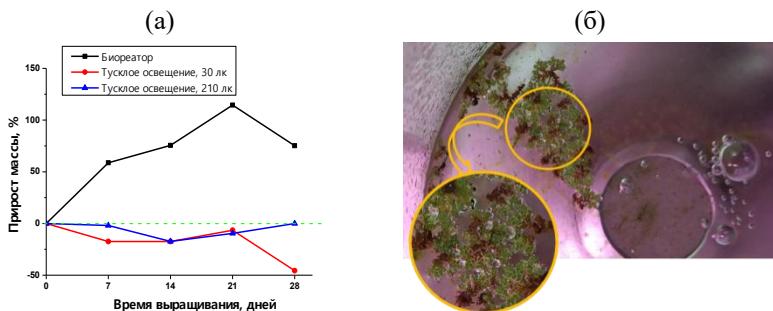


Рис. 4 – (а) График продуктивности прироста *Azolla caroliniana* в условиях тусклого освещения и при выращивании в аэрируемой в биореакторе питательной среде; (б) фотографии капель, попадающих на вайи водного папоротника при аэрации среды

Авторы выражают благодарность к.б.н. ЦСБС СО РАН Амброс Е.В. за чуткую помощь и отзывчивость, а так же за предоставление оборудования и реагентов при подготовлении питательной среды.

#### Литература:

- 1 Banach A.M., Banach K., Stepniewska Z. Phytoremediation as a promising technology for water and soil purification: *Azolla caroliniana* Willd. as a case study // Acta Agrophysica. – 2012. – Т. 19. – №. 2.
- 2 Silva M.E.J.; Mathe L.O.J.; Nicol W. Optimal Growth Conditions for *Azolla pinnata* R. Brown: Impacts of Light Intensity, Nitrogen Addition, pH Control, and Humidity // Plants.– 2022.– Vol. 11.– P. 1048. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11081048>
- 3 Ahlem T, et al. *Azolla Caroliniana* cultivation for animal's feed.– 2025.– University of Echahid Cheikh Larbi Tebessa. – P. 1-68
- 4 Watanabe I., Roger P., Ladha J., Hove C. Biofertilizer Germplasm Collections at IRRI. Book. – 1992. – The International Rice Research Institute. – P. 66.

# **РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОГО МЕТОДА МОДЕЛИРОВАНИЯ И МИНИМИЗАЦИИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ УДАРОВ В ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМАХ НЕФТЕБАЗ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

**И. С. Ульдин**

**Сибирский государственный университет водного транспорта  
г. Новосибирск, uldin1998@mail.ru**

**Научный руководитель: Панов Д. В., доцент, к. т. н., доцент**

*Настоящая статья посвящена разработке и обоснованию комплексного метода моделирования и минимизации гидравлических ударов в трубопроводных системах нефтебаз, направленного на существенное повышение промышленной безопасности объектов. Учитывая высокую опасность транспортируемых сред (нефть и нефтепродукты), возникновение гидравлических ударов может привести к катастрофическим последствиям, включая разрушение оборудования, разгерметизацию трубопроводов, возгорания, взрывы и значительный экологический ущерб.*

*This article is devoted to the development and justification of a comprehensive method for modeling and minimizing hydraulic shocks in pipeline systems of oil depots, which is aimed at significantly improving the industrial safety of these facilities. Given the high hazard of the transported media (oil and petroleum products), the occurrence of hydraulic shocks can lead to catastrophic consequences, including equipment failure, pipeline leaks, fires, explosions, and significant environmental damage.*

**Гидравлические удары и их влияние на промышленную безопасность нефтебаз.**

Нефтебазы представляют собой сложные и потенциально опасные производственные объекты, предназначенные для приема, хранения, перевалки и отпуска нефти и нефтепродуктов. Основой их функционирования являются разветвленные трубопроводные системы, по которым циркулируют легковоспламеняющиеся и взрывоопасные жидкости.

Одним из наиболее разрушительных явлений, способных вызвать такие нарушения, является гидравлический удар (гидроудар). Это быстропротекающий нестационарный процесс, характеризующийся резким повышением или понижением давления в трубопроводе, возникающим при внезапном изменении скорости потока жидкости. На нефтебазах гидравлические удары могут быть спровоцированы:

- экстренным или ошибочным закрытием/открытием задвижек.
- внезапным остановом или запуском насосных агрегатов.
- потерей электропитания, приводящей к аварийному отключению насосов.

- нарушением регламента операций по переключению потоков.

Последствия гидравлических ударов для промышленной безопасности нефтебаз:

- механические разрушения.
- разгерметизация и разливы.
- пожары и взрывы.
- экономический ущерб.

Традиционные методы защиты (установка компенсационных устройств, использование медленных задвижек) часто являются пассивными и не всегда учитывают динамику конкретных эксплуатационных сценариев.

Существующие подходы к минимизации гидравлических ударов включают:

- пассивные методы.
- активные методы.

Предлагаемый метод основывается на интегрированном подходе, включающем математическое моделирование, предиктивную аналитику и оптимизацию управляющих воздействий.

Для описания одномерного нестационарного течения жидкости в трубопроводе используются модифицированные уравнения сохранения массы и импульса, адаптированные для нефтепродуктов [1, 3]:

Уравнение неразрывности (сохранения массы):

$$\frac{1}{K} \frac{dP}{dt} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{u}{A} \frac{\partial A}{\partial x} = 0$$

где: Р — давление, t — время, x — координата вдоль оси, u — средняя скорость потока, ρ — плотность жидкости, A — площадь поперечного сечения трубы, K — модуль объемной упругости жидкости.

Уравнение движения (сохранения импульса):

$$\frac{du}{dt} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + g \sin \theta + \frac{f u |u|}{2D} = 0$$

где: g — ускорение свободного падения, θ — угол наклона трубопровода, f — коэффициент Дарси-Вейсбаха, D — внутренний диаметр трубопровода.

Скорость распространения волны давления a:

$a = \sqrt{\frac{K_{eff}}{\rho}}$ , где  $K_{eff} = \frac{K}{1 + \frac{KD}{Es}}$  учитывает упругость стенок трубы ( $E$  – модуль Юнга,  $s$  – толщина стенки). Для нефтепродуктов  $K$  и  $\rho$  являются функциями температуры и типа продукта.

Численное решение: система уравнений решается с использованием метода характеристик (МОС), который обеспечивает высокую точность при моделировании волновых явлений. Метод преобразует дифференциальные уравнения в алгебраические соотношения вдоль характеристических линий  $C^+(dx = adt)$  и  $C^-(dx = -adt)$ .

Предлагаемый метод является предиктивно-ориентированным и направлен на интеграцию с существующими системами промышленной безопасности нефтебаз (СУПБ).

Метод предусматривает создание программно-аппаратного комплекса, являющегося частью цифрового двойника трубопроводной системы нефтебазы. Этот комплекс непрерывно или по запросу выполняет:

- Мониторинг;
- Прогнозное моделирование;
- Оценка рисков;
- Оптимизация управляющих воздействий.

#### *Алгоритм проактивной минимизации*

- Инициализация и калибровка;
- Непрерывный мониторинг;
- Триггер сценария;
- Предиктивный расчет;
- Анализ результатов симуляции;
- Оптимизация управляющего воздействия.

Данный метод не только предоставляет технические решения, но и органически встраивается в СУПБ нефтебазы:

- Оценка рисков;
- Планирование ТОиР;
- Обучение персонала;
- Анализ инцидентов.

Внедрение предложенного метода принесет следующие значимые улучшения для промышленной безопасности нефтебаз:

- Проактивное предотвращение аварий;
- Снижение вероятности человеческого фактора;

- Оптимизация эксплуатационных режимов;
- Продление срока службы оборудования;
- Экологическая безопасность;
- Экономическая эффективность.

Несмотря на очевидные преимущества, реализация метода требует значительных вычислительных мощностей, высокой точности первичных данных с датчиков и сложной интеграции с существующими системами АСУ ТП. Однако инвестиции в такие технологии оправданы высоким уровнем рисков, присущих эксплуатации нефтебаз.

Разработка комплексного метода моделирования и минимизации гидравлических ударов является не просто технической задачей, а критически важным шагом в повышении промышленной безопасности трубопроводных систем нефтебаз. Предложенный подход, основанный на точном численном моделировании методом характеристик и предиктивном управлении, позволяет перейти от реактивного реагирования на аварии к проактивному их предотвращению. Интеграция метода с концепцией цифрового двойника и СУПБ нефтебазы создаст мощный инструмент для обеспечения стабильной, надежной и безопасной эксплуатации, минимизируя риски возникновения чрезвычайных ситуаций и их разрушительных последствий.

#### Литература:

1. Григорьев О. В. Гидравлический удар в магистральных трубопроводах: теория, моделирование, защита. – М.: Недра, 2023. – 520 с.
2. Захаров А. П. Промышленная безопасность объектов нефтепродуктообеспечения. – СПб.: Политехника, 2024. – 380 с.
3. Смирнов И.К., Васильев Р.Н. Математическое моделирование нестационарных процессов в гидравлических системах. – М.: Физматлит, 2023. – 290 с.
4. Ковалев С. Л. Применение метода характеристик для анализа гидравлического удара в трубопроводах нефтебаз // Вестник нефтяной промышленности. – 2024. – Т. 18, № 1. – С. 45–58.
5. Михайлова Е. Д. Оптимизация режимов перекачки нефтепродуктов с учетом рисков гидравлического удара // Проблемы транспорта и хранения углеводородов. – 2023. – № 3. – С. 65–74.
6. Петров В. Г., Орлова Н.С. Разработка цифровых двойников для предиктивного управления давлением в трубопроводных системах // Автоматизация и управление в энергетике. – 2024. – Т. 25, № 2. – С. 88– 101.

7. Романов Д. М. Методы минимизации рисков аварий при перекачке нефтепродуктов // Безопасность труда в промышленности. – 2023. – № 6. – С. 22–31.
8. Семенов Л. И. Прогнозирование аварийных ситуаций в нефтепроводных системах на основе математического моделирования нестационарных режимов. – Уфа, 2024. – 28 с.
9. Тихонов Г. П. Использование нейросетевых моделей для раннего обнаружения гидравлического удара // Материалы V Международной научно-практической конференции "Иновации в нефтегазовой отрасли", Казань, 10–12 октября 2023 г. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2023. – С. 155–162.
10. Технический регламент Таможенного союза "О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением" (ТР ТС 032/2013) [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/902359411> (дата обращения: 09.11.2025).

## ПРИМЕНЕНИЕ АЛЮМОСИЛИКАТОВ ДЛЯ СОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА (III)

**Л. Е. Хайров, Д. А. Худяков, В. В. Ларичкин, Н. В. Громов**  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, plimgrape@yandex.ru

Проведено исследование эффективности применения алюмосиликатов в качестве сорбентов при сорбционной очистке воды от ионов железа (III). Выполнены эксперименты по сорбционной очистке с помощью алюмосиликата, полученного модификаций сырья – золы-уноса ТЭЦ, а также бентонита и каолина. Получены экспериментальные данные, количественно подтверждающие эффективность очистки воды от ионов железа (III) при использовании модифицированного натрием алюмосиликата и бентонита.

*The article describes the work done to evaluate the effectiveness of aluminosilicates as sorbents for the sorption treatment of iron (III) ions from water. Experiments were conducted on sorption treatment using aluminosilicate obtained by modifying feedstock—fly ash from a combined heat and power plant (CHP), as well as bentonite clay and kaolin clay. Experimental data were obtained quantitatively confirming the effectiveness of water treatment for iron (III) ions using sodium-modified aluminosilicate and bentonite clay.*

Сорбционная очистка остается основополагающим методом очистки промышленных сточных вод от загрязняющих веществ, в том числе от 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.

Цель работы – провести исследование эффективности применения алюмосиликатов для сорбционной очистки воды от ионов железа (III).

Для проведения исследования использовалось полученное ранее сырье – зола-уноса, образовавшаяся в ходе эксплуатации ТЭЦ-5 в Новосибирске. Также было принято решение исследовать влияние на эффективность очистки предварительной механической активации сорбента. После была проведена модификация образцов механически активированной и неактивированной золы уноса. На основе литературного обзора и анализа существующих на сегодняшний день исследований было принято решение провести модификацию золы гидроксидом натрия. Произведена термическая обработка образцов золы в печи при температуре 105 °C в течение 8 часов и дальнейшее охлаждение их в экскаторе. Образцы (10 г каждый) были обработаны 80 мл NaOH, после чего высушены в сушильном шкафу при температуре 100 °C в течение 24 часов. Для исследования сорбционной способности по отношению к иону железа Fe (III) был приготовлен модельный раствор бети водного хлористого железа ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) концентрацией 0,0333 моль/л. Была отобрана фракция алюмосиликата с размером частиц 0,063 мм. Навеска алюмосиликата была добавлена в приготовленный модельный раствор хлорида железа в соотношении 100 см<sup>3</sup>\*г<sup>-1</sup> (50 мл к 0,5 г). Полученную суспензию перемешивали на магнитной мешалке в течение трех суток на скорости 100 об/мин, центрифугировали три минуты на скорости 6000 об/мин, после чего отфильтровывали. Степень очистки определялась подходящим для данных условий [2] спектрофотометрическим методом, при длине волны 400 нм.

