



D. Serikbayev

**EKTU**



**EKTU  
ISTC**

XI Халықаралық ғылыми-техникалық конференция  
XI International scientific and technical conference

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ  
«Д.СЕРІКБАЕВ АТЫНДАҒЫ ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАН ТЕХНИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ» КЕАҚ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
НАО «ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Д. СЕРИКБАЕВА»

## «ЖАСТАР ШЫҒАРМАШЫЛЫҒЫ – ҚАЗАҚСТАННЫҢ ИННОВАЦИЯЛЫҚ ДАМУЫНА»

Профессор Жеңіс Оразханұлы Құлсейітовтың 80 жылдығына арналған студенттердің, магистранттар, докторанттар мен жас ғалымдардың XI Халықаралық ғылыми-техникалық конференциясының

### МАТЕРИАЛДАРЫ

10, 11 сәуір 2025 ж.

I бөлім

## «ТВОРЧЕСТВО МОЛОДЫХ – ИННОВАЦИОННОМУ РАЗВИТИЮ КАЗАХСТАНА»

### МАТЕРИАЛЫ

XI Международной научно-технической конференции студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых, посвященной 80-летию профессора

Кульсеитова Жениса Оразхановича

10 - 11 апреля 2025 г.

Часть I

Д. СЕРІКБАЕВ АТЫНДАҒЫ ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАН ТЕХНИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ  
D. SERIKBAYEV EAST KAZAKHSTAN TECHNICAL UNIVERSITY

ШҚТУ - БОЛАШАҚ БҮГІН БАСТАЛАДЫ  
EKTU - FUTURE STARTS TODAY



**EKTU**



## «CREATIVITY OF THE YOUNG IS INNOVATIVE DEVELOPMENT OF KAZAKHSTAN»

### MATERIALS

XI International Scientific and Technical Conference of Students, Undergraduates, Doctoral Students and Young Scientists dedicated to the 80th anniversary of Professor Zhenis Kulseitov

April 10 - 11, 2025

Part I

Өскемен \ Усть-Каменогорск \ Ust-Kamenogorsk  
2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ  
Д. СЕРІКБАЕВ АТЫНДАҒЫ ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАН  
ТЕХНИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ Д. СЕРИКБАЕВА

**«ЖАСТАРДЫҢ ШЫҒАРМАШЫЛЫҒЫ – ҚАЗАҚСТАННЫҢ  
ИННОВАЦИЯЛЫҚ ДАМУЫНА»**

Профессор Жәніс Оразханұлы Құлсейітовтың 80 жылдығына арналған  
студенттердің, магистранттар, докторанттар мен жас ғалымдардың  
XI Халықаралық ғылыми-техникалық конференциясының  
МАТЕРИАЛДАРЫ  
10, 11 сәуір 2025 жыл

I бөлім

**«ТВОРЧЕСТВО МОЛОДЫХ – ИННОВАЦИОННОМУ  
РАЗВИТИЮ КАЗАХСТАНА»**

МАТЕРИАЛЫ  
XI Международной научно-технической конференции  
студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых, посвященной  
80-летию Кульсеитова Жениса Оразхановича  
10, 11 апреля 2025 г.

Часть I

**«CREATIVITY OF THE YOUNG IS INNOVATIVE  
DEVELOPMENT OF KAZAKHSTAN»**

MATERIALS  
XI International Scientific and Technical Conference of Students, Undergraduates,  
Doctoral Students and Young Scientists dedicated to the 80th anniversary of Professor  
Zhenis Kulseitov  
April 10-11, 2025

Part I

Өскемен  
Усть-Каменогорск  
2025 г.

УДК 62  
ББК 30  
Ж 33

**Главный редактор:** к.т.н. С.Ж. Рахметуллина

**Зам. главного редактора:** к.э.н. Ж.Т. Конурбаева

**Редакционная коллегия:** PhD Байгереев С.Р., PhD Ескермесов Д.К., к.т.н. Мукашева Р.У., к.т.н. Реутова Г.А., старший преподаватель Төреханова М.Т.

Ж 33 **Жастардың шығармашылығы – Қазақстанның инновациялық дамуына:** Профессор Жеңіс Оразханұлы Құлсейітовтың 80 жылдығына арналған студенттердің, магистранттар, докторанттар мен жас ғалымдардың XI Халықаралық ғылыми-техникалық конф. материалдары, 10, 11 сәуір 2025 ж. = **Творчество молодых – инновационному развитию Казахстана:** Материалы XI Международной научно-технической конференции студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых, посвященной 80-летию профессора Кульсеитова Жениса Оразхановича, 10, 11 апреля 2025 г. – Өскемен: ШКТУ, 2025. – I б. – 268 б. – қазақша, орысша, ағылшынша.

**ISBN 978-601-208-862-5 (I б.)**

**ISBN 978-601-208-863-2**

В сборник материалов конференции вошли доклады и сообщения, отражающие влияние развития искусственного интеллекта на современную инженерию. Большое внимание уделено вопросам внедрения прогрессивных технологий: в механике, металлообработке и машиностроении; в металлургии и обогащении полезных ископаемых; в математике и вычислительной технике; в технической физике и материаловедении; в транспорте, транспортной технике и технологии.

Сборник рассчитан на студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых вузов.

УДК 62  
ББК 30

Печатается по разрешению редакционно-издательского совета университета.

**ISBN 978-601-208-862-5 (I б.)**

**ISBN 978-601-208-863-2**

© ВКТУ им. Д. Серикбаева, 2025

## СЕКЦИЯ «ВЛИЯНИЕ РАЗВИТИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА СОВРЕМЕННУЮ ИНЖЕНЕРИЮ»

**УДК 629.331**

Абеджанова А.С. (25-ДТТ-3з, ВКТУ), Муздыбаев М.С. (к.т.н., ВКТУ)

### СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ СМАРТ-ТЕХНОЛОГИЙ К РАЗВИТИЮ ГОРОДСКОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

***Аннотация.** Статья посвящена анализу роли смарт-технологий в повышении эффективности городского автомобильного транспорта, влияющие на безопасность, экологичность и инновации. Рассмотрены ключевые технологии, включая Интернет автомобилей (IoV), искусственный интеллект (AI) и интеллектуальные транспортные системы (ITS), их влияния на совершенствование организации дорожного движения с оптимизацией длительности цикла регулирования, повышения безопасности и снижение экологической нагрузки. Приведены примеры внедрения данных технологий в городах мира, а также их влияние на транспортную инфраструктуру и доступность. Особое внимание уделено перспективам интеграции смарт-технологий в транспортную технику для создания развитой транспортной среды.*

***Ключевые слова:** смарт-технологий, городской автомобильный транспорт, Интернет автомобилей (IoV), искусственный интернет (AI), интеллектуальные транспортные системы (ITS), безопасность, экологичность.*

Современные города сталкиваются с проблемами перегруженности улиц и дорог, что приводит к увеличению времени в пути и негативному воздействию на окружающую среду. Смарт-технологии предлагают решения для оптимизации городского автомобильного транспорта, повышения безопасности и снижения загрязнения окружающей среды. В данной работе рассмотрены основные направления применения смарт-технологий в городском транспорте и их эффективность.

Многие крупные города мира успешно внедряют смарт-технологии для управления транспортом. Например, в Сингапуре, Москве интеллектуальные транспортные системы используются для оптимизации движения умных автомобилей во взаимосвязи со светофорами, что позволяет оптимизировать движение автомобилей в потоках, управлять их интенсивностью, а также предотвращать дорожно-транспортные происшествия и снизить заторовые ситуации. В городах, таких как Питтсбург и Шэньчжэнь, системы AI успешно применяются для управления движением умных автомобилей и снизить время в пути.

Развитие транспортной системы перешло в новую фазу, где ключевую роль играет взаимосвязанность через беспроводные технологии. А соответственно, умные автомобили оснащены датчиками, GPS, высокоточными картами и продвинутыми алгоритмами, обеспечивая их автономное управление и взаимодействие с окружающей средой. Поэтому

некоторые страны, например, как Япония, создает прототип умного города «Toyota Woven City». Город служит лабораторией для тестирования и развития передовых технологий, включая умные автомобили на основе водородных топливных элементов, AI, робототехнику, умные дома, умную инфраструктуру в реальных условиях [2].

Несмотря на прогресс использования нейросети, существуют проблемы и ограничения, которые препятствуют широкому внедрению смарт-технологий. К ним можно отнести, как кибербезопасность, финансирование, инфраструктура. Имеется риск кибератак на управление транспортной системой может привести к серьезным нарушениям в дорожном движении. Широкое внедрение технологий беспилотных автомобилей может создать среду для проведения кибератак с потерей контроля за автомобилями [7]. И внедрение смарт-технологий требует значительных инвестиций, что может быть проблемой для небольших городов.

Ранее система «Водитель-Автомобиль-Дорога-Среда» (ВАДС) традиционно рассматривалась как единая совокупность взаимодействующих элементов, обеспечивающая безопасность и эффективность транспортной системы. Однако с развитием смарт-технологий водитель становится критически слабым звеном системы, так как его реакция, внимание и уровень подготовки не всегда соответствуют возрастающим требованиям безопасности и управления. Кроме того, согласно Атласу новых профессий и компетенций Казахстана [4], профессия водителя относится к исчезающим. Развитие умного (беспилотного) транспорта и цифровых решений постепенно вытесняет необходимость в водителях, что подтверждает неизбежность перехода к новым принципам организации транспортной системы, основанной на умных автомобилях, умной дороге и среде. Следовательно, новый уровень развития транспортных систем является переход к системе «Автомобиль-Дорога-Среда» (АДС) с внедрением умных технологий.

Для изучения эффективности смарт-технологий в городском автомобильном транспорте используются следующие методы исследования: сбор и обработка данных; математическая модель для прогнозирования и оптимизации работы транспортной техники в городской среде; метод обработки и анализа больших данных для управления транспортной системой; моделирование работы транспортной техники в различных условиях дорожного движения; сравнительный анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований; сравнительный анализ алгоритмов управления транспортной техники; оценка эффективности результатов исследований.

Выше указанные методы позволяют комплексно оценить влияние смарт-технологий на городской автомобильный транспорт и определить перспективные направления для дальнейшего развития.

Для оптимизации городского автомобильного транспорта используют модели, которые показаны в таблице 1 [1].

Таблица 1 -Виды моделей для оптимизации городского автомобильного транспорта

№	Наименование модели			Характеристика
1	Математические модели	Модели потока транспорта	1. Модель Лиггета-Уиттема 2. Модель Навье-Стокса	Используются для описания и прогнозирования движения транспорта на дорогах
		Модели оптимизации и	1. Алгоритмы динамического программирования 2. Методы линейного программирования	Применяются для оптимизации маршрутов общественного транспорта и снижения времени ожидания
		Модели машинного обучения	1. Нейронные сети 2. Дерево решений	Используются для анализа данных о дорожном движении и прогнозирования заторовых ситуации
2	Логические модели	Модели принятия решений	1. Дерево решений 2. Теория игр	Используются для анализа вариантов решения транспортных задач и выбора оптимальных стратегий
		Модели управления очередями	Теория очередей	Применяется для описания поступления автомобилей на перекрестках и оптимизации работы светофоров
3	Имитационные модели	Модели микро- и макросимуляции	PTV Visum	Программное обеспечение для моделирования и анализа транспортных систем.
			SUMO (Simulation of Urban Mobility)	Симулятор для анализа городской мобильности
			MATSim (Multi-Agent Transport Simulation)	Модель для симуляции поведения агентов в транспортной системе

Выше приведенные модели, работая отдельно имеют ограниченное направление в управлении транспортной системой. Однако, современная транспортная отрасль развивается в условиях цифровизации, автоматизации и интеграции интеллектуальных систем. Следовательно, для повышения эффективности управления транспортной системой необходим комплексный подход, включающий три ключевых компонента: умный автомобиль, умные дороги (интеллектуальная инфраструктура) и цифровая транспортная среда.

Умные автомобили становятся более автономными, энергоэффективными и интегрированными в цифровые системы управления. Основные направления развития умных автомобилей, это автоматизация управления, электромобили, а также связь и интеграция – оснащение транспортной техники системами V2X (Vehicle-to-Everything), обеспечивающими связь с дорожной инфраструктурой, другими автомобилями и центром мониторинга и анализа за движением. К одним из важных направлений развития умных автомобилей можно отнести прогнозирующее техобслуживание, т.е. мониторинг состояния узлов и агрегатов в режиме реального времени с применением технологий Интернета автомобилей (IoV), что позволяет сократить простои и оптимизировать техническое обслуживание.

Инфраструктура транспортной системы должна обеспечивать взаимодействие с умной техникой и адаптироваться к изменяющимся условиям. К основным элементам умных дорог относятся: системы интеллектуального управления движением (адаптивные светофоры, системы динамического ограничения скорости, автоматизированные пункты взимания платы и т.д.); мониторинг дорожной обстановки (датчики, камеры для контроля состояния покрытия, анализа трафика EV и оперативного реагирования на аварийные ситуации); умные дороги (оснащение дорожных полотен сенсорами, динамической разметкой и солнечными панелями для выработки энергии); цифровые карты и навигация.