Полученные показания оптической плотности позволяют сделать заключение об эффективности очистки воды от ионов железа (III) при использовании полученного из золы уноса алюмосиликатного сорбента. Величина оптической плотности раствора после сорбции полученным из прошедшей предварительную активацию золы (0,276) в 8,7 раза ниже величины оптической плотности модельного раствора хлорида железа до сорбции (2,4186). Для композита из золы, не прошедшей предварительную механическую активацию, величина оптической плотности раствора после сорбции (0,4231) в 5,71 раза меньше величины оптической плотности модельного раствора (2,4186).

Эксперименты, где в качестве сорбентов использовались термически модифицированные глины (бентонит, каолин), показали меньшую эффективность очистки. В частности, для раствора с использованием бентонита величина оптической плотности раствора после сорбции (0,179) в 13,5 раз ниже величины оптической плотности модельного раствора хлорида железа до сорбции (2,4186). В то же время в случае каолина показатель оптической плотности раствора практически не изменился после сорбционной очистки в течение трех суток.

1. Сорбционная способность алюмосиликата, полученного при помощи натриевой модификации сырья – золы уноса, является достаточной для актуализации проведения дальнейших исследований сорбционной очистки воды с их применением.

2. В дальнейшей работе планируется проведение экспериментов по сорбционной очистке описанными алюмосиликатами от ионов ванадия, цинка и кобальта, а также сравнение свойств полученных композитов с природными сорбционными свойства используемого сырья и поиск наиболее оптимальной с точки зрения эффективности очистки модификации.

#### Литература:

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. Ляшко И. А. Сорбция ионов тяжелых металлов на основе цеолитов //Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XXI Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков ЛП Кулёва и НМ Кижнера, посвященной 110-летию со дня рождения профессора АГ Стромберга, 21–24 сентября 2020 г., г. Томск. – Томский политехнический университет, 2020. – С. 479-480.

# ФОТОАКТИВАЦИЯ ПЕРСУЛЬФАТА ПРОДУКТАМИ ДЕГРАДАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ

И. Е. Цай<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Новосибирский государственный университет,

<sup>2</sup>Институт химической кинетики и горения

им. В.В. Воеводского СО РАН,

г. Новосибирск, i.tsai@g.nsu.ru

Научный руководитель: Поздняков И. П., к.х.н.

Продукты фотодеградации гербицида МЦПА при облучении активируют персульфат и ускоряют минерализацию данного загрязнителя. Показано, что за этот эффект отвечают продукты полифенольной природы, что продемонстрировано на примере модельного соединения – гидрохинона. Полученные результаты открывают путь к созданию более эффективных систем глубокого окисления для очистки природных и сточных вод от устойчивых загрязнителей.

*The photodegradation products of the herbicide MCPA activate persulfate upon irradiation and accelerate the mineralization of the contaminant. It has been shown that products of a polyphenolic nature are responsible for this effect, which is demonstrated by the example of model compound – hydroquinone. The results obtained open the way to the creation of more efficient advanced oxidation process for purification of natural and waste waters from persistent pollutants.*

Проблема загрязнения окружающей среды становится все более острой, и важной задачей является поиск эффективных методов удаления органических загрязнителей. Процессы глубокого окисления (AOPs, от англ. Advanced Oxidation Processes) – группа современных методов, которые широко применяются для очистки сточных вод от устойчивых загрязнителей [1]. Суть этих методов заключается в генерации активных окислительных частиц (в первую очередь, окислительных радикалов, таких как гидроксильный и сульфатный радикалы, атомарный хлор и пр.) при использовании дополнительной активации (фото- и электрохимической, ультразвуковой, термической).

Сульфатный радикал вызывает большой интерес у исследователей благодаря своему высокому окислительному потенциалу ( $E^0 = 2.6$  В) и селективности по отношению к ароматическим соединениям (которой нет, например, у наиболее популярного и изученного гидроксильного радикала). За последние 10 лет количество статей о AOPs на основе сульфатного радикала выросло от менее 10 до почти 100 в год [2].

Радикалы – неустойчивые частицы, и для использования необходимо их получение из устойчивых предшественников: для гидроксильного радикала это перекись водорода и комплексы железа (процесс Фентона);

для сульфатного самыми популярными предшественниками являются персульфаты ( $M_2S_2O_8$ , где  $M$  – чаще всего калий или натрий) [1,2].

Фотохимическая активация удобна благодаря своей контролируемости и эффективному использованию энергии света без дополнительных реагентов.

Тем не менее, практическая применимость сульфатного радикала ограничена слабым поглощением персульфатом УФ света: молярный коэффициент поглощения на длине волны 254 нм (наиболее популярный и доступный источник облучения) составляет всего  $21\text{ M}^{-1}\text{ cm}^{-1}$  и падает с увеличением длины волны, из-за чего солнечный свет персульфатом практически не поглощается. Однако эта проблема будет решена, если, помимо прямого фотолиза, загрязнители или продукты их деградации под действием света сами будут активировать генерацию сульфатного радикала.

Цель нашей работы – проверка возможности активации персульфата продуктами деградации органических загрязнителей с последующей полной их минерализацией и объяснение возможных механизмов этой активации. Степень минерализации образцов определялась по уменьшению концентрации общего органического углерода (TOC, от Total Organic Carbon).

В качестве модельного загрязнителя была выбрана 4-метил-2-хлорфеноксикусусная кислота (МЦПА) – гербицид, широко используемый в России и мире, обладающий собственной высокой фотоактивностью (квантовый выход фотолиза 0.56), кроме того, продукты его деградации также фотоактивны.

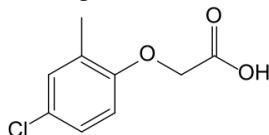
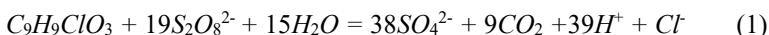


Рис. 14 – Молекулярная структура МЦПА

На Рисунке 2 видно, что только при одновременном присутствии персульфата и облучении достигается полная минерализация гербицида. Спустя 60 минут минерализуется 96% исходного TOC.

Брутто-реакция, приводящая к минерализации МЦПА в присутствии персульфата, может быть записана в виде уравнения (1)



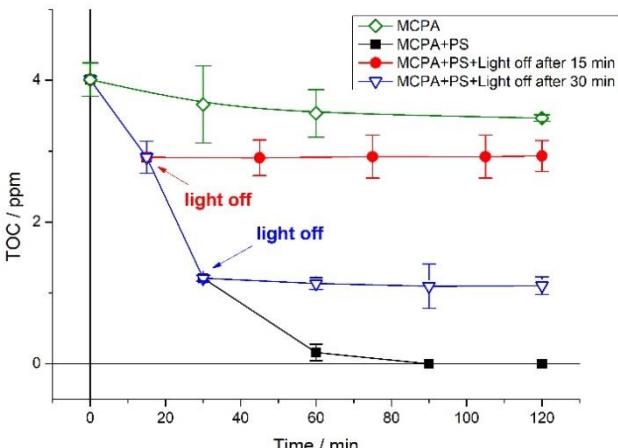


Рис. 15 – Зависимость ТОС от времени облучения  $3 \times 10^{-5}$  М раствора МЦПА в отсутствие (ромбы) и в присутствии  $1 \times 10^{-3}$  М персульфата (квадраты) при возбуждении раствора на длине волн 282 нм. Также показано влияние выключения света после 15 (круги) и 30 (треугольники) минут облучения

Для минерализации 96% МЦПА, т.е.  $2.9 \times 10^{-5}$  М, необходимо таким образом затратить  $5.5 \times 10^{-4}$  М персульфата. Согласно данным капиллярного зонного электрофореза, реальный расход персульфата за 60 минут составил  $6.5 \times 10^{-4}$  М. Однако, исходя из квантового выхода радикала при фотолизе персульфата, а также мощности источника излучения и доли поглощенного света, расход персульфата за счет прямого фотолиза за 60 минут составляет не более  $4.5 \times 10^{-5}$  М, что на порядок меньше реального расхода. Таким образом, имеет место дополнительная активация персульфата продуктами фотолиза МЦПА, причем только при их возбуждении, поскольку при прекращении облучения минерализация также останавливается (рисунок 2).

Согласно данным ВЭЖХ-МС, а также литературным данным [3], основные продукты фотолиза МЦПА имеют полифенольную природу. Типичным представителем полифенольных соединений является гидрохинон.

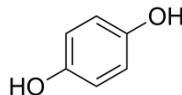


Рис. 16 – Молекулярная структура гидрохинона

Был проведен контрольный эксперимент с облучением раствора гидрохинона на 282 нм при наличии и отсутствии персульфата, причем персульфат в данной системе свет практически не поглощал. Оказалось, что несмотря на отсутствие поглощения, наличие персульфата в несколько раз ускоряет фотоокисление гидрохинона, но лишь при облучении. Таким образом, эффект, наблюдаемый для смеси с МЦПА, наблюдается и здесь.

Данный результат открывает новые возможности для использования процессов глубокого окисления на основе сульфатного радикала и удаления загрязнителей, продукты деградации которых имеют фенольную природу.

Литература:

1. Scaria J., Nidheesh P.V. Comparison of hydroxyl-radical-based advanced oxidation processes with sulfate radical-based advanced oxidation processes // Current Opinion in Chemical Engineering. – 2022. – Vol. 36. – P. 100830.
2. Tolêdo C.S.S., Bila D.M., Campos J.C. Sulfate Radical-Based Oxidation Processes for Emerging Contaminants: Advances and Perspectives on Degradation of Hormones // Processes. – 2025. – Vol. 13, N 7. – P. 1949.
3. Zertal A., Sehili T., Boule P. Photochemical behaviour of 4-chloro-2-methylphenoxyacetic acid: Influence of pH and irradiation wavelength Photochemical behaviour of 4-chloro-2-methylphenoxyacetic acid Influence of pH and irradiation wavelength. // Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry. – 2001. – Vol. 146. – P. 37.

## ДООЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД СОРБЕНТОМ, ПОЛУЧЕННЫМ ИЗ ВОДОПРОВОДНОГО ОСАДКА

**Я. С. Яковлев, Д. В. Балчугов**

**Новосибирский государственный архитектурно-строительный  
университет (Сибстрин),**

**г. Новосибирск, akovlevaroslav28@gmail.com**

**Научный руководитель: Матюшенко Е. Н., к.т.н., доцент**

*В статье рассматривается вопрос утилизации гидроксидных осадков, образующихся на водопроводных очистных сооружениях, и их негативное воздействие на экологию. Несмотря на существующие исследования по применению таких осадков в строительстве и сельском хозяйстве, основные методы их утилизации все ещё включают складирование и сброс в водоёмы, что усугубляет экологическую ситуацию регионов. Целью работы является изучение*

*возможности использования водопроводных осадков в качестве сорбента для доочистки сточных вод, в особенности от биогенных элементов, таких как азот и фосфор. В ходе исследований был проанализирован физико-химический состав осадка из Исkitима, выявлены высокие уровни содержания ионов тяжёлых металлов, что ограничивает его использование. В тоже время при термической обработке осадка при высокой температуре (более 450°С) миграция которых уменьшается и улучшаются показатели адсорбции. Проведённые эксперименты показали, что полученный сорбент эффективно снижает концентрацию азота аммонийного и фосфора фосфатов в сточных водах до значений, отвечающих сбросу сточной жидкости в водоемы рыбохозяйственного назначения.*

*The article discusses the issue of the utilization of hydroxide precipitation formed at water treatment plants and their negative impact on the environment. Despite existing research on the use of such sediments in construction and agriculture, the main methods of their disposal still include storage and discharge into reservoirs, which exacerbates the environmental situation in the regions. The aim of the work is to study the possibility of using tap precipitation as a sorbent for wastewater treatment, especially from biogenic elements such as nitrogen and phosphorus. In the course of the research, the physico-chemical composition of the sediment from Iskitim was analyzed, high levels of heavy metal ions were detected, which limits its use. At the same time, during heat treatment of sediment at high temperatures (more than 450 ° C), the migration of which decreases and the adsorption indicators improve. The experiments have shown that the resulting sorbent effectively reduces the concentration of ammonium nitrogen and phosphorus phosphates in wastewater to values corresponding to the discharge of wastewater into fisheries reservoirs.*

На сегодняшний день на водопроводных очистных сооружениях образуется большое количество гидроксидных осадков, которые необходимо обрабатывать и утилизировать. Не смотря на развитие науки и исследований о применении водопроводного осадка в строительстве и сельском хозяйстве [1, 2], основными методами утилизации являются складирование и сброс в городскую канализацию или водный объект, что приводит к ухудшению экологической ситуации региона.

Кроме этого, сдерживающим фактором для повторного использования осадков является их разнообразный состав. В зависимости от используемого реагента (солей алюминия или железа) на станции водоподготовки, содержание алюминия или железа может варьироваться от 2 до 150 г/кг и от 4 до 600 г/кг соответственно [1]. Как известно, соли алюминия и железа хорошо взаимодействуют с некоторыми веществами (например, фосфором), образуя труднорастворимые соединения, что позволяет использовать данный вид осадка в качестве природного сорбента.

Поэтому целью работы является изучение возможности применения водопроводных осадков в качестве сорбента для доочистки сточных вод.

Необходимость доочистки сточных вод связана не только с удалениемзвешенных и органических веществ, но и снижением биогенных

элементов (азот и фосфор), вызывающих эвтрофирование водных объектов [3, 4].

Для достижения поставленной цели были сформулированы ряд задач, основные из которых изучить качество водопроводного осадка, предложить способ получения сорбента из осадка, выполнить поисковые опыты по доочистке биологически очищенных сточных вод от биогенных элементов с использованием полученного сорбента.

При анализе осадка с водопроводных очистных сооружений города Искитима было выявлено незначительное количество органических веществ, но также обнаружено большое содержание ионов тяжелых металлов (ИТМ), в частности алюминия, что не позволяет использовать данный осадок в строительстве и сельском хозяйстве. Однако при запекании осадка при высокой температуре будут образовываться сложные комплексные соединения, не вымывающиеся при фильтровании, что позволяет теоретически использовать этот осадок для получения сорбента.

Для проведения исследований полученный осадок прокаливался в лабораторной муфельной печи при температуре 500°C, дробился и просеивался до получения нужной фракции (0,63–1,2 мм – основной фильтрующий слой и 1,3–2,5 мм – поддерживающий слой). Исследование по изучению сорбционной способности полученного осадка проведены в статических и динамических условиях. Для проведения исследований в динамических условиях смонтирована лабораторная фильтровальная колонка диаметром 15 мм и высотой 1 м, на которую из бака с необходимым расходом подавалась реальная сточная жидкость, прошедшая стадию биологической очистки. Сточная жидкость отобрана с функционирующими канализационными очистными сооружениями коттеджного поселка, расположенного в Новосибирской области. Скорости фильтрования составили 5, 7 и 9 м/ч.

На основании проведенных испытаний было выявлено значительное снижение концентрации фосфора и азота аммонийного на 99% и достижение предельно-допустимых концентраций при сбросе в водоемы высшей категории, при этом качество очистки практически не зависело от скорости фильтрования.

По итогам проделанной работы можно отметить, что анализ научно-технической литературы показал перспективность использования водопроводного осадка для доочистки сточных вод, а проведенные поисковые испытания потвердили эффективность полученного сорбента для удаления из сточной жидкости ионов аммония и фосфатов.

Дальнейшие исследования будут посвящены изучению различного по своим свойствам водопроводного осадка для доочистки сточных вод не

только соединений азота и фосфора, но и ИТМ в производственных условиях, нахождению основных технологических параметров работы фильтров и определению сорбционной емкости фильтрующего материала.

На сегодняшний день уже изготовлена новая опытная установка с общей фильтровальной высотой 3 м и возможностями отбора проб с различный стадий фильтрования и промывкой обратным током. Также уже был отобран водопроводный осадок с НФС 1 г. Новосибирска в объёме около 320 л. Планируется обжиг в условия кирпичного завода при температуре 1000°C.

Литература:

1. Кофман В. Я. Водопроводные осадки: состав, свойства, утилизация при очистке сточных вод (обзор) // Водоснабжение и санитарная техника. – 2020. – № 5. – С. 57– 64.
2. Возможные пути утилизации водопроводных осадков (обзор) / Ю. Л. Сколубович, Е.Н. Матюшенко, О.Г. Гириков, Е.Л. Войтов, А.Ю. Сколубович. // Труды Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин). – 2024. – Том 27. – №3 (93). С. 36–47.
3. Амбросова Г. Т., Функ А. А., Матюшенко Е. Н. Фосфор в сточных водах – анализ методов удаления // ВодаMagazine. – 2016. – № 7 (107). – С. 32– 35.
4. Опыт удаления биогенных элементов из сточных вод / Н. Г. Хуторнюк, Т. М. Гундырева, Г. Т. Амбросова, А. А. Функ. // Водоснабжение и санитарная техника. – 2009. – № 3. – С. 37– 40.

## Секция 10.3 ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ, ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА И БЕЗОПАСНОСТЬ

### ПОИСК ЭФФЕКТИВНЫХ ИНГИБИТОРОВ ФЕРМЕНТА АЦЕТИЛХОЛИНЭСТЕРАЗЫ, ОЦЕНКА ИХ БИОЛОГИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ В СИСТЕМЕ IN VITRO

**А. Ю. Бондарева<sup>1</sup>, Е. В. Елистратова<sup>1</sup>, И. Д. Иванов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Новосибирский государственный технический университет

<sup>2</sup> Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины

г. Новосибирск, alena.b15122001@gmail.com

Научный руководитель от НГТУ: к.м.н., доцент кафедры ИПЭ

Елистратова Е. В.

Научный руководитель от ФИЦ ФТМ: к.б.н., в.н.с. Иванов И. Д.

Проанализирована ингибирующая активность 38-ти синтезированных соединений глауцина, фуранокумаринов, пиразола, зонгорина, лаппоконитина, изатина в отношении ацетилхолинэстеразы. Наиболее эффективными оказались производные глауцина и фуранокумарина, показавшие низкие значения IC-50, что делает их перспективными для разработки фармакологических препаратов для лечения болезни Альцгеймера.

*The inhibitory activity of 38 synthesized compounds of glaucine, furanocoumarins, pyrazole, songorine, lappaconitine, and isatin against acetylcholinesterase was analyzed. Glaucine and furanocoumarin derivatives were found to be the most effective, exhibiting low IC-50 values, making them promising for the development of pharmacological agents for the treatment of Alzheimer's disease.*

Болезнь Альцгеймера (далее, сокращённо, — БА) является актуальной проблемой в современном обществе: под угрозой прогрессии деменции находятся всё больше слоев населения [1]. Поэтому понимание патогенеза БА имеет приоритетное значение для общественного здравоохранения.

Поиск взаимосвязи между состоянием окружающей среды и развитием БА находится в центре внимания многих токсикологических исследований. Так загрязнение воздуха является фактором риска возникновения БА опосредованно через окислительный стресс [2]. Окислительный стресс — это состояние органического дисбаланса, возникающее в результате образования активных (свободных) форм кислорода, превышающих способность антиоксидантных защитных механизмов и приводящих к физиологическим изменениям центральной нервной системы, важнейшим нейромедиатором которой является

ацетилхолин (АХ) [3]. К таким загрязнителям воздуха относятся: озон, твердые частицы, угарный газ, оксиды азота, диоксид серы и свинец.

Одно из звеньев патогенеза БА является снижение концентрации АХ под действием ацетилхолинэстеразы (АХЭ) как основного фермента гидролиза данного нейромедиатора. Для лечения, в особенности на ранних стадиях болезни Альцгеймера, используются органические вещества — ингибиторы, снижающие активность АХЭ, что приводит к замедлению гидролиза АХ и его накоплению, что положительно влияет на течение болезни.

Поиск наиболее эффективных ингибиторов АХЭ является приоритетной и неординарной задачей в области здравоохранения.

Целью работы является оценка синтезированных органических соединений на их эффективность ингибирования активности АХЭ *in vitro*.

В качестве материала для анализа были использованы синтезированные вещества-ингибиторы (СВИ), а именно, производные алкалоидов глауцина, зонгорина, пиразолов и лаппоконитина, а также производные фуранокумаринов и изатинов в общем количестве 38 образцов.

Исследование экспрессивности ингибиторов представляло собой мониторинг активности фермента АХЭ под воздействием СВИ и проводилось по упрощенному методу Эллмана. Суть анализа заключалась в последовательном получении двух растворов, состав первого из которых (100 мкл) — 0.5 mM DTNB (реактив Эллмана), 0.1 мг ацетилхолинэстеразы электрического угря в буфере 10 mM Трис-HCl с pH равной 7.5; ингибиторы в концентрациях 1, 10 и 100 мКМ. Полученную смесь обязательно инкубируют 20 минут (при н. у.) и 5 минут во льду. Второй раствор на 100 мкл включал в себя 1 mM ацетилтиохолин йодида в буфере 10 mM Трис-HCl с pH равной 7.5 и охлаждался во льду 5 минут. Растворителем во всех случаях выступал ДМСО (диметилсульфоксид). Впоследствии второй раствор добавлялся в ячейку планшета к первому раствору.

Измерения данных производились спектрофотометрическим методом с помощью анализатора планшетного многофункционального PerkinElmer Envision 2103 (далее — анализатор), предназначенного для измерений оптической плотности жидких проб, посредством программного обеспечения EnVision Workstation version 1.09. Подсчет проводился каждые три минуты до наступления порога ингибирования, с повторами ориентировочно 15-16 раз.

Основная расчетная деятельность и постройка графиков происходила в Microsoft Excel, главным параметром для подсчета при этом являлась

IC-50. IC-50 (концентрация полумаксимального ингибиования, или константа полуингибиования) — это мера эффективности ингибитора, представляющая собой концентрацию анализируемого вещества, необходимую для снижения биохимического процесса на 50%. Соответственно, чем ниже значение IC-50, тем сильнее возможный препарат.

В ходе исследования практически все СВИ показали хорошую растворимость при концентрации 10 мМ, цвет полученных растворов при этом был в основном прозрачный, лишь часть — желтый и коричневый. Интенсивность их различна.

Лучшие результаты ингибиования АХ показали производные глауцина (DM\*) и фуранокумаринов (SH\*) (Табл. 1).

**Таблица 1 — Список веществ, имеющих IC-50 менее 1 мМ**

СВИ	IC-50, мкМ	СВИ	IC-50, мкМ
DM-109	30	DM-99	39
DM-78	79	SH-8	26
DM-98	38	SH-22	0.5
DM-104	200	SH-16	66
DM-106	158	SH-1	200
DM-112	363	DM-Fa-763	50

Из них можно выделить — DM-98, DM-99 и SH-22 (рис. 1), как обладателей наименьшей IC-50 (менее 40 мкМ), что указывает на перспективность дальнейшего изучения этих соединений с целью разработки лекарственных препаратов.

Производные пиразола и зонгорина показали самую низкую активность по ингибиованию АХЭ, IC-50 составила более 10 мМ, что позволяет исключить данные соединения из данного исследования.

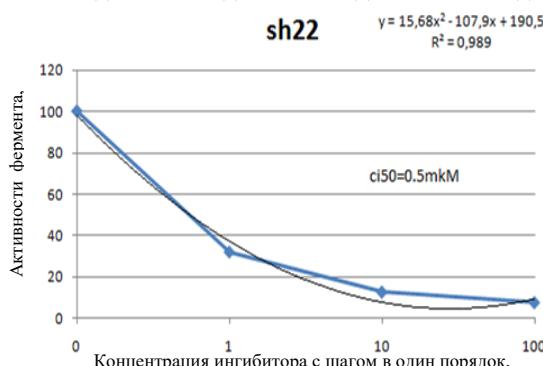


Рис. 1 – Кривая ингибиции ацетилхолинэстеразы субстанцией SH-22

В настоящее время активно ведется синтез новых молекул производных глауцина, фуранокумаринов, пиразола, зонгорина, лаппоконитина, изатина с дальнейшим исследованием потенциала их ингибиования АХЭ. Полученные нами данные по высокой активности ингибиования фермента соединениями производными глауцина и фуранокумаринов, согласуются с выводами других исследователей [4].

Было проанализировано 38 образцов синтезированных органических соединений на эффективность их ингибиования АХЭ. Производные глауцина и фуранокумарина DM-98, DM-99, SH-22 показали концентрацию полумаксимального ингибиования менее 40 мкМ, что делает их перспективными для дальнейших модификации и изучения с целью разработки фармакологических препаратов для лечения болезни Альцгеймера.