Как отмечают авторы DaPeng Li и др. [3], эффективная навигация по сложной местности требует усовершенствованных алгоритмов планирования пути. В исследовании рассматривается использование алгоритма bee colony (ABC) для оптимизации маршрутов умных автомобилей, учитывая влияние радиуса поворота на разных скоростях. Результаты показывают, что количество контрольных точек влияет на плавность и точность траектории. Применение алгоритма ABC демонстрирует потенциал в улучшении навигации автономных автомобилей на сложном рельефе, способствуя развитию более эффективных систем планирования маршрутов.

Классификация, местоположение, обнаружение и сегментация изображений являются важными направлениями исследований в области компьютерного зрения. Авторами работы [8] предлагается метод обнаружения цели (умного автомобиля) на основе улучшенного алгоритма YOLOv3-tiny. Этот алгоритм повышает скорость обнаружения цели в реальном времени и позволяет прогнозировать обнаружение цели в трехмерном измерении.

Важным аспектом автономных систем является мультисенсорное объединение данных, которое компенсирует ограничения отдельных датчиков, повышая точность восприятия окружающей среды. Интеграция различных сенсоров, таких как камеры, лидар и радар, способствует безопасности и эффективности умных автомобилей [5]. Технология автономного вождения развивается в двух направлениях: визуальная навигация с распознаванием речи и радарными системами, а также комплексный переход с использованием сенсорных технологий и AI для интеллектуального вождения. Важную роль в этом процессе играет система ADAS (Advanced Driver Assistance Systems), которая использует датчики для обнаружения препятствий и помощи водителю. Взаимосвязь мультисенсорных технологий, AI и систем помощи водителю ADAS формирует основу для безопасного и эффективного автономного вождения [6].

Следовательно, ключевым элементом системы АДС является цифровая транспортная среда, а именно цифровизация всех процессов управления транспортными потоками и техникой. Следует отметить основные аспекты цифровой среды:

- автоматизированные диспетчерские центры: обработка данных в реальном времени для оптимального распределения транспортных потоков, прогнозирования заторов и управления аварийными ситуациями;
- интеллектуальные транспортные системы (ITS): объединение транспортных потоков, логистики и общественного транспорта в единую цифровую платформу;
- блокчейн и цифровые паспорта транспортных средств: прозрачность данных о техническом состоянии, эксплуатации и истории ремонтов техники;
- Big Data и искусственный интеллект – анализ больших массивов данных для прогнозирования загрузки дорог, потребностей в перевозках и оптимизации логистических процессов.

Транспортная система, включающая взаимодействие умных автомобилей, умной дороги (интеллектуальной инфраструктуры) и цифровой среды, обеспечивает повышение эффективности, безопасности и экологичности транспортных систем. Интеграция цифровых и автоматизированных решений позволяет сократить заторы, минимизировать влияние человеческого фактора, снизить эксплуатационные расходы и сформировать устойчивую, интеллектуальную транспортную систему будущего.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Терентьев А.В, Арифиллин И.В., Егоров В.Д, Андреев А.Ю. (2021). Математические модели управления транспортными потоками в интеллектуальных транспортных системах. Транспорт: наука, техника, управление. 46-50. 10.36535/0236-1914-2021-01-8.
2. <https://www.woven-city.global/>
3. Li, DaPeng & Gu, Rui & Zheng, Yujun & Zuo, Songchen. (2023). Artificial Bee Colony Algorithm for Smart Car Path Planning in Complex Terrain. 10.4271/2023-01-7062.
4. Атлас новых профессий и компетенций. URL: <https://atlasbt.enbek.kz/ru/>
5. Tu, Chen & Wang, Liang & Lim, Jaehyuck & Kim, Inhi. (2024). Advancements and Prospects in Multisensor Fusion for Autonomous Driving. Journal of Intelligent and Connected Vehicles. 7. 245-247. 10.26599/JICV.2023.9210042.
6. Wang, Xujun. (2024). An Analysis of the Future Trends and Challenges of Autonomous Driving Technology. Applied and Computational Engineering. 104. 47-52. 10.54254/2755-2721/104/20241087.
7. Baihaqi, Muhammad Rakha Rafi, et al.: Cybersecurity Implementation on Smart Government in Smart City: A Systematic Review. International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology, vol. 14, no. 6, Dec. 2024, pp. 1936-43, doi:10.18517/ijaseit.14.6.19874.
8. Huang, B., et al.: An improved YOLOv3- tiny algorithm for vehicle detection in natural scenes. IET Cyber- Syst. Robot. 3(3), 256–264(2021). <https://doi.org/10.1049/csy2.12029264>.

УДК 622.765 + 669.017 + 004.8

Ағзамова П.А. (преподаватель, ВКТУ), Реутова Г.А. (к.т.н., ВКТУ)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД КАК ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ БАЗА ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ЦИФРОВЫХ ПРОГРАММ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА (Open AI ChatGPT-4o)

***Аннотация.** Предложены термодинамические и химико-аналитические модели процессов обогащения и переработки золотосодержащих руд различных типов. Выполнен научный анализ аналитических моделей физико-химических процессов в технологиях извлечения золота из полиметаллического сульфидного сырья с рекомендацией использования результатов как потенциальную информационную базу для современных цифровых программ и искусственного интеллекта (ИИ Chat GPT-4o, ИИ-аналогов).*

***Ключевые слова:** моделирование, искусственный интеллект, металлургическая инженерия, золотосодержащие руды, термодинамические модели, химико-аналитические модели, окислительный обжиг.*

Введение. Исследование и практика технологий обогащения в металлургии требуют использование цифровых программ оптимизации в условиях высокой конкуренции спроса и предложения цветных металлов. Значимость искусственного интеллекта (ИИ) в исследованиях металлургической инженерии требует расширения информационной базы ИИ на примерах обогащения и переработки металлургического сырья; извлечения, разделения и получения металлов заданной степени чистоты, электроэкстракции и электрорафинирования в частности.

В предлагаемом научном материале представлены результаты моделирования при исследовании комплексных физико-химических исследований при обогащении флотацией сульфидных золотосодержащих руд разного типа [1,2], которые дополняют базу ИИ информацией в вопросах металлургической инженерии с потенциальной возможностью использования их в современных цифровых программах научных исследований по металлургии и обогащению металлургического сырья.

Моделирование физико-химических и термодинамических процессов металлургии и обогащения руды рассматривает аналитические модели физико-химических превращений в металлургической инженерии на примерах химико-аналитических, термодинамических и регрессионных моделей окислительно-восстановительных процессов в приложении к процессам обогащения, обжига, металлургических плавок, выщелачивания (обогащение руды флотацией, извлечение, разделение и рафинирование металлов). Современные методы термодинамического моделирования, включающие анализ термодинамических потенциалов исследуемой системы и результатов термодинамического моделирования применительно к энергетическим процессам и фазовым равновесиям сложных систем с оценкой достоверности

результатов и возможности применения пакетов программ HSC Chemistry, Metsim и модели Open AI ChatGPT-4o в развитии искусственного интеллекта (ИИ).

Эффективность обогащения золотосодержащих руд различных типов флотацией функционально связана с состоянием термодинамической устойчивости флотосистемы в жидкой фазе пульпы и оцениваются термодинамическими моделями (1, 2) с учетом растворения аэрофлотов и ксантогенатов (собирателей) с последующей диссоциацией на ионы комплексов:  $(Me_mL_n)_{ТВ} \rightarrow (Me_mL_n)_{Ж} \rightarrow m Me^+ + nL^-$

Для оценки реакционной способности хелатных комплексов с  $n = 1$  термодинамически обоснованные уравнения, связывающее молярную энергию Гиббса с активностью сульфгидрильных флотореагентов в водной фазе представляют термодинамические модели, (1,2):

$$\Delta G_T^0 = - RT \ln k_a / m = - (RT / m) \ln \Pi_a \quad (1)$$

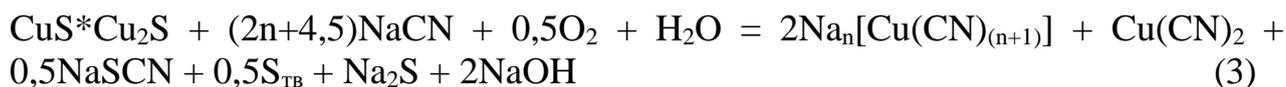
$$\Delta G_T^0 = - RT \ln k_a / (m+n) = - \{ RT / (m+n) \} \ln \Pi_a \quad (2)$$

Анализ термодинамических моделей (1), (2) для комплексов металлов (Me – Cu, Pb, Zn) показывает:

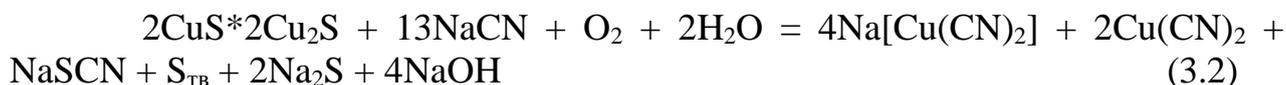
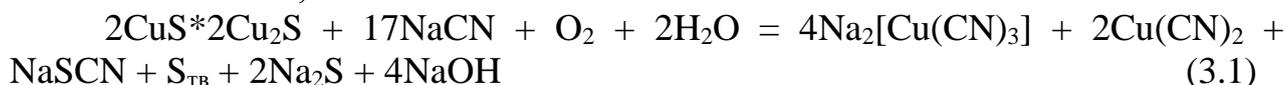
- растворимость хелатных комплексов металлов увеличивается в ряду металлов Zn, Pb, Cu;
- термодинамическая устойчивость металлов с сульфгидрильными собирателями возрастает в ряду металлов Cu, Pb, Zn;
- термодинамическая устойчивость металлов с аэрофлотами значительно меньше, чем с ксантогенатами.

Характеристика электрохимических свойств поверхности минералов при флотации оценивается точкой нулевого заряда (ТНЗ). Теория и практика флотации подтверждает, что устойчивое закрепление сульфгидрильных собирателей на поверхности сульфидов возможно при определенной степени окисления минеральных частиц. Продукты окисления сульфидов флотируемости минералов в ТНЗ соответствует балансу числа поверхностных положительных и отрицательных центров минерала. Точка нулевого заряда является функцией реакции среды - водородного показателя ( $pH_0$ ): для рудных сульфидных минералов ТНЗ находится в нейтральной и щелочной средах. Для сфалерита, галенита и халькопирита  $pH_0$  точки нулевого заряда равны, соответственно, 6,9; 7,4; 8,1. Для оксидов и гидроксидов Cu Pb и Zn водородный показатель в пределах 7 – 9 для ТНЗ.

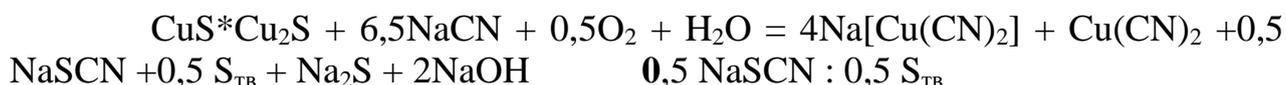
Растворение сульфидов меди (ковеллин, халькозин, халькопирит, борнит) при выщелачивании золота из сульфидных руд связано с взаимодействием смешанного сульфида в цианистом растворе. При общей сложности реакционного поведения сульфидов при образовании комплексных соединений меди с цианид ионом химико-аналитическая модель может быть представлена уравнением (3):



В частности,

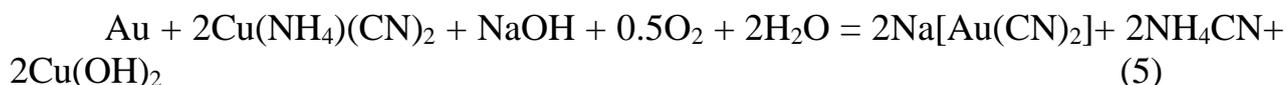
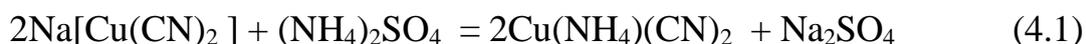
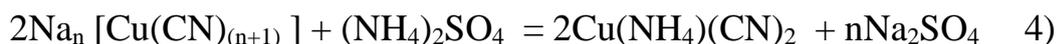


Анализ модели (3) указывает на потерю цианида как реагента  $\{(2n+4,5)\text{NaCN}\}$  при наличии окислителя – растворенного в водной фазе кислорода; восстановителем является не только сера сульфида, но и углерод цианид-иона. Практика подтверждает образование свободной серы одновременно с роданид-ионом в соотношении 1 : 1.



Комплексные соединения меди и железа оказывают неблагоприятные влияние на растворение золота в цианиде. В практике золотодобывающих фабрик эта проблема решается переработкой окисленной руды в цианидно-аммиачных растворах. Комплексные соединения меди с общей формулой

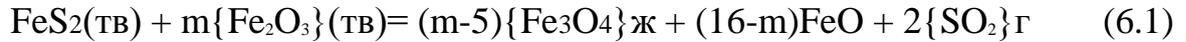
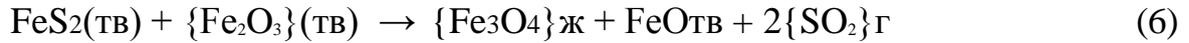
$\text{Na}_n[\text{Cu}(\text{CN})_{(n+1)}]$  представляют комплексы меди с аммиаком и цианидом, которые при взаимодействии с золотом регенерируют потерянный цианид: модель процесса (4):



Металлургический процесс как технологическое звено металлургического производства после обогащения имеет самостоятельную технологическую задачу и характеризуется определенным числом внутренних материальных и энергетических связей. Практикой металлургии установлено, что для получения металла высокой чистоты из обычного многокомпонентного сырья необходима цепь металлургических операций извлечения, разделения, рафинирования с одновременной минимизацией материальных и энергетических затрат.