#### Литература:

1. Хасanova Г. Р., Музafferова М. Ш. Факторы риска болезни Альцгеймера. Систематический обзор и мета-анализ [Электронный ресурс] // Фундаментальная и клиническая медицина. — 8(4), с. 101-114. — 2023. — URL: <https://doi.org/10.23946/2500-0764-2023-8-4-101-114>. (дата обращения: 20.11.2025). — doi: 10.23946/2500-0764-2023-8-4-101-114.
2. Moulton P. V., Yang W. Air pollution, oxidative stress, and Alzheimer's disease [Electronic resource] // Environ Public Health, Epub. — 2012. — URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22523504/> (accessed 20.11.2025). — doi: 10.1155/2012/472751.
3. Цейликман В. Э., Лукин А. А. Влияние окислительного стресса на организм человека [Электронный ресурс] // МНИЖ. — №3-1. — 2022. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-okislitelnogo-stressa-na-organizm-cheloveka> (дата обращения: 20.11.2025). — doi:10.23670/IRJ.2022.117.3.037.
4. Isoquinoline alkaloids isolated from *Glaucium corniculatum* var. *corniculatum* and *Glaucium grandiflorum* subsp. *refractum* var. *torquatum* with bioactivity studies / Saygi Tuba Tan, Nur Alim Toraman, Gülbahar Özge Gürer, Çağlayan Tugay, Osman Topcu, Gulacti // Pharmaceutical Biology. — 2023. — Vol. 61, NO. 1, P. 907–917. — doi: 10.1080/13880209.2023.2218881.

# ДИСТАНЦИОННЫЙ СПОСОБ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ПОМОЩИ БПЛА

К. А. Даниленко<sup>1</sup>, Д. А. Немущенко<sup>1</sup>, А. Е. Богуславский<sup>1,2</sup>,  
Д. А. Чинахов<sup>1</sup>, Н. В. Громов<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, k.danilenko.2023@corp.nstu.ru

<sup>2</sup>Институт геологии и минералогии имени В. С. Соболева СО РАН,

<sup>3</sup>Институт катализа имени Г. К. Борескова СО РАН,  
г. Новосибирск

*Разработан комплексный метод дистанционного мониторинга качества поверхности вод с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), оснащенных мультиспектральными камерами и системами автоматического пробоотбора. Метод основан на спектральном анализе, позволяющем идентифицировать взвешенные вещества, нефтяные пленки, хлорофилл и отдельные химические элементы (азот, фосфор) по их спектральным поглощениям. Акватория разбивается на секторы, в которых производится мультиспектральная съемка с фиксацией координат. Для анализа данных и построения карт концентраций загрязняющих веществ применяются алгоритмы искусственного интеллекта, устанавливающие связь между коэффициентом спектральной яркости и концентрацией.*

*This work presents an integrated method for remote monitoring of surface water quality using unmanned aerial vehicles (UAVs) equipped with multispectral cameras and specialized automatic water sampling systems. The method is based on spectral analysis, which enables the identification of suspended solids, oil films, chlorophyll, and nutrients (nitrogen, phosphorus) based on their specific spectral signatures. The water body is divided into sectors where multispectral imaging is performed with precise GPS coordinate logging. Artificial intelligence algorithms are employed for data analysis and mapping pollutant concentrations by establishing a correlation between the spectral reflectance coefficient and concentration. The integration of an automatic sampling system, geo-referenced to the imaging points, ensures data representativeness and reduces labor costs.*

Уже многие годы специалисты различных направлений занимаются изучением и мониторингом водных ресурсов. За последние 20 лет, на фоне стремительного изменения климата и ухудшения состояния окружающей среды, способы мониторинга и обследования наземных и водных ресурсов эволюционировали. Одним из важнейших прорывов стало использование новейших технологий, включая искусственный интеллект для обработки большого массива данных. Это повлияло как на увеличивающийся объем материалов, так и на качество, точность и разнообразие полученной информации. Упрощение процесса аналитики

данных, регрессионные модели и алгоритмы способствуют эффективному управлению водными ресурсами. А применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для мониторинга наземных и прибрежных территорий позволяет с высоты птичьего полета определять естественные и антропогенные объекты, наличие микрофлоры, движение рыб и следы загрязнений.

Метод, предложенный в данной работе, хорошо подходит для исследования малых водных объектов, основан на различиях в поглощающей способности различных химических соединений. Так взвешенные вещества наилучшим образом поглощают в тепловом инфракрасном ( $8\text{--}14\mu\text{m}$ ) и зеленом спектрах ( $560 \pm 10$  нм), нефтяные пленки и жиры могут быть обнаружены на ближнем ИК ( $840 \pm 10$  нм) и красном спектре ( $668 \pm 10$  нм), хлорофилл хорошо различим на зеленом ( $560 \pm 10$  нм) и красном спектрах  $668 \pm 10$  нм), а электроны азота и фосфора переходят на другие энергетические уровни при облучении светом зеленого ( $560 \pm 10$  нм), красного ( $668 \pm 10$  нм) и синего ( $475 \pm 10$  нм) спектров [1].

Акватория водоема разделяется сеткой на квадраты (рис. 1) в зависимости от высоты полета БПЛА и пространственного разрешения камеры. В центре каждого квадрата при помощи мультиспектральной камеры производится снимок, точные географические координаты автоматически фиксируются с целью определения точного места для дальнейшего пробоотбора (рис. 1).



Рис. 1 – пространственная сетка полета БПЛА



Рис. 2 – снимки со спутника Sentinel-2A (пространственное разрешение 10м, зеленый диапазон)

После получения снимков с мультиспектральной камеры по результатам анализа составляется график зависимости коэффициента спектральной яркости от концентрации (рис. 2), после чего искусственный интеллект автоматически перекрашивает каждый пиксель снимка, сопоставляя его оттенок с определенным

коэффициентом КСЯ, а затем по графику определяя концентрацию химического вещества (Рис. 3) [2].

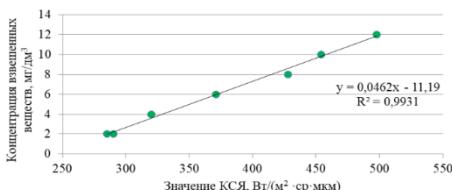


Рис. 3 – график зависимости КСЯ от концентрации взвешенных веществ в выбросах целлюлозно-бумажного комбината



Рис. 4 – система отбора проб воды с дронов в режиме BVLOS Speedip mounted on DJI M300 [3]

Для обеспечения максимальной точности соответствия места отбора проб и проведения съемки и удешевления процесса пробоотбора предлагается использовать систему отбора проб при помощи БПЛА с автоматической привязкой к точкам съемки (рис. 4).

Представленная методика дистанционного мониторинга с использованием БПЛА и мультиспектральной съемки демонстрирует высокую эффективность для оперативной оценки качества поверхностных вод. Комплексный подход, сочетающий аэрофотосъемку, спектральный анализ и применение алгоритмов искусственного интеллекта, позволяет с высокой точностью идентифицировать и картографировать различные загрязняющие вещества. Интеграция системы автоматического пробоотбора с привязкой к координатам съемки оптимизирует процесс, обеспечивая репрезентативность данных и снижая трудозатраты. Данная технология открывает перспективы для создания масштабируемой системы экологического контроля, особенно для труднодоступных малых водных объектов.

#### Литература:

1. Arango J. G., Nairn R. W. Prediction of optical and non-optical water quality parameters in oligotrophic and eutrophic aquatic systems using a small unmanned aerial system // Журнал Drones 2020, 4, 1; doi:10.3390.
2. Шишгин И. А., Бархуев Х. О., Жильникова Н. А., Березина А. А., Смирнова В. О. Методы и средства дистанционной идентификации показателей качества воды в водном объекте с применением беспилотных летательных аппаратов // Monitoring systems of environment No 1 (55) 2024; DOI: 10.33075/2220-5861-2024-1-62-70.

3. AEROMOTUS. Speedip — устройство для забора образцов воды и других жидкостей. [Электронный ресурс]. - URL: <https://aeromotus.ru/product/speedip/> (дата обращения: 17.11.2025).

## **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА ГОРОДА НОВОСИБИРСКА**

**Е. В. Дубровских, В. В. Костюк**

**Новосибирский государственный университет**

**экономики и управления «НИИХ»,**

**г. Новосибирск, e.n.loseva@edu.nsuem.ru**

**Научный руководитель: Лосева Е. Н., к.т.н.**

*Город Новосибирск является одним из крупнейших городов России и имеет важное экономическое, культурное и социальное значение для страны. Однако качество воздуха в городе Новосибирске остается одной из его самых острых проблем. За последние десять лет режим неблагоприятных метеорологических условий, известный как «черное небо», стал привычной частью жизни горожан. В данной статье приводится анализ динамики изменения ситуации с 2014 по 2025 год, основанный на официальных докладах и результатах мониторинга окружающей среды.*

*The city of Novosibirsk is one of the largest cities in Russia and holds significant economic, cultural, and social importance for the country. However, the quality of air in Novosibirsk remains one of its most pressing issues. Over the past decade, the adverse weather conditions known as "black skies" have become a common occurrence in the city. This article provides an analysis of the dynamics of changes in the situation from 2014 to 2025, based on official reports and environmental monitoring results.*

В 2014 году были утверждены новые правила установления режимов неблагоприятных метеорологических условий (НМУ) [1]. Неблагоприятные метеорологические условия – это особые погодные явления, которые отражаются в атмосфере, ощущаются физически на здоровье граждан и окружающей среде.

Город Новосибирск занимает территорию площадью 502,7 кв. км. в котором проживает более полутора миллионов человек. Однако экологическая обстановка города-миллионника в последние годы ухудшается, количество дней с объявленным режимом «черного неба» постепенно растет: с 12 дней в 2014 году до 40 в 2025-м. Основными источниками загрязнения являются автомобильный транспорт и выбросы от угольных ТЭЦ.

В 2014 году начала формироваться сеть стационарных постов наблюдения. К концу 2016 года их количество достигло 8 единиц. Мониторинг проводился по 12 основным загрязняющим веществам, включая диоксид азота, формальдегид и взвешенные частицы. К 2019 году количество постов наблюдения увеличилось до 10.

В 2021 году Министерство природных ресурсов и экологии Новосибирской области опубликовало данные, согласно которым концентрация бензапирена в воздухе Новосибирска регулярно превышала предельно допустимую концентрацию в 2-3 раза. Это вещество обладает канцерогенным действием и накапливается в организме [2].

2023 год стал одним из самых неблагоприятных по количеству дней с режимом «черного неба» – их было зафиксировано 40. Рост показателей связан с несколькими факторами: увеличением парка автомобилей, работой ТЭЦ в прежнем режиме и неблагоприятными метеорологическими условиями. Далее представлена таблица по режиму неблагоприятных метеорологических условий по сравнению с другими городами за 2023 год (Таблица 1).

**Таблица 1 – Сравнение количества дней по режиму неблагоприятных метеорологических условий**

Город	Количество дней НМУ	Место в антирейтинге
Красноярск	52	1
Новосибирск	40	3
Омск	32	4
Кемерово	45	2

В 2024 года продолжается работа по расширению сети мониторинга. А в 2025 году режим «черное небо» жители города Новосибирск ощутили физически. На данный момент режим НМУ продлился около 40 дней, но стоит отметить, что в сентябре текущего года режим был продлен с 19 сентября до 26 октября.

Местные новостные информационные ресурсы пестрят заголовками о продлении режима «черного неба» в Новосибирске, из чего следует что территория города еще долгое время будет принимать на себя удар от негативного антропогенного воздействия (рисунок 1).

Анализ ситуации с качеством воздуха в Новосибирске за последнее десятилетие показывает устойчивую негативную динамику. Несмотря на принимаемые меры, проблема «черного неба» остается актуальной. Основные источники загрязнения четко идентифицированы – это автомобильный транспорт и угольные ТЭЦ.

Для кардинального улучшения ситуации необходимы системные решения: ускорение модернизации системы теплоснабжения, развитие электрического транспорта и ужесточение экологических требований к

промышленным предприятиям. Реализация существующих планов требует более активного темпа и дополнительного финансирования.



Рис. 1 – Фото города Новосибирска в период режима «черного неба» [3]

Проблема чистого воздуха продолжает оставаться одним из ключевых вызовов для городской среды Новосибирска. Ее решение напрямую связано с качеством жизни и здоровьем будущих поколений горожан.

Система мониторинга расширяется, но этого недостаточно для решения проблемы на глобальном уровне, так как для этого необходимы комплексные меры, применяемые в том числе государством, крупными и мелкими предприятиями, жителями, сокращая процент пользования личным транспортом.

#### Литература:

1. Об утверждении порядка предоставления специализированного прогноза неблагоприятных метеорологических условий, требований к составу и содержанию такого прогноза, размера и порядка взимания платы за подготовку и предоставление специализированного прогноза неблагоприятных метеорологических условий: Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 10.09.2025 № 477 [Электронный ресурс]. – URL: [publication.pravo.gov.ru/document/0001202511100014?ysclid=mi4b1e9kdx667111970](https://publication.pravo.gov.ru/document/0001202511100014?ysclid=mi4b1e9kdx667111970) (дата обращения: 23.11.2025).
2. Министерство природных ресурсов и экологии Новосибирской области: офиц. сайт [Электронный ресурс]. – URL: <https://mpr.nso.ru/?ysclid=mi4b3bwakj47486184> (дата обращения: 21.11.2025).
3. Сетевое издание «RuNews24.ru – круглосуточная служба новостей»: офиц. сайт [Электронный ресурс]. – URL: <https://runews24.ru/novosibirsk/19/09/2025/v-novosibirske-obyavili-rezhim-chernogo-neba> (дата обращения: 263.11.2025).

4. Сетевое издание «Новосибирские новости» офиц. сайт [Электронный ресурс]. – URL: <https://nsknews.info/materials/rezhim-chyernogo-neba-obyavili-do-vechera-28-noyabrya-v-novosibirske/> (дата обращения: 28.11.2025).

## **ВЛИЯНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ УРАНОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА РАДИАЦИОННУЮ ОБСТАНОВКУ В ЛАНДШАФТАХ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ**

**А. В. Константинов**

**Новосибирский государственный технический университет,  
Новосибирск, konstanalex23@gmail.com**  
**Научный руководитель Удальцов Е. А., к.в.н.**

*Проведено радиационно-экологическое обследование природных ландшафтов на территории г. Новосибирска и его окрестностей, подверженных влиянию объектов «уранового наследия». В ходе полевых исследований методом пешеходной гамма-съемки выявлены два участка с значительным (более чем в 100 раз) превышением мощности амбиентного эквивалента дозы (до 30 мкЗв/ч) над фоновыми значениями.*

*A radiation-ecological survey of natural landscapes in the city of Novosibirsk and its suburbs, affected by "uranium legacy" sites, was conducted. Field studies using the pedestrian gamma survey method revealed two sites with a significant (more than 100 times) excess of the ambient dose equivalent rate (up to 30  $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) over background levels.*

В настоящее время природные радионуклиды, в частности изотопы урана и тория, извлекаемые из земных недр, представляют собой существенные источники радиоактивного загрязнения природной среды. Значительные выбросы радионуклидов в окружающее пространство происходят в районах функционирования организаций ядерного топливного цикла, а также на объектах, относящихся к выведенным из эксплуатации предприятий по добыче и переработке урановых руд [1,2]. В зонах накопления радиоактивных веществ воздействию ионизирующего излучения подвергаются не только компоненты экосистем, но и население, проживающее вблизи таких объектов. На территории России ключевыми источниками поступления изотопов урана в окружающую среду выступают горнодобывающие предприятия (преимущественно использующие открытый способ разработки), а также комбинаты по переработке сырья и изготовлению ядерного топлива. Существующие объекты радиоактивного загрязнения подобного типа сформировались в основном во второй половине XX столетия, и большинство из них в настоящее время уже не эксплуатируется.

Целью настоящей работы являлась оценка степени радиоактивного загрязнения природных ландшафтов в границах города Новосибирска и прилегающих территорий. В ходе необходимо решить следующие задачи: выполнить замеры мощности экспозиционной дозы на территориях исследуемых объектов, установить радионуклидный состав и концентрации радионуклидов в отобранных пробах.

При выполнении исследований применялось специализированное оборудование для выполнения дозиметрического и радиометрического контроля. Измерения мощности амбиентного эквивалента дозы и поисковая гамма-съемка проводились с использованием дозиметров-радиометров МКС-01СА1М, RadiaCode-101 и радиометра СРП-68-01 [3]. В процессе маршрутной гамма-съемки на изучаемых полевых участках были зарегистрированы аномалии, превышающие уровень естественного радиационного фона, что потребовало выполнения измерений плотности потока радона (ППР). Замеры ППР осуществлялись радиометром радона РРА-01М-01 «АльфаРад», оснащенным пробоотборным устройством ПОУ-04, в соответствии с методикой экспресс-измерения плотности потока изотопа  $^{222}\text{Rn}$  с поверхности грунта с применением радиометра радона типа РРА [4].

В результате выполнения пешеходной гамма-съемки местности были обнаружены две зоны с аномальными показателями радиационного фона, расположенные в промышленной части г. Новосибирска и в пригородном лесном массиве. В отдельных точках обследования мощность дозы достигала 30 мкЗв/ч, что более чем в 100 раз превышает допустимые фоновые уровни [5].

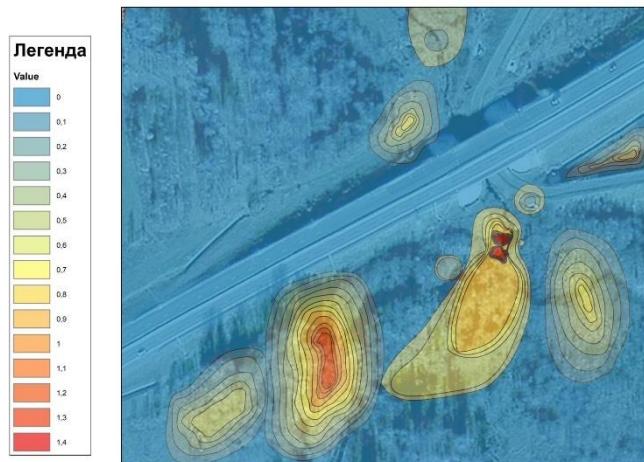


Рис. 1 – Карта-изолиний МАЭД лесного массива (мкЗв/Ч)

Замеры плотности потока радона на идентифицированных участках продемонстрировали значения в интервале от 292 до 24089  $\text{мБк}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ . Подобная интенсивность экскhalяции радона с поверхности грунта свидетельствует о наличии в нем значительных концентраций  $^{238}\text{U}$  и его дочерних продуктов распада (ДПР), включая изотоп  $^{226}\text{Ra}$ . На загрязненной территории в лесном массиве было отобрано 5 проб воды из протекающего там ручья. Содержание изотопа  $^{222}\text{Rn}$  в воде не превысило установленного норматива в 60  $\text{Бк}/\text{л}$  [5], составив максимум 37  $\text{Бк}/\text{л}$ . На двух указанных загрязненных участках были отобраны пробы почвы, растительности и грибов для определения их радионуклидного состава и удельной активности. Анализ содержания радионуклидов выполнялся в лаборатории радиационного контроля (ФБУ ВНИИЛМ, г. Пушкино) на гамма-спектрометрическом комплексе с полупроводниковым HPGe-детектором (BSI, Латвия) и программным обеспечением SpectralLineBG (ЛСРМ, Россия) [6]. Всего в ходе полевых работ было собрано 50 проб почв, 15 проб растений и 6 проб грибов.

В почвенных пробах было установлено повышенное содержание радионуклидов, относящихся к ряду распада  $^{238}\text{U}$ . Удельная активность  $^{226}\text{Ra}$  в почвах изменялась от 64 до 15000  $\text{Бк}/\text{кг}$ , при этом среднее значение по всем образцам составило 2940  $\text{Бк}/\text{кг}$ . Среди грибов наблюдается четкая зависимость накопительной способности (коэффициент накопления, Кн) от их вида. На лесном участке наибольшей способностью к аккумуляции радия обладали опята (3100  $\text{Бк}/\text{кг}$ , Кн=0,65) и ложные опята (790  $\text{Бк}/\text{кг}$ , Кн=0,49). Наименьшая способность к накоплению была зафиксирована у трутовиков (130  $\text{Бк}/\text{кг}$ , Кн=0,33), что объясняется их произрастанием на стволах деревьев на высоте более 1 метра. Среди образцов растительности высокой аккумуляцией радия отличались побеги костянки (1660  $\text{Бк}/\text{кг}$ , Кн=0,69), растения нижнего яруса (1200  $\text{Бк}/\text{кг}$ , Кн=0,72) и мох гилокомпум (900  $\text{Бк}/\text{кг}$ , Кн=0,61). Минимальное накопление отмечено в побегах и плодах шиповника (120  $\text{Бк}/\text{кг}$ , Кн=0,25). Древесная растительность характеризовалась значительно более низкими значениями Кн. Наибольшие значения выявлены в коре березы (450  $\text{Бк}/\text{кг}$ , Кн=0,18). В пробах коры и древесины других пород деревьев (осина, тополь, клен) удельная активность варьировалась от 130 до 350  $\text{Бк}/\text{кг}$  при Кн не выше 0,15. Низкие значения удельной активности и коэффициентов накопления у деревьев обусловлены поверхностным характером загрязнения и расположением их корневой системы ниже загрязненного слоя почвы.

Проведенное исследование убедительно подтверждает наличие на территории Новосибирска и его пригородной зоны локальных участков с

интенсивным радиоактивным загрязнением, связанным, по всей видимости, с объектами «уранового наследия». Инструментально зафиксированы аномалии, где мощность дозы превышает допустимый фон более чем в 100 раз, что свидетельствует о серьезном характере загрязнения. Лабораторный гамма-спектрометрический анализ и экстремально высокие значения плотности потока радона однозначно указывают на техногенный радий-226 ряда урана-238 в качестве основного источника. Изучение миграции радионуклидов в экосистемах выявило четкую видоспецифическую способность биоты к аккумуляции, при этом наибольшей накопительной способностью обладают определенные виды грибов, такие как опята, и растения нижнего яруса, например, костяника, что позволяет рассматривать их в качестве эффективных биоиндикаторов. В отличие от них, древесная растительность демонстрирует значительно меньшие коэффициенты накопления, что объясняется глубинным залеганием ее корневой системы ниже поверхностного загрязненного слоя.

#### Литература:

1. Титов А. В., Шандала Н. К., Бельских Ю. С., Серегин В. А., Дороньева Т. А., Филонова А. А., Семенова М. П., Гущина Ю. В., Павленко-Михайлов Ю. Н. Радиационная обстановка на территории площадки уранового наследия в пади Бамбакай (Забайкальский край) // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 3. С. 72–81.
2. Манахов Д. В., Егорова З. Н. Формы нахождения радия226 в подзолах северовостока острова Сахалин в зоне влияния нефтедобывающего предприятия // ПОЧВОВЕДЕНИЕ, 2014, № 6, с. 744– 749.
3. МР 2.6.1.0361–24. Радиационный контроль земельных участков, предназначенных под строительство жилых домов, зданий и сооружений общественного и производственного назначения, а также прилегающей к зданиям и сооружениям территории и территории общего пользования. утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 24 декабря 2024 г.
4. Методика экспрессного измерения плотности потока  $^{222}\text{Rn}$  с поверхности земли с помощью радиометра радона типа РРА. ЦМИИ ГП ВНИИФТРИ. 1998. 21 с.
5. СанПиН 2.6.1.2523–09. "Нормы радиационной безопасности НРБ–99/2009". М.; Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиены, сертификации и экспертизы Минздрава России, 2009. 114 с.
6. МР 2.6.1/2.3.7.0216-20. 2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. 2.3.7. Состояние здоровья населения в связи

с состоянием питания. Радиохимическое определение удельной активности природных радионуклидов в пробах пищевой продукции, почвы, других объектов окружающей среды и биопробах" (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 22.09.2020).

**ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ  
ЭЛЕМЕНТОВ В СИСТЕМЕ «ПОЧВА-ЛАБАЗНИК  
ВЯЗОЛИСТНЫЙ (FILIPENDULA ULMARIA (L) MAXIM.)»  
ПОД ВЛИЯНИЕМ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ  
(НА ПРИМЕРЕ Г.ОСИННИКИ, КЕМЕРОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

**К. С. Масленникова**

**Томский политехнический университет, г. Томск, ksm12@tpu.ru**

**Научный руководитель: Агеева Е. В., к.г.-м.н., ст.преп.**

*Работа посвящена оценке воздействия угледобывающего предприятия на состояние компонентов окружающей среды. Проведён анализ элементного состава системы «почва-растение», обусловленного особенностями экологогеологической обстановки г. Осинники, Кемеровская область.*

*This article assesses the impact of a coal mining enterprise on environmental components. An analysis of the elemental composition of the soil-plant system, determined by the ecological and geological conditions of Osinniki, Kemerovo Region, is conducted.*

Во многих городах России и мира экологическая обстановка близка к критической. Основные источники загрязнения – промышленные предприятия и транспорт [1]. Кемеровская область – Кузбасс является промышленным регионом, где основу экономики составляют предприятия топливно-энергетического и металлургического комплексов [2]. Топливный комплекс представлен угледобывающими предприятиями. Угольная отрасль оказывает значительное негативное воздействие на окружающую среду, приводя к её загрязнению и нарушению. Добыча угля в Кузбассе составляет 40% от добываемого объёма в России, при этом функционирование шахт и разрезов сопровождается химическим загрязнением компонентов окружающей среды [3].

Угольная промышленность является градообразующей в городе Осинники, располагающемся на юге Кемеровской области в 25 км к юго-востоку от Новокузнецка. В его черте разрабатывается Осиновское каменноугольное месторождение углей марок Ж и КЖ, действуют ремонтно-механический завод и автобаза ОАО УК «Южкузбассуголь»,

Осинниковское пассажирское автотранспортное предприятие, предприятия пищевой промышленности. Территория города имеет разнообразное геологическое строение: оно формировалось в нижней и средней юре, верхней перми. На большей части города располагаются угольные пласты, имеется линия тектонического контакта [4].