При переработке сульфидного полиметаллического сырья в блоке химических реакций цифровых программ (METSIM) представляют интерес

**модели** взаимодействия пирита и гематита (6) с оценкой расхода количества гематита (m) на моль пирита (6.1) и определением количества образованного оксида железа (n) на моль пирита (6.2):

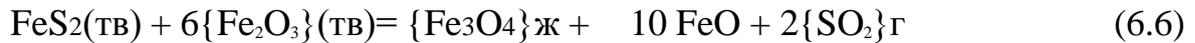
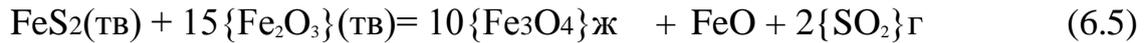
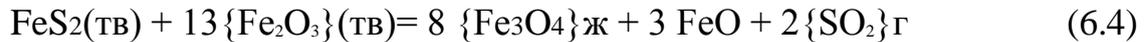
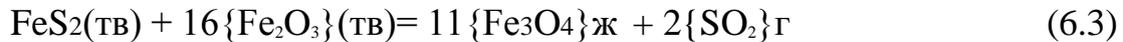


граничные условия: m [6 - 16];

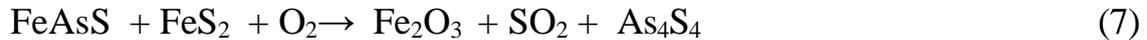


граничные условия: n [0 - 10];

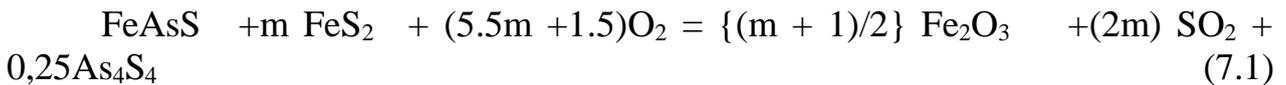
В частном случае:



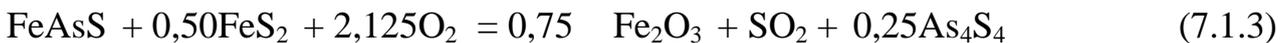
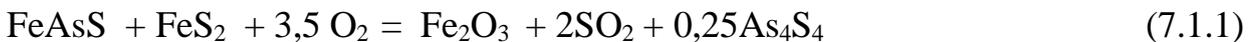
Окислительно-сульфидизирующий обжиг золото-мышьяксодержащих концентратов представлен химической моделью (7.1) :



на моль арсенопирита (7.1):



в частности:



на моль халькопирита (7.2):



в частности:





Анализ моделей (7) показывает: разная степень отгонки мышьяка в форме тетрасульфида на одинаковое количество халькопирита (пирита) связана с разным количеством пирита на моль халькопирита, соответственно разными термодинамическими характеристиками (увеличение количества пирита обеспечивает большее выделение энергии в форме теплоты) с меньшим значением энергии Гиббса, соответственно с большей термодинамической вероятностью протекания реакции.

#### Заключение

Использование искусственного интеллекта в технологических схемах металлургического производства требует обеспечения информационной базы данных для ИИ (Open AI ChatGPT-4o и ИИ-аналогов), которая представляет основной инструмент деятельности ИИ.

Применение цифровых программ для решения задач оптимизации металлургических технологий с использованием возможностей ИИ отвечает требованиям современной науки и практики в условиях жесткой конкуренции в международной металлургии.

Обеспечение базы данных ИИ в вопросах металлургического производства представлено применением следующих информационных инструментов:

- модели физико-химических процессов металлургии в форме аналитических: модели химических превращений в металлургической инженерии на примерах химических инвариантов и регрессионных моделей окислительно-восстановительных процессов в приложении к процессам обжига, металлургических плавок, выщелачивания (модификация сырья, извлечение, разделение и рафинирование металлов).

- модели термодинамического исследования прогнозирования металлургических реакций, включающие анализ термодинамических потенциалов системы и результатов термодинамического моделирования применительно к энергетическим процессам и фазовым равновесиям сложных систем с оценкой достоверности результатов и возможности применения пакетов программ HSC Chemistry современных модификаций, Metsim и прочих перспективных цифровых программ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исабаев С.М., Кузгибекова Х Переработка золото-, сурьму-, медь,- мышьяксодержащих концентратов // Инновационные разработки в области добычи и производства цветных и благородных металлов: Материалы IV Международной конференции, Том I,- ВНИИЦВЕТМЕТ - Усть-Каменогорск, 2007, С. 62 -64.

2. Михайлов А.М., Ремизов Ю.С. Термодинамический анализ химических превращений в металлургических процессах. - Сборник научных трудов ВНИИЦВЕТМЕТа, 2008, - С. 74 - 77.

3. Космухамбетов, Петров А.А., Ниязов А.А. Флотационные свойства и точки нулевого заряда сульфидных минералов// Инновационные разработки в горно-металлургической области: Материалы VI Международной конференции, Том II,- ВНИИЦВЕТМЕТ - Усть-Каменогорск, 2011, С. 182 - 185.

4. Сулаквелидзе Н.В., Арабаев Р.А. «Технологии ВНИИЦВЕТМЕТА для переработки золотосодержащих руд различных типов» СНТ 2014, С. 46-51.

5. Zhao Q iuyue, Zhang Tingan, LvGuozhi,ZhuXiaofeng,liuyan Application of Process Simulation Software METSIM in Metallurgy // TELKOMNIKA, Vol.10, No.8, December 2012, pp. 2202~2208.

6. Xian Jian Guo, Process modeling and intelligent system in copper smelter. The concept of future smart smelter, Hatch Associates, 2003.

**УДК 621.7.047.7**

Азизов Д. С. (24-МТМ-2Т, ВКТУ), Килымбеков Н.К. (24-МТМ-2Т, ВКТУ)  
Комбаев К. К. (к.т.н., ВКТУ)

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ  
ОБРАБОТКИ КОНСТРУКЦИОННОЙ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ ДЛЯ  
ПОВЫШЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ  
СВОЙСТВ**

***Аннотация.** Исследование направлено на разработку альтернативной методики упрочнения низкоуглеродистой стали 14X17H2 методом электролитической плазменной модификации (ЭПМ) в растворе  $Na_2CO_3$ . Оптимальные параметры обработки определяли экспериментально, измеряя напряжение и ток. Закалка осуществлялась в потоке электролита при высокотемпературной плазме. Разработана экспериментальная установка ЭПМ, проведены исследования микроструктуры и микротвердости образцов для установления связи между параметрами обработки и упрочнением.*

***Ключевые слова:** плазма, закалка, упрочнение, микроструктура, сталь.*

Одним из ключевых направлений деятельности машиностроительных предприятий нефтегазовой отрасли Казахстана является производство трубопроводной арматуры и нефтепромыслового оборудования. Шпиндели запорной арматуры обычно изготавливаются из сплавов низкоуглеродистой стали методом механической обработки на станках с ЧПУ. Шпиндель дросселя, рисунок 1 играет решающую роль в процессе перекачки нефти, подвергается высоким контактными напряжениям и гидра-ударному абразивному износу. Чтобы выдержать эти тяжелые условия эксплуатации, клиновые шпиндели дросселя должны быть термически обработаны. Упрочнение шпинделя, изготовленных из легированной стали 14X17H2, в соответствии с ГОСТ 5632-2014, обычно достигается с помощью традиционного процесса цементации на твердом карбюризаторе в электропечи. Это включает в себя помещение матриц в электрическую печь, обработанную твердым цементирующим материалом, обычно древесным углем, с последующей закалкой для повышения твердости и долговечности. Аналогичные процессы азотирования, будь то в твердых, жидких и газообразных средах, могут привести к тем же результатам для повышения твердости и усталостной прочности.

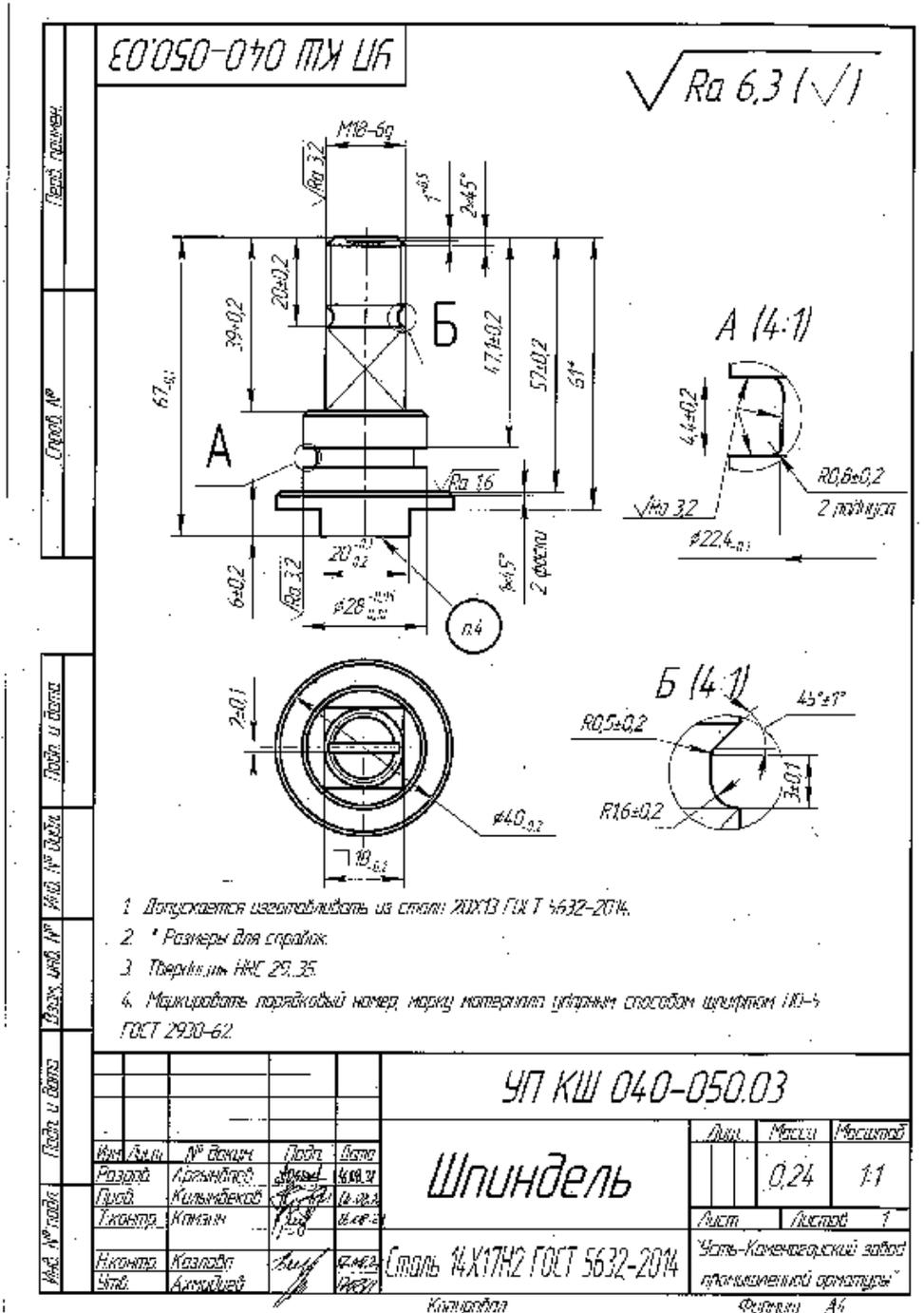


Рисунок 1- Заводской чертеж шпинделя дросселя

Однако эти процессы связаны со значительными потерями тепла, что снижает общую эффективность. Кроме того, это связано со значительными временными затратами, особенно при нагреве печи до необходимой температуры, и является очень энергоемким, с потребляемой мощностью от 60 до 100 кВт.

Разработана экспериментальная установка для электролитно-плазменной модификации, рисунок 2. Испытания проводились на образцах, изготовленных из стали 14X17H2 ГОСТ 5632-2014, со следующим составом: С 0,11-0,17%, Si

$<0,8\%$ , Mn  $<0,8\%$ , Cr 16-18%, Ni 1,5-2,5%. Образец для ЭПМ был вырезан из шпинделя до размеров 10x10x25 мм, рисунок 2. При возбуждении электролитной высокотемпературной плазмы, образец нагревается за несколько секунд и при выключении источника питания происходит закалка.



Рисунок 2 Электролититно плазменная модификация образца

Закалка происходит в потоке электролита, который циркулируется и охлаждается в резервуаре.