Наиболее информативными индикаторами состояния окружающей среды являются почва и растительность, при этом почва отражает долговременное техногенное воздействие, так как является физико-химическим барьером [5]. Растения обладают высокой способностью накопления широкого ряда химических элементов, что и способствует их повсеместному применению в качестве индикаторов состояния окружающей среды [6-8]. Распределение химических элементов в растениях позволяет лучше понять механизмы трансформации и миграции веществ в природных сообществах и оценить влияние антропогенных факторов на биогеохимические процессы.

Материалом для исследования была выбрана надземная часть лабазника вязолистного (*Filipendula ulmaria (L.) Maxim*) и верхний плодородный слой почвы.

Пробы лабазника и почвы отбирались летом 2023 и 2024 гг. в соответствии с ГОСТ 24027.0-80 и ГОСТ 17.4.4.02-2017. Количественное содержание химических элементов определялось с помощью инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА). Материал, отобранный и проанализированный лично автором в период с 2023 по 2024 гг. составил 44 пробы почв, 44 пробы лабазника вязолистного (*Filipendula ulmaria (L.) Maxim*). Обобщенный материал исследований, проведенных ранее сотрудниками отделения геологии составил: 42 пробы почвы, 117 проб лабазника вязолистного (*Filipendula ulmaria (L.) Maxim*).

Для выявления специфично накапливающихся элементов были рассчитаны коэффициенты концентрации химических элементов в почве, определённые относительно средних геометрических значений содержания элементов по Кемеровской области [8]. Анализ полученных данных показал, что в почвенном покрове отмечается повышенная концентрация таких элементов, как Ca, Cr, Sb, Nd, Sm, Tb, Ta.

Карты-схемы отражают особенности распределения химических элементов в почве на территории г. Осинники (рис. 1). Почти на всей территории города наблюдается накопление Cr в почве, что может быть связано с печным отоплением, преобладающим в городе. Также его высокое содержание видно вдоль автодорог, технологических дорог шахты Осинниковской и рядом с терриконами. Точки с высоким содержанием Nd приурочены к технологической дороге шахты

Осинниковской, отвалу пустой породы и железной дороге. Та концентрируется в почве рядом с технологическими дорогами и отвалом пустой породы.

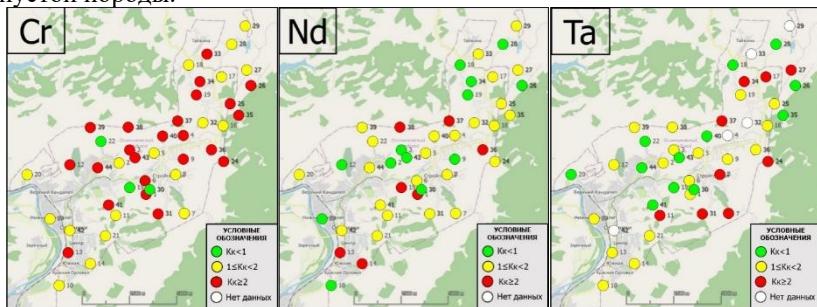


Рис. 17 – Карты-схемы распределения химических элементов в почве на территории

Анализ коэффициентов концентрации химических элементов в лабазнике вязолистном (*Filipendula ulmaria* (L) Maxim) (относительно средних геометрических значений содержаний элементов по Кемеровской области [8] показал, что накапливаются следующие элементы: Ca, Sc, Fe, Zn, Cs, Ba, Hf, Th, и большинство анализируемых лантаноидов (La, Ce, Nd, Tb, Yb, Lu).

По картам-схемам (рис. 2), отмечаются наиболее высокие содержания элементов (Sc, Cs, Fe, Tb, Hf) вдоль технологических дорог шахты Осинниковской (точки №24, 32, 37, 38, 39). Особенно сильно концентрирование Ca происходит в лабазнике вязолистном (*Filipendula ulmaria* (L) Maxim), растущем по берегам водоёмов (точка 29 располагается на дамбе бывших отстойников шахтных вод шахты Тайжина, 42 – на берегу р. Шурак). Рядом с отвалом пустой породы шахты Осинниковской (точка №36) наблюдается накопление Sc, Fe, Cs. В точке №15, приуроченной к несанкционированной свалке, концентрируются Cs и Ba. Вдоль железной дороги наблюдаются повышенные содержания Sc, Cs, Fe, Tb, Hf (точки №20, 23, 42, 13, 10).

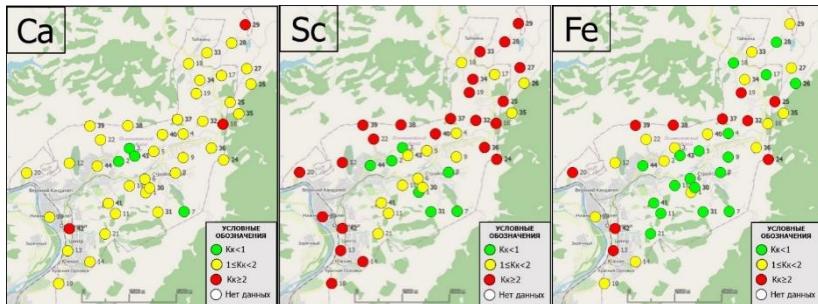


Рис. 18 – Карты-схемы распределения химических элементов в лабазнике вязолистном (*Filipendula ulmaria* (L) Maxim)

При анализе влияния техногенных объектов большую индикаторную роль играют соотношения редкоземельных элементов.

В почве по La/Ce и La/Yb отношению выделяются участки как с низким содержанием этих элементов, расположенные в почвах рядом с водоёмами, котельной, так и с высоким – в зоне тектонического контакта. По соотношению Th/U в почве выделяются участки, находящиеся на линии тектонического контакта, где отмечаются высокие содержания этих элементов.

В лабазнике вязолистном (*Filipendula ulmaria* (L) Maxim) по La/Ce, La/Yb и Th/U отношению выделяются участки, подверженные влиянию технологических дорог и террикона шахты Осинниковской (19, 24, 32, 37, 38, 39). Истоки р. Семенова и притока р. Кандалеп берут свои истоки у 39 и 38 точек соответственно, находящихся рядом с технологической дорогой, поэтому в их водах могут содержаться осаждающиеся частицы дорожной и угольной пыли. Все выделяющиеся точки характеризуются высокими коэффициентами концентраций.

Таким образом, на содержание химических элементов в системе «почва – лабазник вязолистный (*Filipendula ulmaria* (L) Maxim)» оказывают влияние как естественные, так и техногенные процессы. На содержание элементов в почве оказывают влияние различные факторы: концентрирование Cr может быть связано печным отоплением и автодорогами, Sb концентрируется у железной дороги, Nd, Ta – у технологических дорог и терриконов, Th и U предположительно, в зоне тектонического нарушения.

В лабазнике вязолистном (*Filipendula ulmaria* (L) Maxim) большинство элементов (Sc, Cs, Fe, Tb, Hf, РЗЭ, Th и U) концентрируются на участках, подверженных пылению технологических дорог шахты, отвалов пустых пород (точки №19, 20, 24, 32, 37, 38, 39). Высокие коэффициенты

концентрации Ca, Sc, Cr, Sr, Yb отмечаются в растении у бывших отстойников шахтных вод шахты Тайжина.

Следовательно, главным источником техногенного воздействия на окружающую среду в г. Осинники являются угледобывающие предприятия.

Литература:

1. Жорняк Л. В. Эколого-геохимическая оценка территории г. Томска по данным изучения почв: дисс. ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.36. – Томск, 2009. – 205 с.
2. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса в 2024 году. – Кемерово, 2025. – 205 с.
3. Исследование и оценка воздействия угольной шахты на окружающую среду / А. Е. Воробьев, В. С. Побыванец, Ж. Ю. Абдулатипов, Е.В. Чекушина, А.Т. Роман, А.В. Синченко // Вестник Российской университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. – 2011. – № 4. – С. 75-79.
4. Геологическая карта: N-45-XXII. Геологическая карта СССР. Серия Кузбасская, масштаб: 1:200000, серия: Кузбасская / ред. Васючихев П.Н. – Западно-Сибирское геологическое управление – 1960 г.
5. Kabata-Pendias A., Mukherjee A.B. Trace Elements from Soil to Human. – Berlin: Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co. KG, 2007. – 550 р.
6. Бускунова Г. Г. Особенности содержания тяжёлых металлов в дикорастущих видах растений на фоновых территориях Республики Башкоростан // Экология родного края: проблемы и пути их решения. Киров, 2022. – С. 313-317.
7. Бараповская Н. В. Закономерности накопления и распределения химических элементов в организмах природных и природно-антропогенных экосистем: автореф. дис. ... д-ра биол. Наук: 03.02.08. – Томск, 2011. – 46 с.
8. Агеева Е. В. Редкоземельные и радиоактивные (Th, U) элементы в компонентах природной среды как индикаторы эколого-геохимических обстановок (на примере Томской и Кемеровской областей): дис. канд. геол.-мин. наук: 1.6.21. – Томск, 2022 – 144 с.

# ПСИХОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ РАБОТЫ СПЕЦИАЛИСТА ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ И ОХРАНЕ ТРУДА ПРИ УГРОЗЕ ТЕРРОРИЗМА

А. В. Тысячная

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, tysyachnaya.2024@stud.nstu.ru

Научный руководитель: Гуськов А. В., д.т.н., доцент, ГДУ

Обосновывается актуальность изучения психологических аспектов работы специалистов по технике безопасности и охране труда при угрозе терроризма. Обосновывается связь психологической подготовки с профессиональной деятельностью специалистов по технике безопасности и охране труда при угрозе терроризма.

The relevance of studying the psychological aspects of the work specialists of safety and labor protection under the threat of terrorism is substantiated. The connection of psychological training with the professional activities of specialists of safety and labor protection in the face of the threat of terrorism is substantiated.

За период январь-сентябрь 2025 г. на территории Российской Федерации зафиксированы 4467 преступлений террористического характера, что на 75% больше по сравнению с аналогичным периодом прошлого года [1]:

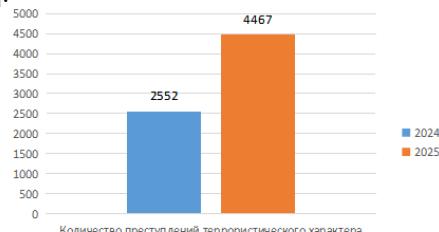


Рис. 1 – Динамика изменения числа преступлений террористического характера за 9 месяцев 2024-2025гг.

Роль специалистов по технике безопасности при угрозе и совершении террористических актов закреплена в нормативных документах и профессиональных стандартах, которые определяют их ключевую роль в предотвращении угроз, разработке планов реагирования и координации действий.

Основные статьи и функции специалистов:

- Федеральный закон от 06.03.2006 № 35-ФЗ «О противодействии терроризму»: Является базовым документом, определяющим правовую

основу деятельности всех структур, включая специалистов по безопасности на объектах.[2]

- Постановления Правительства РФ об антитеррористической защищенности: Утверждают конкретные требования к антитеррористической защищенности объектов различных категорий и формы паспортов безопасности. Ответственность за выполнение этих требований возлагается на руководителей организаций, которые, в свою очередь, назначают ответственных специалистов по безопасности.

- Профессиональный стандарт «Специалист по обеспечению антитеррористической защищенности объекта (территории)» (Приказ Минтруда от 27.04.2023 № 374н): Детализирует трудовые функции и обязанности этих специалистов.[3]

Таким образом, специалист по охране труда и технике безопасности (ОТиБ) выполняет не только технические и организационные функции, но и постоянно взаимодействует с людьми — сотрудниками, руководством, контролирующими органами. В условиях постоянного стресса, риска чрезвычайных ситуаций и психологического давления эффективность его работы во многом зависит от уровня психологической подготовки. Психологическая устойчивость, коммуникативные навыки, способность к эмпатии и управлению конфликтами становятся неотъемлемыми компонентами профессиональной компетентности.

Функциональная карта профессионального стандарта для специалиста по охране труда при угрозе терроризма включает в себя следующие функции:

- Участие в разработке и актуализации Плана антитеррористической защищённости (ПАЗ) объекта.

- Проведение анализа уязвимости объекта к террористическим угрозам (совместно с ответственными службами).

- Организация и проведение инструктажей и тренировок по действиям персонала при угрозе терроризма.

- Контроль за соблюдением требований антитеррористической защищённости в рамках охраны труда.

- Разработка и внедрение инструкций и памяток по действиям при обнаружении подозрительных предметов, угрозах по телефону, эвакуации и т.д.

- Обеспечение психологической безопасности работников в условиях угрозы и после ЧС.

- Участие в комиссиях по антитеррористической защищённости и взаимодействие с правоохранительными органами.

- Контроль за состоянием и доступностью путей эвакуации, средств оповещения и связи.

- Организация первичной психологической, а также первой помощи пострадавшим при террористическом акте.

- Ведение документации по мероприятиям антитеррористической направленности в рамках ОТ.

Таким образом, функциональная карта профессионального стандарта специалиста по охране труда при угрозе терроризма подчёркивает, что в современных условиях безопасность труда не ограничивается только производственными рисками. Она охватывает комплексную безопасность, включая защиту от террористических угроз, психологическое благополучие и готовность к ЧС. Это требует от специалиста по ОТ междисциплинарной компетентности и тесного взаимодействия с другими службами безопасности. Не стоит забыть и про психологический аспект, не маловажный компонент.

Кроме багажа теоретических знаний и практических умений и навыков в профессиональной области специалисту в области техносферной безопасности (ТБ) необходимо обладать индивидуально-психологическими особенностями, относящимися к профессионально важным качествам, что обусловлено рутинной и экстренной работой в аварийных и чрезвычайных условиях. Одной из особенностей профессиональной деятельности специалиста по ТБ является готовность к широкому кругу обязанностей из области стрессогенного направления трудовой деятельности «человек – человек» наряду с общетрудовыми функциями.[5]

В условиях современных вызовов, включая угрозу терроризма, работа специалиста по охране труда и технике безопасности выходит за рамки задач, связанных с предупреждением производственного травматизма и профессиональных заболеваний. Сегодня такой специалист становится важным звеном в системе антитеррористической защиты организаций. Это обусловлено необходимостью обеспечения не только физической, но и психологической безопасности работников, предотвращения чрезвычайных ситуаций и минимизации последствий возможных террористических актов.

#### Литература:

1. Состояние преступности в Российской Федерации за январь - сентябрь 2025 года: Гос. доклад. М.: ФКУ «ГИАЦ МВД России», 2025. 64 с.
2. Федеральный закон от 06.03.2006 № 35-ФЗ «О противодействии терроризму» [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_58840/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_58840/) (дата обращения: 01.10.2025).

3. Профессиональный стандарт «Специалист по обеспечению антитеррористической защищенности объекта (территории)». Приказ Минтруда России от 27.04.2023 № 374н [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_448613/191168e6b031e2a67bea9f6ef3da221012920ff2/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_448613/191168e6b031e2a67bea9f6ef3da221012920ff2/) (дата обращения: 01.10.2025).

4. ГОСТ Р 12.0.007–2023 «Система стандартов безопасности труда. Управление охраной труда. Общие требования». – Введ. 01.03.2024. – М.: ФГБУ «РСТ», 2023. – III, 16 с.

5. Пискунова В. В. Психологическая устойчивость работника как компонент безопасности труда // Вестник Прикамского социального института. – 2025. – № 1 (100). – С. 94–98.

## **ЧТО ТАКОЕ ЗОЛООТВАЛЫ, КАК ОБРАЗУЮТСЯ, ЧТО СОДЕРЖАТ В СЕБЕ И КАК НОРМИРУЮТСЯ**

**А. В. Хозина**

**Новосибирский государственный университет**

**экономики и управления «НИИХ»,**

**г. Новосибирск, lina.xoz.12@gmail.com**

**Научный руководитель: Сидорова М. Ю., к.г.н., доцент**

*В работе рассматривается понятие золоотвалов и их источники возникновения, а также принципы работы данных объектов и их содержимое. Кроме того, рассматривается законодательная база, нормирующая данный вид сооружений и содержащиеся в них отходы на территории Российской Федерации.*

*The paper discusses the concept of ash dumps and their sources of occurrence, as well as the principles of operation of these facilities and their contents. In addition, the legislative framework regulating this type of facilities and the waste contained in them on the territory of the Russian Federation is being considered.*

Современная теплоэнергетика сталкивается с серьезной экологической задачей – необходимостью безопасного обращения с отходами, образующимися при работе ТЭЦ. Ключевым звеном в решении этой проблемы являются золоотвалы, предназначенные для размещения золошлаковых материалов. Понимание их устройства, состава отходов и нормативного регулирования крайне важно для минимизации негативного воздействия на природу.

Согласно определению ГОСТ Р 54098-2010, золоотвал представляет собой территорию, предназначенную для размещения (складирования или хранения) золошлаковых отходов, полученных при сжигании

топлива на теплоэлектростанциях и подобных промышленных объектах [1].

Иными словами, золоотвал – это гидротехническое сооружение (котлован/отстойник), где хранятся зола и шлак от сжигания, в нашем случае, угля на ТЭЦ [2].

Согласно Федеральному закону «Об отходах производства и потребления» под хранением отходов подразумеваются складирование отходов в целях утилизации, обезвреживания, захоронения, которое осуществляется в специализированных объектах [3].

Составляющим веществом золоотвалов являются золошлаковые отходы, которые представляют собой вторичные ресурсы, образующиеся при сжигании угля, которые после обработки, обезвреживания и получения сертификата соответствия пригодны для дальнейшего использования [1].

Состав данных отходов определяют технология сжигания и тип топлива, но независимо от них существуют основные компоненты. К ним относят:

- основная часть, содержащая химические вещества;
- остатки несгоревшего топлива;
- вода [4].

Принцип работы золоотвала основан на транспортировке золошлаковой пульпы гидравлическим методом по трубопроводам на отвал, где происходит естественное разделение компонентов отходов (тяжелые частицы оседают, а вода отделяется). К основным конструктивным элементам золоотвала можно отнести дамбы, подразделяющиеся на три вида: ограждающая, первичная, наращивания, которые и формируют отвал. Кроме того, золоотвалы оснащаются дренажными системами и очистными сооружениями для минимизации воздействия на окружающую среду. Также полученные в ходе деятельности золошлаковый материал частично цементируются, что повышает устойчивость сооружения [5].

Касательно нормирования и законодательного регулирования золоотвалов и, содержащихся в них, отходов основными можно назвать следующие законодательные документы, которые регулируют обращение с отходами и экологическую безопасность в целом: Федеральный закон № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» и Федеральный закон № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [6, 7].

Первый документ содержит ключевые понятия, такие как отходы производства, потребления и объекты их размещения, включая отходы ТЭЦ. Закон устанавливает общие требования к сбору, транспортировке,

утилизации и захоронению всех видов отходов, в том числе рассматриваемых нами [6].

Второй из упомянутых, а именно, №7-ФЗ регулирует нормирование воздействия на природу, включая допустимые пределы, и предусматривает ответственность за экологические нарушения, что крайне важно для безопасной эксплуатации золоотвалов [7].

Также важную роль играет Федеральный закон № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». Данный закон устанавливает требования к эксплуатации опасных производственных объектов, в число которых входят золоотвалы [8].

В связи с использованием воды в процессе работы ТЭЦ следует упомянуть и Водный кодекс. Он устанавливает требования к сбросу сточных вод, что напрямую касается эксплуатации золоотвалов [9].

Важен также и Земельный кодекс РФ, который регулирует земельные отношения, а именно выделение участков под размещение золоотвалов. Данный кодекс также устанавливает требования к целевому назначению земель, которые необходимо учитывать при эксплуатации подобных объектов [10].

Кроме того, с созданием, расположением и использованием золоотвалов связаны постановление Правительства РФ «Об утверждении Правил формирования и ведения государственного реестра объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду», приказ Минприроды «Об утверждении порядка учета в области обращения с отходами» и приказ Росприроднадзора от 26.07.2017 № 377 «Об утверждении порядка проведения учета объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду».

Таким образом золоотвал представляет собой специальный гидротехнический объект для складирования золошлаковых отходов, образующихся при сжигании топлива, в частности угля, на ТЭЦ. Их работа основана на гидравлическом транспорте пульпы и естественном разделении на твердую фракцию и воду. Состав отходов варьируется, но всегда включает химические вещества, остатки несгоревшего топлива и воду. Деятельность золоотвалов строго регламентируется экологическим и промышленным законодательством, включая законы «Об отходах производства» и «О промышленной безопасности». Ключевой задачей при эксплуатации является минимизация негативного воздействия на окружающую среду, что обеспечивается комплексом инженерных решений и правовых норм.

**Литература:**

1. ГОСТ Р 54098-2010. Ресурсосбережение. Вторичные материальные ресурсы. Термины и определения = Resources saving. Secondary material resources. Terms and definitions. – Введ. 2012-01-01. – М.: Стандартинформ, 2011. – 24 с.
2. Лежнина А. В. Золоотвалы как источник экологического загрязнения урбанизированных территорий // Инновационные технологии в сельском хозяйстве: Материалы II Международной научной конференции, Санкт-Петербург, 20–23 июля 2016 года. – Санкт-Петербург: Свое издательство, 2016. – С. 9-16.
3. Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 № 89-ФЗ (ред. от 31.07.2025 года).
4. Литовкин С. В. Изучение золошлаковых отходов для их использования в качестве вторичных ресурсов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 9(1). – С. 23-27.
5. Казакова Е. Г., Леканова Т. Л. Системы удаления и использования золы и шлака. – Сыктывкар: СЛИ, 2018. – 85 с.
6. Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 № 89-ФЗ (ред. от 31.07.2025 года).
7. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 26.12.2024 года).
8. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 № 116-ФЗ (ред. от 08.08.2024 года).
9. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 № 74-ФЗ (ред. от 31.07.2025 года).
10. Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 № 136- ФЗ (ред. от 31.07.2025 года).

# ИССЛЕДОВАНИЕ АБОРИГЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ В ОБРАЗЦАХ ПЕСКА С ПОБЕРЕЖЬЯ ЧЕРНОГО МОРЯ, ЗАГРЯЗНЕННОГО МАЗУТОМ

**А. О. Ширин<sup>1,2</sup>, Л. С. Адаменко<sup>2</sup>, А. М. Шестопалов<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup> Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск**

**<sup>2</sup> Федеральный исследовательский центр фундаментальной  
и трансляционной медицины,  
г. Новосибирск, alic.sho@yandex.ru**

**Научный руководитель: Елистратова Е. В.<sup>1</sup>, к. м. н., доцент**

*В данной работе объектом исследования являются микроорганизмы, выделенные из загрязненного мазутом песка с побережья Черного моря. Изучены их культуральные и морфологические признаки. Была произведена оценка выживаемости микроорганизмов в условиях загрязнения мазутом, у части микроорганизмов обнаружена способность к деструкции мазута.*

*This study focused on microorganisms isolated from fuel oil-contaminated sand along the Black Sea coast. Their cultural and morphological characteristics were studied. Their survival rate under fuel oil contamination was assessed, and some microorganisms were found to be capable of fuel oil degradation.*

В связи с продолжающимся загрязнением почв в результате деятельности нефтяной промышленности поиск новых экологических и безопасных методов биоремедиации от загрязнений нефтепродуктами остается важнейшей задачей [1].

Загрязнение нефтепродуктами окружающей среды приводит к серьезным последствиям для экосистем [2]. Так ущерб, нанесенный экосистеме Черного моря и всему Черноморскому побережью, в результате разлива мазута в декабре 2024 года в Керченском проливе является огромным [3].

На протяжении последних лет одним из перспективных направлений является разработка методов очистки компонентов экосистем от нефтепродуктов на основе штаммов микроорганизмов-деструкторов, полученных из естественной среды [4]. Данные методы имеют все шансы стать незаменимым инструментом решения подобной проблемы.

Целью работы является исследование микроорганизмов, выделенных из песка побережья Черного моря, загрязненного мазутом, их выживаемости и нефтедеструкционной способности.

Задачи:

1. Выделение микроорганизмов из загрязненного мазутом песка пляжа Анапы.

2. Изучение морфологических и культуральных признаков, выделенных бактерий.
3. Изучение нефтеразлагающей способности полученных бактерий.
4. Оценка способности к выживанию микроорганизмов в песке, загрязненным мазутом.
5. Создание коллекции выделенных микроорганизмов.

Материалом для исследования послужил песок, собранный на побережье вблизи г. Анапы Краснодарского края в феврале 2025 года, загрязненный мазутом в результате крушения двух российских нефтяных танкеров [2].

Микроорганизмы выделялись путем добавления дистиллированной и стерилизованной воды к пробам собранного песка. Полученный водный раствор с предполагаемыми микроорганизмами высевался на твердую питательную среду на основе агара [5]. В дальнейшем из полученных колоний были выделены чистые культуры, изучались их морфологические (отношение к окрашиванию по Граму, формы микроорганизмов) и культуральные (форма и размер колоний, поверхность, структура, цвет, пропускание света) свойства.

Для оценки выживаемости в образцах песка микроорганизмов с периодичностью один раз в 1- 14 дней в течение 1,5 месяца производили посев свежего водного раствора, получаемого вышеизложенным методом, на питательную среду.

Также в коммерческой лаборатории по стандартной методике проводился анализ динамики изменения концентрации нефтепродуктов, содержащихся в привезенном песке.