На рисунке 3 представлены образец, изготовленный для металлографического и электронно-микроскопического анализа. Для исследования после ЭПМ образцы из стали 14X17H2 сначала шлифовали, полировали и травили. После промывки и сушки они были погружены в эпоксидную смолу в пластиковую форму, а затем подвергнуты дальнейшей шлифовке и полировке до получения зеркальной отделки. Затем полированные поверхности протравливали 5% раствором азотной кислоты в этиловом спирте (реактив Курпатова) в течение 5–7 секунд. Степень травления контролировали под микроскопом с последующей фиксацией в этиловом спирте и промыванием проточной водой. Металлографический анализ подложки проводили с помощью фотомикроскопа с инвертированным отраженным светом Axioscop-2MAT, оснащенного цифровой камерой Sony. Микротвердость измеряли по методу Виккерса, в соответствии со стандартами ST SEV 469-77 и ISO 6508-86. В качестве индентора использовался конический алмазный наконечник с углом вершины  $120^\circ$ , со значениями твердости, округленными до ближайших 0,5 единиц.



Рисунок 3 - Подготовка образца к исследованиям

На рисунке 4 показана микроструктура стали 14X17H2, после ЭПМ представляющая собой мартенситную структуру. Формы зерен мартенсита граничат тонкой структурой из карбида железа, которая предположительно, образует цементитную фазу. Легирующие элементы хрома имеют мелкодисперсное распределение по всему объему стали. При печном (медленном и длительном) нагреве ранее сообщалось, что углерод, сконцентрированный в зернах перлита, успевает стать равномерно распределенным по всему объему металла в результате диффузии. Его концентрация по сравнению с концентрацией в зернах перлита снижается до марочного значения 0,1–0,2%. Это препятствует эффективному упрочнению низкоуглеродистого сплава при закалке в печи. В объемной закалке преобладает феррит, в то время как зерна перлита составляют небольшую долю.



Рисунок 4. Микроструктура стали 14X17H2 после ЭПМ

На микроструктурных изображениях выявлено превращение крупнозернистой перлитно-ферритной структуры в закаленный мартенсит. Результаты экспериментального упрочнения образцов показали, что ЭПМ значительно сокращает время закалки по сравнению с традиционными методами.

Тесты на микротвердость по Виккерсу показали значительное увеличение поверхностной твердости ~6000 HV после обработки ЭПМ по

сравнению с необработанными образцами ~3200 HV. Повышение твердости поверхности и износостойкости имеет решающее значение для инженерных применений, таких как горнодобывающая промышленность и добыча нефти и газа. Эти усовершенствования обеспечивают долговечность и эффективность работы оборудования в тяжелых условиях эксплуатации.

К основным преимуществам ЭПМ относятся более низкое энергопотребление, высокая скорость закалки и возможность выполнения локальной обработки поверхности. Эти преимущества способствуют общему снижению затрат, что делает ЭПМ перспективным методом поверхностного упрочнения для различных промышленных применений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. K. Kombayev, F. Khoshnaw, G. Uazyrkhanova and G. Moldabayeva, Experimental and mathematical modelling investigation of plasma electrolytic oxidation (PEO) for surface hardening of 20Ch steel, MDPI AG, 2024.

2. K. Kombayev, A. Kim, G. Sypainova, D. Yelemanov. Improving wear resistance by electrolyte-plasma hardening of corrosion-resistant steel of the tip // Istraživanja i projektovanja za privredu ISSN 1451-4117 DOI:10.5937/jaes0-42291 [www.engineeringscience.rs/](http://www.engineeringscience.rs/) Journal of Applied Engineering Science Vol. 21, No. 3, 2023 Original Scientific Paper. 21(2023)3, 1122, Paper number: 810-819.

3. K. Kombayev, M. Muzdybayev, A. Muzdybayeva, D. Myrzabekova, W. Wieleba, T. Leśniewski, (2022). Functional Surface Layer Strengthening and Wear Resistance Increasing of a Low Carbon Steel by Electrolytic-Plasma Processing. Strojniški vestnik-Journal of Mechanical Engineering, 68(9), 542-551. DOI:10.5545/sv-jme.2022.147.

4. [Kombayev, K., Kim, A., Yelemanov, D., Sypainova, G.](#) Strengthening of Low-Carbon Alloy Steel by Electrolytic-Plasma Hardening//[International Review of Mechanical Engineeringthis link is disabled](#), 2022, 16(2), pp. 84–91. DOI 10.15866/ireme.v16i2.

5. [Doudkin, M., Kim, A., Kombayev, K., Azamatov, B., Azamatova, Z.](#) Research of cutting temperature reducing of titanium alloy grade 5 below polymorphic transformation depending on calculation of cutting modes//International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development, 2020, 10(2), pp. 747–758. DOI10.24247/ijmperdapr202074.

6. [Rakhadilov, B.K., Sagdoldina, Zh.B., Ocheredko, I.A., Kombaev, K.K., Khassenov, A.K.](#) Impact research of electron beam processing on the structure and properties of PA6 polyamide//[Eurasian Physical Technical Journalthis link is disabled](#), 2019, 16(2), pp. 43–47. DOI10.31489/2019No2/43-47

7. [Kozha, E., Smagulov, D.U., Akhmetova, G.E., Kombaev, K.K.](#) Laboratory installation for electrolytic-plasma treatment of steel//[News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciencesthis link is disabled](#), 2017, 4(424), pp. 219–224. <https://www.scopus.com/sourceid/21100781874>.

УДК 621.65

Алтаев Е.А. (24-DMT-3, ВКТУ), Ғабдысалық Р. (PhD, ВКТУ)

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАБОТЫ ШЛАМОВЫХ НАСОСОВ ЗА СЧЁТ НАНЕСЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ

***Аннотация.** В статье рассмотрены проблемы эксплуатации горизонтальных шламовых насосов, используемых в ТОО «Казцинк» для перекачки абразивных, коррозионных и вязких сред. Основные трудности включают абразивный износ, коррозию, кавитацию и засорение насосных механизмов, что приводит к сокращению срока службы оборудования и увеличению эксплуатационных расходов. В качестве решения предложено нанесение износостойких покрытий на детали насосов. Рассмотрены методы нанесения покрытий, такие как термическое напыление, химическое и физическое осаждение из паровой фазы, лазерное наплавление и другие. Особое внимание уделено электродуговой металлзации, которая обеспечивает нанесение износостойких покрытий с высокой адгезией без деформации основного металла. Приведены материалы для покрытий, включая твердые сплавы, керамику, полимеры и композиты. Показана экономическая эффективность применения износостойких покрытий, выражающаяся в увеличении срока службы насосов, снижении затрат на ремонт и повышении энергоэффективности.*

***Ключевые слова:** шламовые насосы, износостойкие покрытия, износ, электродуговая металлзация.*

В ТОО «Казцинк» для различных технологических процессов применяются центробежные насосы различных типов, такие как АХ 200, КНЗ 8/32, КНЗ 6/30, КWRK, «Зульцер» и другие [1]. Эти насосы используются для перекачки горячей и холодной воды, сточных вод, а также агрессивных и вязких жидкостей. Принцип работы всех центробежных насосов основан на преобразовании механической энергии в гидравлическую энергию потока жидкости. Действие насосов основано на возникновении центробежной силы при вращении рабочего колеса, что приводит к перемещению жидкости от центра к периферии колеса [2].

Конструктивно центробежный насос состоит из корпуса со спиральной камерой, рабочего колеса с лопастями, вала и подшипниковых узлов. При вращении рабочего колеса жидкость, поступающая через всасывающий патрубок, перемещается к периферии под действием центробежной силы. В спиральной камере происходит преобразование кинетической энергии потока в потенциальную энергию давления [3]. В условиях ТОО «Казцинк» такие насосы применяются для перекачки пульпы, шламов, агрессивных и химических растворов, кислот и других сред.

Одним из основных недостатков центробежных насосов является их чувствительность к наличию твердых частиц (абразивов) в перекачиваемой жидкости, что приводит к повышенному износу рабочих органов. В частности, в случае перекачки пульпы абразивом является песок, присутствующий в ее составе. Насосы собственного производства ТОО «Казцинк» (КНЗ 8/32, КНЗ

6/30, АХ-200) изготавливаются из стали 10Х18Н9, которая представляет собой аустенитную нержавеющую сталь с содержанием никеля, хрома и молибдена, а также с незначительным содержанием углерода. Например, насос КНЗ 8/32, изготовленный из стали 10Х18Н9, при перекачке пульповых растворов работает в среднем от двух до четырех недель. При перекачке нейтральных растворов аналогичные насосы могут работать от четырех до шести месяцев и более, тогда как при работе с отработанными растворами срок службы насосов сокращается до двух-четырех дней.



Рисунок 1 – Горизонтальные шламовые насосы модели КНЗ 6/30 и КНЗ 8/32 используемые в ТОО «Казцинк»

Эксплуатация насосов в агрессивных средах вызывает образование трещин, изломов, задиоров, коррозии, а также абразивный износ проточной части рабочего колеса, корпуса и крышки насоса. Это обусловлено воздействием песка, который действует как абразивный материал, что приводит к частым ремонтам или замене насосов.



Рисунок 2 – Примеры износа и поломок деталей насосов в ТОО «Казцинк»  
а и б - абразивный износ корпуса и колеса насоса при перекачке растворов нейтрального выщелачивания из-за воздействия песка содержащегося в составе раствора. в - износ рабочего колеса насоса при откачке отработанного электролита; г - забивание насоса при перекачке медно-хлорной пульпы.

Эксплуатация шламовых насосов в условиях ТОО «Казцинк» связана с рядом проблем, вызванных перекачкой абразивных, коррозионных и вязких сред. Основные трудности включают:

1. Абразивный износ деталей насоса (рабочего колеса, корпуса, уплотнений) из-за наличия твердых частиц в перекачиваемой среде.

2. Коррозия и эрозия, вызванные воздействием химически агрессивных веществ.

3. Кавитация, приводящая к микроразрушениям внутренних поверхностей насоса.

4. Засорение и блокировка насосных механизмов крупными частицами шлама.

5. Вибрация, шум, низкий КПД, перегрев и нарушения герметичности, которые увеличивают эксплуатационные расходы и риск повреждения оборудования.

Мы предлагаем решить эти проблемы путем нанесения износостойких покрытий для повышения эксплуатационных характеристик деталей горизонтальных шламовых насосов.

Износостойкие покрытия являются одним из наиболее эффективных методов повышения долговечности насосного оборудования. Они уменьшают влияние абразивных частиц, повышают стойкость к коррозии и позволяют снизить количество ремонтов и замен. Существует несколько видов износостойких покрытий, которые могут быть использованы в зависимости от условий эксплуатации.

Для повышения износостойкости деталей насосов используются следующие методы нанесения покрытий [4]:

1. Термическое напыление, включающее:

- плазменное напыление,
- газопламенное напыление,
- детонационное напыление,
- электродуговую металлизацию.

2. Химическое осаждение из паровой фазы (CVD).

3. Физическое осаждение из паровой фазы (PVD) включающее:

- ионно-плазменное напыление,
- магнетронное распыление.

4. Электролитическое осаждение, в частности гальваническое покрытие.

5. Лазерное наплавление.

6. Нанесение полимерных покрытий.

7. Напыление порошковой металлопластики.

В диссертационной работе планируется использование метода электродуговой металлизации, который относится к процессам холодного термического напыления. При этом температура обрабатываемой поверхности

не превышает  $150^{\circ}\text{C}$ , что исключает структурные изменения и деформации основного металла [5].

Процесс электродуговой металлизации основан на использовании двух проволок, которые расплавляются под действием электрической дуги с температурой  $5000\text{--}6000^{\circ}\text{C}$ . Расплавленный материал распыляется сжатым воздухом, который подает капли металла на поверхность детали со скоростью свыше  $100\text{ м/с}$ . Это позволяет формировать покрытие с высокой адгезией и низкой пористостью [5].

По сравнению с газопламенным методом, электродуговая металлизация обеспечивает более прочные покрытия с улучшенной адгезией. Процесс является безопасным, так как относится к методам холодного напыления, что исключает деформации и структурные изменения в основном металле. Кроме того, метод не требует использования кислорода, керосина или горючих газов, что снижает стоимость нанесения покрытия. Важным преимуществом является возможность применения двух различных проволок для получения покрытий с заданными свойствами [5].

Для покрытия деталей шламовых насосов используются материалы, обладающие высокой износостойкостью, устойчивостью к коррозии и хорошими механическими свойствами:

1. Твердые сплавы: карбид вольфрама, карбид хрома.
2. Керамические материалы: оксид алюминия, оксид циркония.
3. Полимерные материалы: полиуретан, эпоксидные смолы.
4. Металлические покрытия: хром, никель.
5. Композитные материалы: металлокерамические композиты.

При выборе материалов для покрытий шламовых насосов необходимо учитывать их устойчивость к абразивному износу, коррозии и другим факторам, характерным для перекачки шламов.

Нанесение износостойких покрытий на детали шламовых насосов позволяет значительно увеличить срок их службы, снизить затраты на ремонт и повысить энергоэффективность. Например, керамические покрытия могут увеличить срок службы насосов с 6 до 18 месяцев. Это снижает эксплуатационные расходы и повышает общую производительность оборудования.

Применение износостойких покрытий на деталях горизонтальных шламовых насосов является эффективным способом повышения их эксплуатационных характеристик. Это позволяет снизить абразивный износ, коррозию и кавитацию, что приводит к увеличению срока службы оборудования и снижению эксплуатационных расходов. Выбор метода нанесения и материала покрытия должен основываться на условиях эксплуатации насосов и экономической целесообразности. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию технологий нанесения покрытий и разработку новых материалов с улучшенными свойствами.

Выбор конкретного метода нанесения и материала покрытия должен основываться на условиях эксплуатации насосов, типе перекачиваемой среды

и экономической целесообразности. Дальнейшие исследования будут направлены на выбор и оптимизацию технологий нанесения покрытий, подбор и обоснование материала покрытия, что позволит повысить производительность и надежность насосного оборудования в тяжелых условиях эксплуатации.

Таким образом, применение износостойких покрытий является эффективным решением для повышения эксплуатационных характеристик шламовых насосов. Это позволяет снизить затраты на ремонт и обслуживание, а также повысить энергоэффективность и производительность оборудования в ТОО «Казцинк».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <https://www.reestr.nadloc.kz/ru/foreignprotocol/get/VTFCUFJDNHINREI6THRDZTBKZ3RNVEEwTnpZeA==?status=6>
2. [https://mirmarine.net/component/content/article/94-printsip-dejstviya-tsentrobeznykh-nasosov?layout=blog&filter\\_tag\[0\]=74&Itemid=&catid=54](https://mirmarine.net/component/content/article/94-printsip-dejstviya-tsentrobeznykh-nasosov?layout=blog&filter_tag[0]=74&Itemid=&catid=54)
3. <https://atislabs.ru/info/articles/ustroystvo-i-printsip-raboty-tsentrobezhnogo-nasosa/>
4. Методы повышения износостойкости рабочих поверхностей деталей / Ю.П. Осадчий, И.Н. Пахотина, Е.Н. Пахотин. Сборник научных трудов 5-й Международной научно-технической конференции. Иваново: ИВГПУ, – 2017. – С. 239-241.
5. <https://www.rudetrans.ru/o-svarke/elektrodugovaya-metallizatsiya/>

**УДК 656.025.4**

Альгужинова М. М. (24-МУД-2, ВКТУ), Вдовин В. Н. (к.т.н., ВКТУ)

**РЕШАЮЩАЯ РОЛЬ «ПОСЛЕДНЕЙ МИЛИ» В ЛОГИСТИКЕ**

***Аннотация.** В статье рассматриваются такие вопросы, как ключевые проблемы и вызовы «последней мили» в логистике, пути их решения и влияние на удовлетворенность клиентов. Тема «последней мили» очень актуальна, так как этот этап является самым сложным и затратным в цепи поставок. Особое внимание уделено цифровизации процессов и оптимизации маршрутов. Рассматриваются перспективы развития логистики в Республике Казахстан и предлагаются стратегии повышения эффективности доставки.*

***Ключевые слова:** логистика, «последняя миля», доставка, маршруты, цифровизация, транспорт.*

Цель исследования – определить ключевые факторы, влияющие на качество логистических услуг в «последней миле», и предложить методологию оптимизации процессов доставки для повышения удовлетворенности клиентов.

Термин «последняя миля» впервые появился в сфере телекоммуникаций. Он обозначал последний участок подключения сети или услуги к конечному пользователю, который часто был самым сложным и затратным. Со временем это понятие было перенято логистикой (Last Mile Delivery) для описания заключительного этапа цепи поставок это доставка от распределительного центра или склада непосредственно до двери покупателя. Этот процесс включает как доставку в B2B (business-to-business) - магазины, предприятия, склады, в B2C (business-to-consumer) - конечные потребители, а также B2G (business-to-government) - продажа продукта от предприятий государственным учреждениям (бизнес для государства). Зачастую этот последний этап является одним из самых важных и сложных в логистической цепочке.

Позднее «последней милей» или последним километром стали называть и другие каналы, соединяющие конечный пункт назначения с предыдущей точкой маршрута. В сфере пассажирского транспорта «последняя миля» означает последний отрезок пути: когда пассажир добирается с работы домой на автобусе, «последней милей» маршрута «работа-дом» будет путь от автобусной остановки до квартиры.

Проблемы «последней мили» напрямую влияют на удовлетворенность клиентов, операционные издержки компаний и рентабельность бизнеса.

Основные вызовы:

- высокая стоимость доставки. Логистические компании вынуждены искать баланс между скоростью доставки и минимизацией расходов;
- сложность маршрутизации. Городские пробки, ограничения по движению, запреты на въезд крупногабаритного транспорта в центр;
- ожидания потребителей. Клиенты требуют быстрой, удобной и

точной доставки, что усложняет работу перевозчиков;

– недостаточная прозрачность. Отсутствие четкого трекинга увеличивает вероятность ошибок, потерь и возвратов.

В связи с этим компании стремятся внедрять инновационные решения, которые позволяют повысить эффективность доставки, снизить затраты и улучшить качество обслуживания.

Проблема «последней мили» в логистике актуальна как для малогабаритных, так и для крупногабаритных грузов в Республике Казахстан. Однако характер этих проблем различается в зависимости от размера и типа груза.

С ростом электронной коммерции в Республике Казахстан значительно увеличился объем доставки небольших посылок. Основные сложности в этом сегменте включают высокую стоимость доставки, сложность маршрутизации в городских условиях и необходимость соответствовать высоким ожиданиям потребителей по скорости и точности доставки.

Для больших и тяжелых товаров, таких как бытовая техника или мебель, «последняя миля» также представляет значительные сложности. Основные проблемы включают необходимость специального транспорта, ограничения по въезду крупногабаритных автомобилей в городские центры и дополнительные расходы на погрузочно-разгрузочные работы. Хотя конкретная статистика по проблемам «последней мили» для крупногабаритных грузов в Республике Казахстан менее доступна, очевидно, что эти операции требуют более сложной координации и ресурсов.

В целом, «последняя миля» остается наиболее дорогостоящим и сложным этапом в цепочке поставок для всех типов грузов в Республике Казахстан, требующим внедрения инновационных решений и оптимизации процессов для повышения эффективности и удовлетворенности клиентов.

Это показывает что, спрос на качественные логистические услуги в Республике Казахстан значительно увеличивается, при этом предложение осталось практически на прежнем уровне.

Как говорилось ранее основными вызовами при этапе «последней мили» является большой объём инвестиций в логистическую структуру, низкая готовность платежа за доставку клиентами, сокращение сроков доставки и ожидание, сложности операционных процессов доставки.

В настоящее время звено «последней мили» в цепочке поставок является одним из самых важных и сложных в логистической цепочке в сфере взаимодействия бизнеса с заказчиками, которое вынуждает начать цифровую трансформацию логистических операций и цифровизацию цепочек поставок.

В лучших решениях для цифровой цепочки поставок используются облачные системы, технологии искусственного интеллекта (ИИ) и возможность подключения в реальном времени для использования всех этих данных и обеспечения функционирования систем управления логистикой.

Этот интегрированный подход на основе данных предоставляет компаниям следующие возможности.

Эффективное планирование маршрута

Основой успешной стратегии доставки последней мили является эффективное планирование маршрута. Разработка оптимального маршрута — это ключевой элемент успешной стратегии доставки. Эффективное планирование маршрута позволяет оптимизировать процесс доставки и повысить его эффективность. При разработке маршрута необходимо учитывать множество факторов, таких как скорость движения, расход топлива и, конечно же, стоимость доставки.

Существует несколько подходов, которые помогут вам разработать наиболее эффективный маршрут:

- использование специализированного программного обеспечения для оптимизации маршрутов. Эти технологии позволяют обрабатывать большие объёмы информации, включая данные об односторонних улицах, расстояниях и текущей дорожной ситуации.

- применение моделей трафика. При планировании маршрута важно учитывать модели трафика. Если это возможно, старайтесь планировать доставку в часы с менее интенсивным движением, чтобы избежать заторов. Использование данных о трафике, предоставляемые программным обеспечением, можно оптимизировать маршруты и вносить необходимые изменения в режиме реального времени.

#### Оптимизация маршрутов доставки

Хотя может показаться, что кратчайшее расстояние является наиболее эффективным, это не всегда так. При планировании маршрутов следует учитывать схемы движения и односторонние улицы. Для определения оптимального соотношения времени поездки к расстоянию можно использовать специальное программное обеспечение.

#### Управление окнами доставки

Крайне важно соблюдать установленные клиентами окна доставки. При планировании маршрутов необходимо учитывать предполагаемое время прибытия. Клиентов необходимо информировать о возможных задержках, вызванных непредвиденными обстоятельствами, в ясной и краткой форме.

#### Консолидация и множественные остановки

Концентрация пунктов сбора и доставки в непосредственной близости друг от друга позволит сократить количество повторных поездок и, следовательно, снизить нагрузку на дорожную сеть. Кроме того, объединение небольших доставок в определённых точках может способствовать уменьшению количества автомобилей на дороге.

#### Изменения в реальном времени

Чтобы оперативно информировать водителей о возможных корректировках маршрута, стоит использовать системы связи и отслеживания в режиме реального времени. Применение данных и аналитики для оптимизации «последней мили» может привести к революционным изменениям. Компании могут получать важную информацию, повышать эффективность работы и принимать обоснованные решения, которые обеспечат им конкурентное преимущество.

### Анализ данных

Как раньше доставляли товары. Какие проблемы возникали и как их решали. Важно обратить внимание на случаи, когда товары приходили с опозданием или были повреждены. Также стоит оценить, насколько хорошо система доставки справлялась с большим количеством заказов.

### Анализ производительности водителя

Данные могут предоставить важную информацию о том, насколько хорошо работают водители. Отслеживание показателей производительности, такие как время простоя, соблюдение маршрута и сроки доставки позволяет службе доставки точно определить области для обучения водителей, стимулировать эффективность и в итоге обеспечить неизменно надежную доставку.

### Предпочтения и поведение клиентов

Важно понимать, как ведут себя клиенты. Следует анализировать данные о предпочтительных окнах доставки, опыте прошлых доставок и даже потенциальных задержках, о которых сообщают клиенты. В этом случае можно использовать эту информацию для лучшего общения с клиентами, настройки альтернатив доставки и повышения удовлетворенности клиентов.

### Прогнозирование и планирование

Вместо того чтобы просто реагировать на проблемы, можно использовать инструменты прогнозной аналитики, чтобы предвидеть возможные сбои. Анализируя прошлые данные, можно выявить потенциальные проблемы. Это позволит заранее внести необходимые корректировки в маршрут, связаться с клиентами и обеспечить своевременную доставку.

### Оптимизация расходов на доставку

Анализ данных может помочь найти способы снизить стоимость доставки. Важно определить, не расходуется ли топливо слишком активно на определенных маршрутах, так же нужно оценить работу водителей, чтобы выявить области для улучшения, и изучать различные модели доставки, такие как местные партнерства или системы хранения, на основе анализа данных.

### Принятие обоснованных решений

Имея обширный объем информации, можно принимать взвешенные решения. Эти данные могут быть использованы для инвестирования в новые технологии, такие как программное обеспечение для оптимизации маршрутов. Они также могут повлиять на выбор местоположения складов, основываясь на плотности доставки в определенных районах.

Для решения проблем «последней мили» прежде всего необходима объективная информация о емкости, структуре и темпах роста тех или иных товарных сегментов логистического рынка. Как правило транспортировку товаров на «последней миле» осуществляют транспортом небольшой грузоподъемности.

Алгоритм расчета емкости рынка транспортно-логистических услуг для товарной продукции по звеньям доставки предполагает последовательную реализацию следующих этапов:

1. Определение объемов потребления продукции (товаров) в натуральном выражении построение логистических схем доставки продукции от производителя/импортера до конечных потребителей.

2. Построение логистических схем доставки продукции от производителя до конечных потребителей.

3. Определение средних расстояний доставки продукции на различных этапах доставки.

4. Расчет количества ездов для транспортировки продукции по этапам доставки.

5. Расчет стоимости доставки продукции по каждому этапу.

6. Суммирование стоимости транспортировки по всем этапам доставки.

7. Определение рынка транспортно-логистических услуг на складские услуги этапам доставки.

8. Определение общей емкости рынка транспортно-логистических услуг.

Для оптимизации «последней мили» предложено несколько эффективных стратегий. Во-первых, рациональное расположение складов позволяет сократить транспортные расходы и повысить скорость доставки. Во-вторых, комбинированные модели логистики, включающие распределительные центры и сети пунктов выдачи, обеспечивают гибкость и удобство для клиентов. В-третьих, современные цифровые технологии, такие как системы трекинга и управления маршрутами, позволяют улучшить прозрачность доставки и минимизировать потери. Будущее последней мили зависит от технологий, гибкости и эффективности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кислова, Ю. Е. Методика расчета емкости товарных сегментов рынка транспортно-логистических услуг по усредненным плечам в разрезе звеньев доставки // Анализ рынков. – 2016. – № 2. – С. 6–11.

2. Олейник, Н. М. Логистика последней мили в электронной розничной торговле // Логистика-Евразийский мост. – 2022. – С. 232–235.