В результате выделения микроорганизмов из образцов загрязненного песка и посева полученного раствора на питательную среду Агар-агар было изначально получено двенадцать различных типов колоний бактерий, различающихся по своим культуральным свойствам. Микроскопическим методом с использованием окрашивания по Граму обнаружено, что большая часть выделенных колоний относятся к грамотрицательным коккам.

За 1,5 месяца высея образцов водного раствора бактериальное разнообразие колебалось от двенадцати до четырех различных типов колоний (рис. 1). К концу периода высея на питательной среде был обнаружен рост четырех типов колоний. Таким образом, только они продемонстрировали способность к выживанию в условиях загрязнения мазутом.

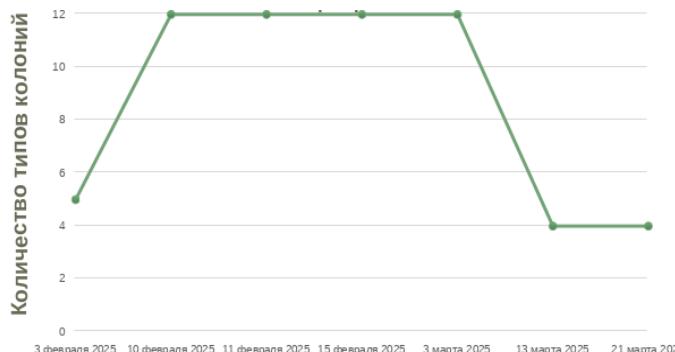


Рис. 1 – Динамика изменения количества типов колоний бактерий

Обнаружена тенденция к снижению уровня нефтепродуктов в образцах загрязненного песка с 3210 мг/кг до 940 мг/кг, что может свидетельствовать о присутствии микроорганизмов, обладающих способностью к деструкции мазута (рис. 2).

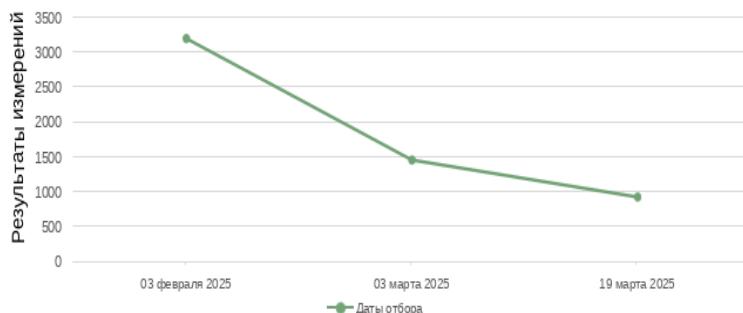


Рис. 2 – Динамика изменений концентрации нефтепродуктов в образцах

- Выделено 12 типов колоний микроорганизмов из водного раствора, приготовленного из песка, загрязненного мазутом.
- Из 12 типов колоний все микроорганизмы - грамотрицательные коки, за исключением 1 типа колоний, которые являлись грамположительными палочками.
- Наблюдалось снижение концентрации содержания мазута в образцах исходного песка от 3210 мг/кг до 940 мг/кг.
- По истечении 1,5 месяца обнаружен рост четырех типов колоний, сохранивших способность к выживанию в условиях загрязнения мазутом.

5. Создана коллекция аборигенных бактерий, выделенных из песка, загрязненного мазутом для дальнейших исследований.

За предоставленный материал для микробиологических исследований выражаем благодарность Глушкову А.В. - техническому директору ООО «Биоойл».

**Литература:**

1. Овинникова К. Н. Современное состояние нефтегазового комплекса России и его проблемы / К. Н. Овинникова // Вестник науки Сибири. — 2013. — №4 (10). — С. 156–161.
2. Влияние нефти и нефтепродуктов на различные компоненты окружающей среды (Хабиров И. К. Устойчивость почвенных процессов / И.К. Хабиров, И.М. Габбасова, Ф.Х. Хазиев; Акад. наук Респ. Башкортостан [и др.]. — Уфа: Изд-во Башкирского государственного аграрного университета, 2001. — 326 с. ил.; 21. — ISBN 5-7456-0062-4.)
3. Анапа мазут 2024 // Кубань 24 [Электронный ресурс]. - URL: <https://kuban24.tv/item/tag/anapa-mazut2024/page/54?ysclid=mhxhm2d5kg412792357> (дата обращения: 23.03.2025).
4. Тусупова Ж. Б. Эффективность очистки нефтезагрязненных почв с использованием микроорганизмов / Ж. Б. Тусупова, Д. Е. Мелдекул. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2022. — № 18 (413). — С. 522-524. — URL: <https://moluch.ru/archive/413/91003/> (дата обращения: 25.11.2024).
5. Лысак В. В. Микробиология. Практикум : пособие [Текст]/ В. В. Лысак, Р. А. Желдакова, О. В. Фомина. – Минск: БГУ, 2015 – 115 с. ISBN 978-985-566-201-4.

## **СОДЕРЖАНИЕ**

### **НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ – АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АВИАРАКЕТОСТРОЕНИЯ**

#### **Секция ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ПРОИЗВОДСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Абзалов Я. С.	Новосибирск	3
Кобылкин К. В.	Новосибирск	7
Маслов А. Ю.	Новосибирск	11
Семухин Р. И., Мешков А. А.	Новосибирск	14

#### **Секция ДИНАМИКА И ПРОСНОСТЬ МАШИН**

Анников И. Е.	Новосибирск	17
Воронин Н. О., Банщикова И. А.	Новосибирск	20
Газизов С. Р.	Новосибирск	23
Ерохин Г. Ю., Крюкова Я. С.	Новосибирск	26
Козырев Д. Д., Бурнышева Т. В., Ковальчук Л. М.	Новосибирск	29
Копылов В. М., Ковальчук Л. М., Бурнышева Т. В.	Новосибирск	33
Леонтьев Я. С., Крюкова Я. С.	Новосибирск	36
Самошкин С. А., Гунько К. С., Бурнышева Т. В.	Новосибирск	39

#### **Секция АЭРОДИНАМИКА И АЭРОУПРУГОСТЬ**

Бельтиков Е. А.	Новосибирск	43
Бондарев И. А., Яцких А. А.	Новосибирск	46
Бухтияров М. П.	Новосибирск	50
Дубовицкий Е. М., Павленко А. М., Занин Б. Ю., Алпацкий Н. С.	Новосибирск	54
Лазарев А. В., Бельтиков Е. А., Миськов И. С.	Новосибирск	58
Мороз Ф. А., Гильманов А. М.	Новосибирск	62
Морозов В. М.	Новосибирск	63
Протасов Л. И.	Новосибирск	66
Смяцких А. А.	Новосибирск	70

Супжанова А. Е.	Новосибирск	73
Черепанов А. Д.	Новосибирск	76
Черкашин Т. О., Крюков А. В.,	Новосибирск	80
Зверков И. Д., Мешков А. А.		

**Секция КОНСТРУКЦИЯ И ДЕЙСТВИЕ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ  
И БОЕПРИПАСОВ**

Абдразаков А. К., Гуськов А. В.	Новосибирск	86
Астафьев М. И.	Новосибирск	89
Вашетин А. В., Цыбрий А. И.,	Новосибирск	93
Зубашевский К. М.		
Герасименко Р. С.	Новосибирск	97
Гладков С. А., Цыбрий А. И	Новосибирск	102
Гуськов В. А., Зубашевский К. М.	Новосибирск	106
Кравченко И. Е., Цыбрий А. И.,	Новосибирск	111
Гуськов А. В.		
Макарова А. А.	Новосибирск	115
Новицкий А. Ю.	Новосибирск	118
Татаринов М. А.	Новосибирск	122
Шептунова А. А.	Новосибирск	124

**Секция БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
И ПРОИЗВОДСТВ**

Айкин Н. Д.	Новосибирск	129
Арцыбашева А. С.	Новосибирск	134
Бальжинимаев Е. Б.	Новосибирск	138
Беляев М. М.	Новосибирск	144
Ганнущенко В. М.	Новосибирск	146
Генрих А. А.	Новосибирск	153
Гурвиц Я. И.	Новосибирск	157
Дармажапова Ю. Б.	Новосибирск	163
Дмитриева Д. В.	Новосибирск	169
Игнатова А. С.	Новосибирск	172
Коваленко Т. А.	Новосибирск	176
Кривошеков В. В.	Новосибирск	180
Максимишин М. Н.	Новосибирск	183
Образцов А. А.	Новосибирск	186
Остапченко К. Е.	Новосибирск	189

Прокофьев П. Р.	Новосибирск	193
Трунова О. А.	Новосибирск	199
Трухин А. Е.	Новосибирск	204
Тысячная А. В.	Новосибирск	208
Тюшникова Д. А.	Новосибирск	212
Федотова А. А.	Новосибирск	216
Финаева Е. М.	Новосибирск	220
Чумакова А. В.	Новосибирск	225
Шафранов К. В.	Новосибирск	230
Шешуков Е. М.	Новосибирск	236

## НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ – ЭКОЛОГИЯ И ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

### Секция ТЕХНОЛОГИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Аликеев Н. А., Шляхов Т. С.	Томск	243
Алпеева Е. С., Кузяткина Д. П.	Новосибирск	247
Амbrasовская Е. П., Глотов А. П.,	Новосибирск, Москва	251
Тимофеева М. Н., Панченко В. Н.		
Беляева А. О., Болтенков В. В.,	Новосибирск	254
Пилигаев А. В., Громов Н. В.		
Хандышанова М. М.,	Томск	258
Клоков Н. В., Власова К. Г.		
Денисов Н. А., Черенков И. А.,	Новосибирск	261
Медведева Т. Б., Громов Н. В.		
Дюльдина У. А., Уденеева А. О.	Самара	264
Каверов Н. А., Андреев Д. А.,	Новосибирск	268
Панченко В. Н., Тимофеева М. Н.		
Маркова И. А.	Новосибирск	271
Меркурьева Н. А.	Новосибирск	275
Осипова Н. Д., Немущенко Д. А.	Новосибирск	278
Перебейнос А. А.,	Новосибирск	281
Черепанова К. С., Черенков И. А.,		
Медведева Т. Б., Громов Н. В.,		
Пармон В. Н.		
Полещук Н. Ю.	Новосибирск	284
Польских Д. А., Люлюкин М. Н.,	Новосибирск	288
Селищев Д. С.		

Родионова А. Е.	Новосибирск	291
Черепанова К.С., Солодкова М.В., Медведева Т.Б., Жужгов А. В., Громов Н. В.	Новосибирск	294
Стрельцова Д. А., Коваленко Е. Н., Васильев С. Д., Исмагилов И. З., Сухова О. Б., Матус Е. В., Хайрулин С. Р.	Новосибирск	297
Крюкова О. Г., Татаринова Т. В. Шарипова У. Р., Третьяк М. А.	Томск Екатеринбург	300 305
Каримов К. А.		

**Секция ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Болдырев Н.Р., Овчинникова Е.В., Верниковская Н.В.	Новосибирск	309
Дорохина Д.О., Гуровский В.В., Громов Н.В., Пармон В.Н.	Новосибирск	313
Ельсукова С.Н., Федосеева Ю.В. Канзафаров Д.А., Н.В.	Томск Новосибирск	317 319
Верниковская, В.А. Чумаченко Круглова М. С., Софонова С. М.	Санкт-Петербург	323
Лихоузова Э. В., Удальцов Е. А.	Санкт-Петербург	327
Петров А. В., Верниковская Н. В., Чумаченко В. А.	Новосибирск	330
Пискунов И. В., Жданова В. С., Громов Н. В., Шарафутдинова А. О., Романов Д. А.	Новосибирск	334
Ульдин И. С.	Новосибирск	339
Хайров Л. Е., Худяков Д. А., Ларичкин В. В., Громов Н. В.	Новосибирск	343
Цай И. Е.	Новосибирск	346
Яковлев Я. С., Балчугов Д. В.	Новосибирск	349

**Секция ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ  
И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА**

Бондарева А. Ю., Елистратова Е. В., Иванов И. Д.	Новосибирск	353
---	-------------	-----

Даниленко К. А., Немущенко Д. А., Богуславский А. Е., Чинахов Д. А., Громов Н. В.	Новосибирск	357
Дубровских Е. В., Костюк В. В.	Новосибирск	360
Константинов А. В.	Новосибирск	363
Масленникова К. С.	Томск	367
Тысячная А. В.	Новосибирск	372
Хозина А. В.	Новосибирск	375
Ширин А. О., Адаменко Л. С., Шестопалов А. М.	Новосибирск	379

**НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ**  
**Сборник научных трудов в 9 частях**

**г. Новосибирск, 08 декабря - 12 декабря 2025 г.**  
**Часть 9**  
**Под редакцией Захаровой Е. В.**

Подписано в печать 10.02.2026. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.  
Уч.-изд. л. 22,55. Печ. л. 24,25. Тираж 10 экз. Заказ №Р-05104  
Отпечатано в типографии  
Новосибирского государственного технического университета  
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20