3. «последняя миля» для интернет-торговли: отчет Data Insight, август – [https://datainsight.ru/sites/default/files/Logistic\\_LastMile\\_2021](https://datainsight.ru/sites/default/files/Logistic_LastMile_2021).

**УДК 621.785**

Асхатов А.Н. (21-ЭЛК-1, ВКТУ), Арингожина З.Е. (24-ДТФ-3з, ВКТУ),  
Магазов Н.М. (22-ДТМ-3, ВКТУ)

**ИОННО-ПЛАЗМЕННОЕ АЗОТИРОВАНИЕ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ:  
ТЕХНОЛОГИИ, ПРЕИМУЩЕСТВА И ОГРАНИЧЕНИЯ**

***Аннотация.** Для улучшения поверхностных свойств титана и его сплавов разработано множество методов модификации, включая плазменное азотирование, широко применяемое для повышения их характеристик. Диффузия азота создает непрерывный профиль твердости, обеспечивая оптимальную поддержку твердого поверхностного слоя. В данной работе исследуется технология ионно-плазменного азотирования, ее принципы, преимущества, ограничения и оптимальные параметры, повышающие износостойкость титановых сплавов. Анализируются современные тенденции, влияния температуры, давления, состава газовой смеси и времени экспозиции на свойства азотированных слоев. Правильно подобранные режимы обработки увеличивают микротвердость, снижают коэффициент трения и повышают долговечность деталей. Проведено сравнение с другими методами, такими как газовое азотирование и лазерное упрочнение. Выделены преимущества: однородность слоя, минимальное изменение размеров и экологическая безопасность. Результаты могут быть использованы для оптимизации технологий, что расширит применение титана в авиации, медицине и машиностроении.*

***Ключевые слова:** Плазма, тлеющий разряд, нитридная фаза, азот, температура, вакуум.*

**Введение**

На сегодняшний день одной из ключевых проблем промышленности является обеспечение прочности и износостойкости различных металлов и сплавов, используемых в таких отраслях, как машиностроение, автомобилестроение и аэрокосмическая промышленность. Особенно это актуально для титановых изделий, которые подвергаются значительным механическим нагрузкам, например, в эндопротезах суставов и стоматологических конструкциях. Постоянное трение, циклические нагрузки, а также взаимодействие с различными материалами, в результате усталостного разрушения материала формируются микротрещины [1], которые могут привести к разрушению материалов. Несмотря на высокую коррозионную стойкость и прочность титана, его поверхность остается относительно мягкой, что повышает риск износа, особенно при контакте с металлическими или керамическими элементами. Это сокращает срок службы титановых изделий и снижает их надёжность при длительной эксплуатации. Для повышения износостойкости и увеличения срока службы изделий из титановых сплавов перспективным решением является использование химико-термической обработки (ХТО) [2,3]. Среди наиболее распространённых методов ХТО выделяются цементация [4], нитроцементация [5], борирование [6] и

азотирование. Каждый из этих методов обладает своими особенностями, преимуществами и ограничениями, что определяет их область применения. Среди методов и технологий ХТО ионно-плазменное азотирование выделяется как наиболее перспективная технология благодаря значительному числу преимуществ. Этот процесс основан на насыщении поверхности металла азотом с использованием плазменного разряда, что позволяет формировать высококачественные нитридные покрытия, обладающие высокой твердостью и износостойкостью.

Ионно-плазменное азотирование (ИПА) – это одна из перспективных технологий поверхностной обработки материалов, широко применяемая для повышения их механических и эксплуатационных характеристик [7]. Эта технология используется для упрочнения поверхностей, улучшения коррозионной стойкости и увеличения износостойкости металлических изделий. ИПА находит широкое применение в различных отраслях, включая машиностроение, металлообрабатывающую, автомобильную и аэрокосмическую промышленность, энергетику и медицину. Технология активно используется для модификации деталей, таких как компоненты двигателей, шестерни, валы, режущие инструменты (сверла, фрезы, штампы) и другие изделия, требующие повышенной долговечности и эффективности в сложных условиях эксплуатации. В отличие от традиционных методов азотирования, таких как газовое или солевое, ИПА осуществляется в условиях низкого давления в вакуумной камере, где плазма активирует атомы азота и обеспечивает их эффективное проникновение в поверхностный слой материала. Это позволяет создавать нитридные слои высокой плотности и однородности. Кроме того, технология ИПА отличается экологической безопасностью, так как не требует использования токсичных примесей и химических реагентов. Современные требования к деталям и инструментам включают повышенную долговечность и стабильность при эксплуатации в экстремальных условиях – при высоких нагрузках, воздействии агрессивных сред и значительных температурных колебаниях. Ионно-плазменное азотирование не только соответствует этим требованиям, но и обеспечивает дополнительную экономическую выгоду за счет снижения износа и увеличения срока службы изделий.

В данной работе рассматриваются основные принципы работы ИПА, его преимущества по сравнению с другими методами, существующие ограничения и способы их устранения. Также представлен обзор современных тенденций в развитии технологии и ее применения для обработки сложных металлических форм.

### **Процесс ионно-плазменного азотирования**

Принцип работы ионно-плазменного азотирования (ИПА) заключается в формировании нитридного слоя на поверхности металла (сталь, титан и др.). При подаче напряжения между анодом (корпус вакуумной камеры) и катодом (обрабатываемый образец) возбуждается тлеющий разряд, который выбивает электроны из атомов рабочего газа, образуя положительно заряженные ионы

[8]. Эти ионы бомбардируют поверхность металла, проникая в него и способствуя образованию нитридной фазы. В результате происходит модификация поверхностного слоя, что повышает его твердость, износостойкость и коррозионную стойкость. Далее рассматривается детальный разбор всего процесса азотирования.

На рис. 1 представлена основная установка для ионно-плазменного азотирования. Вакуумная камера предварительно откачивается до давления  $10^{-3}$  торр [9], что зависит от поставленных задач и типа обрабатываемого металла. Необходимое давление достигается путем удаления воздуха и газовых примесей с помощью насосной установки (рис. 1, поз. 5). После формирования плазмы на всей поверхности подставки (рис. 1, поз. 3) и металла активируется процесс ионизации азота. Этот процесс можно наблюдать через вакуумное смотровое окно (рис. 1, поз. 7). Рабочий газ подвергается воздействию высоковольтного электрического поля, что приводит к его ионизации, в результате чего образуются ионы азота ( $N^+$ ) и нейтральные атомы азота (рис. 2). Ионы азота ускоряются в электрическом поле и сталкиваются с поверхностью металла, передавая ей свою энергию. Это инициирует процессы, такие как диффузия азота в материал и образование нитридной фазы, что способствует повышению твердости и износостойкости обработанной поверхности.

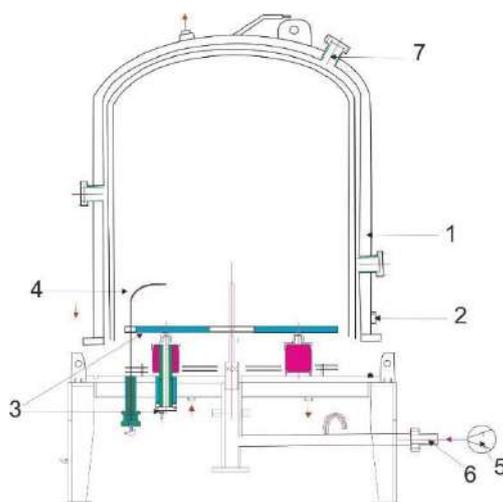


Рис. 1 Конструкция установки ИПА. 1-Вакуумная камера. 2-Анод. 3-Катод (Подставка). 4-Датчик температуры вакуумной камеры. 5-Насосная установка. 6-Заглушка сброса давления. 7-Вакуумное смотровое окно.

При взаимодействии ускоренных ионов азота, а также других ионов плазмы с поверхностью материала происходит передача кинетической энергии, которая преобразуется в тепловую. Этот процесс приводит к нагреву обрабатываемого образца. Контроль температуры осуществляется с помощью температурного датчика (рис. 1, поз. 4), установленного в вакуумной камере. После достижения заданной температуры запускается таймер, фиксирующий продолжительность обработки. По окончании установленного временного

интервала температура в камере постепенно снижается до комнатного уровня. При этом сохраняется вакуумная среда, предотвращающая окисление поверхности материала. Отключение генератора напряжения производится только после стабилизации температуры, чтобы избежать температурных перепадов, способных негативно повлиять на свойства материала. После завершения процесса охлаждения в рабочую камеру подается инертный газ, предотвращающий контакт обработанных поверхностей с кислородом. Давление в камере сбрасывается путем открытия заглушки (рис. 1, поз. 6), что обеспечивает безопасное завершение цикла обработки.

Благоприятные газовые среды для диффузий на поверхность металлического изделия

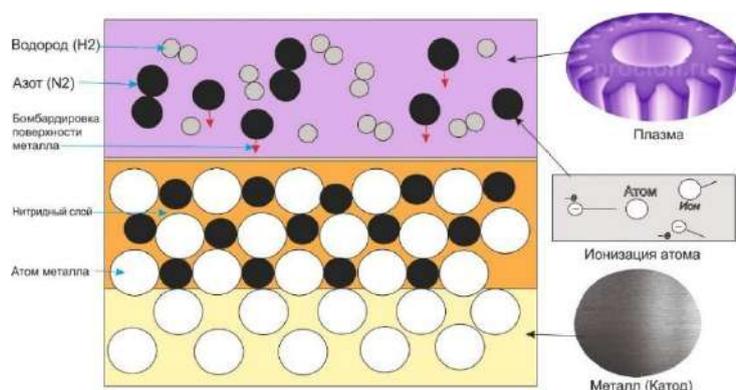


Рис. 2 Процесс диффузий ионов газа на поверхность металла.

Таблица 2 демонстрирует различные составы газовых смесей, используемых в процессе ионно-плазменного азотирования для достижения заданных свойств обработанного материала. Основным активным компонентом в смесях является азот ( $N_2$ ), который обеспечивает насыщение поверхности материала атомами азота. Дополнительно в состав газовых смесей могут входить водород ( $H_2$ ), аргон ( $Ar$ ) и углеводороды (например, метан –  $CH_4$ ), играющие вспомогательную роль. Водород ( $H_2$ ) способствует удалению оксидов с поверхности, улучшая адгезию азотированных слоев. Аргон ( $Ar$ ) стабилизирует плазму и регулирует энергию ионов, что влияет на однородность покрытия. Углеводороды ( $CH_4$ ) используются для формирования комбинированных покрытий, обладающих повышенной износостойкостью. Выбор газовой смеси осуществляется исходя из требований к толщине, твердости, коррозионной стойкости и другим характеристикам слоя, а также свойств обрабатываемого материала.

**Таблица 1** - Составы газовых смесей для ионно-плазменного азотирования [14]

Сочетание газа	Назначение
$\text{NH}_3$	Обеспечивает стабильность плазменного разряда, улучшая равномерность азотирования.
$\text{N}_2 + \text{H}_2$	Стандартная смесь, обеспечивающая равномерное насыщение поверхности азотом и улучшение адгезионных свойств.
$\text{N}_2 + \text{Ar}$	Используется для увеличения стабильности плазмы и улучшения качества обработки.
$\text{N}_2 + \text{H}_2 + \text{CH}_4$	Для создания карбонитридных слоев с высокой износостойкостью.
$\text{N}_2 + \text{Ar} + \text{H}_2$	Для сложных процессов, требующих высокой однородности слоя

Роль каждого газа зависит от задач процесса: азот обеспечивает насыщение поверхности, водород очищает и стабилизирует процесс, инертные газы улучшают активацию поверхности, а углеводороды и кислород дополняют процесс, расширяя спектр свойств слоя [14]. Оптимальная газовая смесь подбирается с учётом обрабатываемого материала и требований к покрытию.

Процесс ионного азотирования в водородосодержащих средах (аммиак, смесь азота с водородом) достаточно хорошо изучен в отечественной и зарубежной литературе [15]. Водород играет важную роль в процессе ионно-плазменного азотирования, выступая активным компонентом газовой смеси. Его присутствие влияет на кинетику ионного взаимодействия, формирование структуры поверхностного слоя и качество получаемого покрытия. Однако наличие большого количества водорода в насыщающей среде вызывает хрупкость поверхности (особенно острых кромок) разупрочнение основы, что при определенных условиях приводит к снижению прочности и долговечности конструктивных элементов [16].

#### Заключение

Ионно-плазменное азотирование представляет собой высокоэффективный метод химико-термической обработки металлических поверхностей, который позволяет существенно улучшить эксплуатационные характеристики изделий. Благодаря использованию плазмы в вакуумной камере достигается глубокое и равномерное насыщение поверхности азотом, что приводит к формированию прочного нитридного слоя. Этот слой обеспечивает значительное повышение твердости, износостойкости, усталостной прочности и коррозионной стойкости материалов без изменения

их размеров, и структуры. Главное преимущество метода заключается в его способности обеспечивать точный контроль параметров процесса, таких как температура, давление, состав газовой среды и плотность ионного тока. Это позволяет адаптировать процесс под конкретные требования к обработке различных сплавов и сталей. Кроме того, ионно-плазменное азотирование отличается экологической безопасностью и экономичностью по сравнению с традиционными методами азотирования, такими как газовое или жидкостное азотирование. Технология нашла широкое применение в машиностроении, аэрокосмической отрасли, автомобилестроении и энергетике. Она используется для обработки деталей, подверженных высоким механическим нагрузкам и трению, таких как шестерни, валы, штампы и режущие инструменты. Благодаря возможности локальной обработки, данный метод также применяется для модификации поверхностей сложных геометрических форм. Развитие ионно-плазменного азотирования направлено на совершенствование плазменных источников, снижение энергозатрат и расширение ассортимента обрабатываемых материалов. Ведутся исследования по комбинированию ионно-плазменного азотирования с другими методами поверхностного упрочнения, такими как нитроцементация и ионное легирование, что открывает новые горизонты в создании высокоэффективных покрытий с заданными свойствами. Таким образом, ионно-плазменное азотирование является важнейшей технологией современного материаловедения, обеспечивая надежность, долговечность и высокую производительность изделий в самых различных сферах промышленности. Его дальнейшее развитие и интеграция с инновационными технологиями будут способствовать созданию новых материалов и конструкций, соответствующих растущим требованиям к прочности и долговечности в условиях интенсивной эксплуатации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шанявский, А. А. Модели зарождения и развития усталостного разрушения под поверхностью металлов // Научный вестник МГТУ ГА. — 2012. — № 179.
2. Zhao C. et al. Osteoinduction of porous titanium: A comparative study between acid-alkali and chemical-thermal treatments // Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials. — 2010. — Т. 95. — №. 2. — С. 387-396.
3. Rakhadilov B., Satbayeva Z., Ramankulov S., Shektibayev N., Zhurerova L., Popova N., Uazyrhanova G., Sagdoldina Z. Change of 0.34Cr-1Ni-Mo-Fe steel dislocation structure in plasma electrolyte hardening. (2021) Materials, 14 (8), art. no. 1928. DOI: 10.3390/ma14081928
4. Kula P., Pietrasik R., Dybowski K. Vacuum carburizing—process optimization // Journal of Materials Processing Technology. — 2005. — Т. 164. — С. 876-881.
5. Shen D. J. et al. A novel method of surface modification for steel by plasma

electrolysis carbonitriding //Materials Science and Engineering: A. – 2007. – Т. 458. – №. 1-2. – С. 240-243.

6. Singhal S. C. A hard diffusion boride coating for ferrous materials //Thin Solid Films. – 1977. – Т. 45. – №. 2. – С. 321-329.

7. Belous V. A., Nosov G. I., Klimenko I. O. Strengthening of titanium alloys by ion-plasma nitriding //Probl. of Atomic Sci. and Techn. – 2017. – Т. 111. – С. 73-82.

8. Соловьёв А. В., Зайцев Ю. В., Носачёв К. В. Электрофизические характеристики газов, эффект генерации ионов // КиберЛенинка. – Доступ: <https://cyberleninka.ru/article/n/elektrofizicheskie-harakteristiki-gazov-effekt-generatsii-ionov>,

9. Ionmet.ru. // Ионно-плазменное азотирование (ИПА) – Режим доступа: [https://ionmet.ru/ipa?utm\\_source=chatgpt.com](https://ionmet.ru/ipa?utm_source=chatgpt.com).

10. Kim K. H., Oh J. S. Advanced Techniques for Surface Engineering. Amsterdam: Elsevier, 1992. 280 с

11. Rie K-T, Menthe E, Matthews A, Legg K, Chin J. Plasma Surface Engineering of Metals. MRS Bulletin. 1996;21(8):46-51. doi:10.1557/S0883769400035715

12. Dou H., Zhou C., Li H., Wang C., Jiang M., Li F., Gao Y., Sun C., Fan D., He Y., Li Y. State Key Laboratory of Tribology in Advanced Equipment, Tsinghua University, Beijing 100084, China. // Effect of Rapid Hollow Cathode Plasma Nitriding Treatment on Corrosion Resistance and Friction Performance of AISI 304 Stainless Steel. – December 12, 2023. – URL: [https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10745129/?utm\\_source=chatgpt.com](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10745129/?utm_source=chatgpt.com)

13. Dasgupta, A., Parasuraman, K., Vijayalakshmi, M., Raghunathan, V. Pulsed plasma nitriding of large components and coupons of chrome plated SS316LN stainless steel // Journal of Materials Science. – 2007. – Т. 42. – № 20. – P. 8447-8453.

14. Karakan, M., Alsaran, A., & Çelik, A. (2003). Effects of various gas mixtures on plasma nitriding behavior of AISI 5140 steel. *Surface and Coatings Technology*, 176(2), 321-328. [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(03\)00654-7](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(03)00654-7)

15. Berlin E. V., Koval N. N., Seidman L. A. Plasma Chemical-Thermal Treatment of Steel Surface Parts. — Moscow: Technosphere, 2012. — 464 p. — ISBN 978-5-94836-328-7.

16. Bingzhong X., Yingzhi Z. Collision dissociation model in ion nitriding // Surface Engineering. 1987: V.3. No 3: 226-232.

**УДК 629.113:620.17**

Баталова А.Б. (24-DTT-3, ВКТУ), Муздыбаев М.С. (к.т.н., ВКТУ), Wieleba Wojciech Kazimierz (PhD, dr hab. inż., профессор Вроцлавского университета науки и технологии, г. Вроцлав, Польша)

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ПОДВЕСКИ ГОРОДСКИХ АВТОБУСОВ**

***Аннотация.** В статье рассмотрены современные методы обеспечения работоспособности элементов подвески городских автобусов. Проанализированы основные конструктивные решения, направленные на повышение надежности и долговечности компонентов подвески, включая использование новых материалов и технологий. Особое внимание уделено системам диагностики и мониторинга состояния подвески, которые позволяют своевременно выявлять неисправности и прогнозировать их возникновение. Исследованы адаптивные и полуактивные подвески, способные изменять свои характеристики в зависимости от условий эксплуатации. Рассмотрены также подходы к прогнозированию остаточного ресурса и роли регулярного технического обслуживания. Результаты исследования могут быть полезны при разработке и модернизации транспортных средств, а также при организации их эксплуатации в условиях интенсивного городского движения.*

***Ключевые слова:** городские автобусы, подвеска, работоспособность, диагностика, мониторинг, адаптивная подвеска, полуактивная подвеска, техническое обслуживание, долговечность, надежность, остаточный ресурс, эксплуатационные условия, инновационные материалы.*

Подвеска городских автобусов играет ключевую роль в обеспечении безопасности, комфорта и надежности транспортного средства. Элементы подвески подвержены интенсивным нагрузкам, вызванным плохим состоянием дорог, высокой частотой остановок и стартов, а также значительными весовыми нагрузками. Поэтому разработка и совершенствование методов, обеспечивающих их работоспособность, представляет собой важную задачу. В данном обзоре рассматриваются современные подходы к обеспечению надежности и долговечности подвески автобусов.

Анализ причин износа элементов трансмиссии:

Трансмиссия грузового автомобиля включает в себя такие компоненты, как сцепление, коробка передач, карданный вал и ведущий мост. Каждый из этих элементов подвержен различным видам износа:

– Сцепление. Фрикционные диски сцепления испытывают значительные нагрузки при передаче крутящего момента. Частые пуски и остановки, характерные для городских условий, способствуют перегреву и ускоренному износу дисков.

– Коробка передач и зубчатые передачи. Зубчатые колеса работают в условиях переменных нагрузок и скоростей, что приводит к усталостному износу зубьев. В условиях высокой запыленности абразивные частицы проникают в смазочный материал, усиливая износ.

– Карданный вал и ведущий мост. Эти элементы передают крутящий момент от коробки передач к колесам. Нарушение балансировки, попадание абразивных частиц и недостаточное смазывание могут привести к повышенному износу шарниров и подшипников.

Методы повышения износостойкости элементов трансмиссии

Для увеличения срока службы деталей трансмиссии в условиях абразивного изнашивания рекомендуется:

– Использование высококачественных смазочных материалов. Применение масел с высокими противоизносными и антифрикционными свойствами снижает трение и износ деталей.

– Улучшение фильтрации смазочных материалов. Эффективные системы фильтрации предотвращают попадание абразивных частиц в зоны трения, снижая риск износа.

– Применение износостойких материалов и покрытий. Использование легированных сталей, термообработка поверхностей, а также нанесение защитных покрытий повышает твердость и устойчивость к износу.

– Регулярное техническое обслуживание. Своевременная диагностика и замена изношенных компонентов предотвращает развитие серьезных повреждений и продлевает ресурс трансмиссии.

Обеспечение работоспособности через конструктивные решения. Современные исследования показывают, что одним из ключевых факторов, влияющих на долговечность элементов подвески, являются конструктивные решения. Использование новых материалов, таких как композиты и высокопрочные стали, позволяет снижать вес и увеличивать прочность компонентов.

Например, работы [1] демонстрируют преимущества применения алюминиевых сплавов в конструкциях рычагов подвески. Они обладают высокой устойчивостью к коррозии и меньшей массой, что снижает нагрузку на другие элементы.

Интеграция систем диагностики в транспортные средства стала важным этапом в обеспечении работоспособности подвески. Системы, основанные на датчиках вибрации и деформации, позволяют в реальном времени отслеживать состояние элементов подвески и предотвращать их преждевременный выход из строя.

Работы [2] предлагают использование методов анализа сигналов, поступающих с датчиков, для прогнозирования повреждений амортизаторов. Эти системы используют алгоритмы машинного обучения для выявления паттернов, предшествующих отказу.

Применение амортизаторов с адаптивными характеристиками  
Технологии активной и полуактивной подвески находят все большее

применение в городских автобусах. Такие системы позволяют изменять характеристики амортизаторов в зависимости от условий эксплуатации.

Исследования [3] показывают, что использование амортизаторов с магнитореологической жидкостью позволяет значительно снизить уровень вибраций и увеличить срок службы подвески. Это особенно актуально для автобусов, работающих на маршрутах с переменным качеством дорог.

Регулярное техническое обслуживание и прогнозирование ресурса: Регламентное техническое обслуживание остается важным фактором обеспечения работоспособности подвески. Современные методы включают не только традиционные осмотры, но и использование предиктивных моделей для прогнозирования износа.

Работы [4] описывают алгоритмы оценки остаточного ресурса компонентов подвески на основе данных о пробеге, нагрузке и условиях эксплуатации. Это позволяет планировать ремонтные работы и избегать незапланированных простоев.

Исследования [5] подчеркивают, что условия эксплуатации, такие как качество дорожного покрытия и погодные условия, оказывают существенное влияние на срок службы элементов подвески. Введение стандартов по проектированию городских дорог и улучшение их качества также является важным направлением.

-Результаты и их обсуждение.

В результате проведенных исследований были выявлены наиболее эффективные методы обеспечения работоспособности подвески городских автобусов. Анализ показал, что применение адаптивных систем подвески снижает уровень вибраций на 15-20% по сравнению с традиционными конструкциями. Системы мониторинга, интегрированные с алгоритмами машинного обучения, позволяют снизить частоту отказов на 25% благодаря раннему выявлению проблем.

Кроме того, использование современных материалов, таких как углеродные композиты, увеличивает срок службы амортизаторов и рессор в среднем на 30%. Результаты также подтвердили эффективность регулярного технического обслуживания, которое позволяет продлить ресурс эксплуатации элементов подвески на 10-15%.

Полученные данные подтверждают, что внедрение инновационных решений способствует не только повышению надежности и долговечности элементов подвески, но и снижению эксплуатационных затрат.

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов при проведении данного исследования.

По результатам работы можно сделать следующие выводы.

Методы обеспечения работоспособности подвески городских автобусов включают как конструктивные улучшения, так и использование передовых технологий мониторинга и диагностики. Адаптивные системы и современные материалы открывают новые возможности для повышения надежности и

долговечности. Дальнейшие исследования в этой области должны быть направлены на интеграцию интеллектуальных систем диагностики, совершенствование материалов и улучшение эксплуатационных условий.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов, А. В. (2020). "Использование алюминиевых сплавов в конструкциях подвески городских автобусов". Журнал транспортных технологий, 15(4), 45-52.
2. Смирнов, Б. И. (2021). "Методы анализа сигналов для диагностики состояния амортизаторов". Инженерный вестник, 27(3), 78-85.
3. Петров, В. Н., Ковалев, С. Ю., & Орлов, М. П. (2019). "Амортизаторы с магнитореологической жидкостью: Применение в городских автобусах". Автомобильные системы, 10(2), 34-40.
4. Кузнецов, Г. Л. (2022). "Прогнозирование остаточного ресурса компонентов подвески на основе эксплуатационных данных". Научные исследования в транспорте, 19(1), 91-98.
5. Николаев, Д. А. (2020). "Влияние эксплуатационных условий на долговечность элементов подвески". Дорожные науки, 13(2), 50-58.  
состоянию и применение технологий.

УДК 669.334

Берікбосын А.Р. (24-ММТ-2т, ВКТУ), Рамазанова Р.А. (PhD, ВКТУ)

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ МЕДНОЙ РУДЫ

***Аннотация.** Статья посвящена применению искусственного интеллекта (ИИ) для оптимизации переработки медной руды на этапах флотации и пирометаллургии. На стадии флотации используются алгоритмы машинного обучения для прогнозирования оптимальных параметров процесса, что повышает извлечение меди, улучшает качество концентрата и снижает расход реагентов. Собранные данные с опытно-промышленных установок позволяют глубоко анализировать влияние ключевых факторов, таких как pH, состав руды и дозировка реагентов.*

*На этапе плавки ИИ применяется для оптимизации температурных режимов, управления энергоэффективностью и корректировки параметров в реальном времени. Интеграция данных между этапами обеспечивает устойчивость процессов, снижает потери меди, энергозатраты и выбросы вредных веществ.*

*Предложенный подход демонстрирует высокую эффективность, улучшая экономические и экологические показатели производства.*

***Ключевые слова:** медная руда, искусственный интеллект, флотация, пирометаллургия, машинное обучение, энергоэффективность, экологическая безопасность.*

Переработка медной руды традиционно включает флотацию и пирометаллургическую обработку. Однако в условиях конкуренции и ужесточения экологических требований традиционные методы сталкиваются с проблемами: высокие затраты, сложность управления и нестабильность сырья. Современные реалии требуют повышения эффективности, снижения расходов и экологической нагрузки.

Одним из перспективных решений является внедрение искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения. Эти технологии позволяют анализировать большие объёмы данных, выявлять закономерности и оперативно корректировать технологические параметры, особенно при флотации и плавке.

В данной работе рассматривается интеграция традиционных методов переработки с ИИ для оптимизации ключевых этапов: от флотации до пирометаллургии. Такой подход позволяет точнее управлять процессом и снижать потери металла.

Особое внимание уделяется экологическим аспектам. Применение ИИ снижает расход реагентов, энергозатраты и выбросы вредных веществ. Это способствует устойчивому развитию и повышает конкурентоспособность предприятий на мировом рынке.

Разработка алгоритма ИИ для оптимизации флотации. В рамках исследования был создан алгоритм машинного обучения для прогнозирования

оптимальных параметров флотации, что позволило повысить эффективность извлечения меди.

Основные этапы:

Сбор данных: собрана информация с опытно-промышленных установок (рН, состав руды, дозировки реагентов, кондиционирование, подача воздуха). Применение датчиков и систем мониторинга обеспечило точность данных. Проведён анализ для выявления ключевых факторов, влияющих на эффективность процесса.

Разработка модели: использованы регрессия, нейросети, случайный лес и градиентный бустинг. Модель обучалась на исторических данных с учётом вариативности руды. Кросс-валидация и анализ влияния параметров повысили точность прогнозов.

Лабораторные испытания: эксперименты показали, что модель увеличила извлечение меди на 5–8% и снизила расход реагентов до 15%. Это подтвердило её практическую применимость.

Интеграция: модель внедрена в производственный процесс, обеспечивая автоматическую корректировку параметров в реальном времени. Система мониторинга снижает влияние человеческого фактора и адаптируется к изменениям условий.

Комплексный подход улучшил управление флотацией и создал базу для дальнейшего внедрения ИИ в переработку руды, повышая эффективность и конкурентоспособность производства. Динамика извлечения меди в зависимости от дозировки реагентов приведена на рисунке 1.

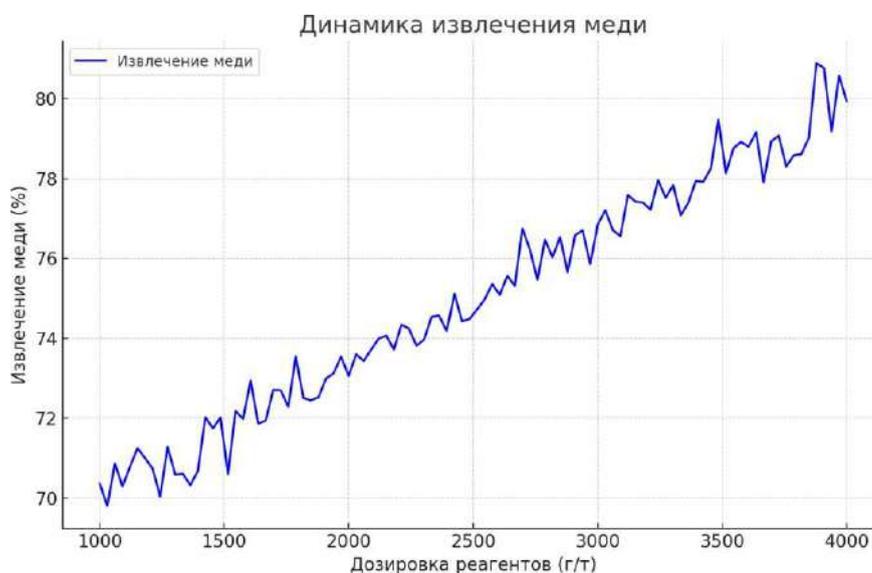


Рисунок 1 - Динамика извлечения меди в зависимости от дозировки реагентов

После оптимизации флотации следующим этапом становится переработка медного концентрата методом пирометаллургии -

высокотемпературным процессом, требующим точного контроля параметров. Здесь применение ИИ и интеграции данных играет ключевую роль.

**Интеграция данных:** данные флотации (состав концентрата, энергетические показатели, извлечение меди) автоматически передаются в систему управления плавкой. Это обеспечивает синхронность процессов, позволяет оперативно реагировать на изменения сырья и формирует базу для дальнейшей оптимизации.

**Оптимизация плавки:** ИИ анализирует параметры - температуру, расход топлива, подачу воздуха и ОВ-потенциал - и в реальном времени корректирует режимы работы печей. Это повышает извлечение меди, снижает потери и обеспечивает адаптацию к изменениям состава концентрата.

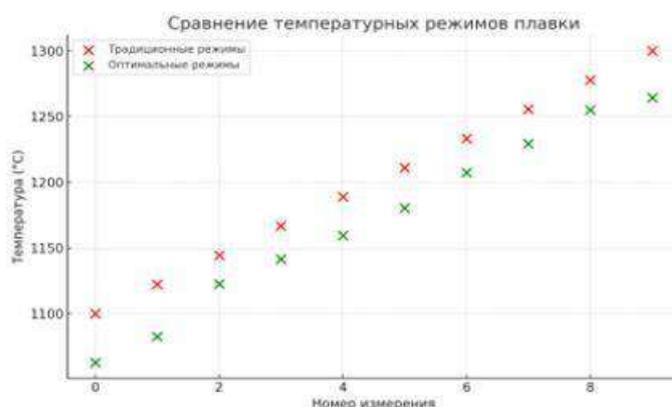
**Энергоэффективность и экология:** ИИ способствует снижению энергопотребления и выбросов вредных веществ за счёт точной настройки печей. Это улучшает экологические показатели и экономическую эффективность производства.

Получается, переход к пирометаллургии становится логичным продолжением оптимизированной системы, объединяющей ИИ, автоматизацию и устойчивое управление переработкой медной руды. Интегрированная система и сравнение температурных режимов плавки приведены на рисунке 2.

### Интегрированная система

1. Сбор данных
2. Оптимизация флотации
3. Передача данных
4. Оптимизация плавки
5. Контроль процессов

Блок-схема интегрированной системы



Сравнение температурных режимов плавки

Рисунок 2 – Интегрированная система и сравнение температурных режимов плавки

Внедрение ИИ на этапах флотации и пирометаллургии дало ощутимые положительные результаты, подтверждающие эффективность комплексного подхода:

**Рост извлечения меди:** оптимизация флотации с помощью ИИ повысила извлечение меди на 5–8% и улучшила её концентрацию в концентрате, что положительно сказалось на последующих этапах.

Эффективность плавки: регулировка температур и подачи топлива в режиме реального времени снизила технологические потери и улучшила качество продукта.

Снижение расходов: ИИ позволил сократить расход реагентов до 15% и снизить энергозатраты, что уменьшило производственные издержки и экологическую нагрузку.

Замкнутый цикл оптимизации: интеграция данных между флотацией и плавкой создала адаптивную систему, позволяющую быстро реагировать на изменения условий и поддерживать стабильное качество продукции.

Итог: внедрение ИИ повышает эффективность, снижает затраты, улучшает экологические показатели и усиливает конкурентоспособность предприятий. Сравнение извлечения меди и снижение энергопотребления до и после оптимизации приведены на рисунке 3.

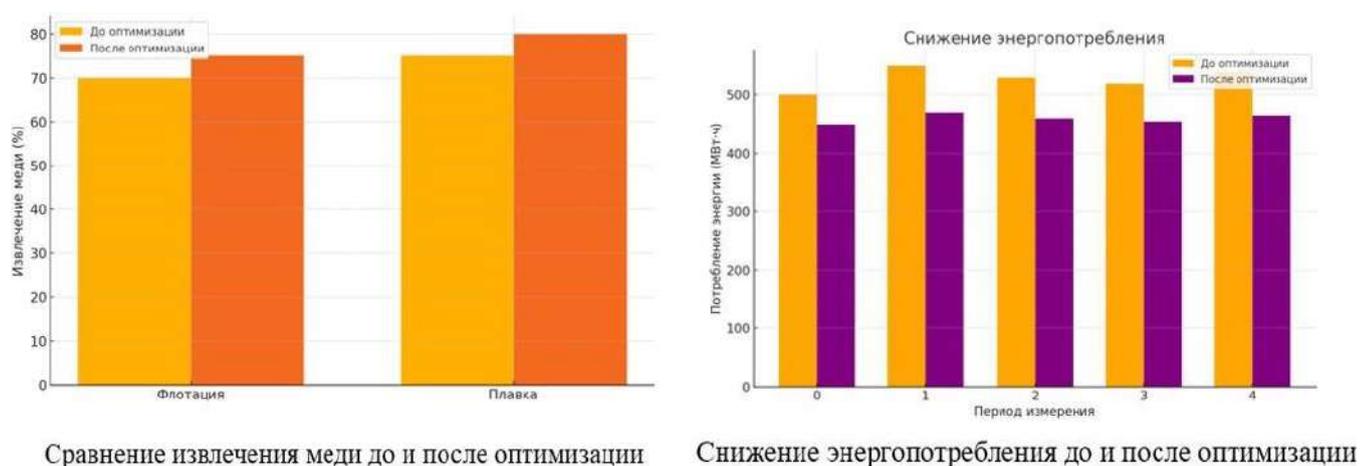


Рисунок 3 – Сравнение извлечения меди и снижение энергопотребления до и после оптимизации

Интеграция ИИ в процессы флотации и пирометаллургии доказала свою высокую эффективность в переработке медной руды. Машинное обучение обеспечивает не только оптимизацию каждого этапа, но и их тесную связку, что повышает извлечение меди, снижает затраты и улучшает экологические показатели.

Преимущества подхода:

Повышение извлечения меди благодаря точной настройке флотации и температурных режимов плавки.

Снижение расхода реагентов и энергии, рост рентабельности.

Минимизация потерь металла за счёт динамической корректировки параметров.

Экологическая безопасность: меньше выбросов и более эффективное использование ресурсов.

Автоматизация процессов, снижение влияния человеческого фактора и повышение стабильности работы.

Результаты показывают, что ИИ способен значительно повысить эффективность и устойчивость металлургии. Дальнейшие шаги — расширение функциональности, адаптация к другим типам руд и внедрение предиктивной аналитики для предупреждения сбоев и повышения надёжности оборудования.

Из этого следует, интеллектуальные технологии становятся важным инструментом для повышения производительности, сокращения затрат и улучшения экологии в современном металлургическом производстве.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Schlesinger, M. E., Chen, J. C., & Wilkinson, W. L. «Extractive Metallurgy of Copper», 4-е изд. – Elsevier, 2005.
2. Fuerstenau, M. C. и Han, K. N. «Principles of Mineral Processing», 2-е изд. – Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 2003.
3. Gupta, C. K. «Extractive Metallurgy of Nonferrous Metals», 2-е изд. – Wiley, 2011.
4. Chaubal, P., et al. Pyrometallurgical Process Modeling and Simulation // JOM, Volume 61, Issue 12, 2009, pp. 59–65.
5. Zhou, Zhiqiang, et al. Artificial Intelligence in Process Systems Engineering: Current Status and Future Directions // Computers & Chemical Engineering, Volume 70, 2014, pp. 116–126.

УДК 629.083, 621.785

Гридунов И.Д. (21-ДТТ-3а, ВКТУ), Комбаев К.К. (к.т.н., ВКТУ)

## СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОЙ ХРОМОМОЛИБДЕНОВОВАНАДИЕВОЙ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ 42ХМФА ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ МОДИФИКАЦИИ

*Аннотация.* В данной статье представлены результаты структурно-фазовых исследований высокопрочной хромомолибденованадиевой конструкционной стали 42ХМФА после электролитно-плазменной модификации. Проведен сравнительный анализ микроструктуры поверхности образцов до и после обработки с использованием металлографического анализа. Методом рентгеноструктурного анализа изучены изменения фазового состава, выявлено формирование упрочненных структур, а также перераспределение карбидных фаз. Установлено, что электролитно-плазменная обработка способствует измельчению зерна, повышению однородности микроструктуры и увеличению доли упрочняющих фаз. Полученные результаты позволяют оценить влияние данной технологии на эксплуатационные характеристики стали и обосновать перспективность её применения.

*Ключевые слова.* Коленчатый вал; электролитно-плазменная модификация; микроструктура; рентгеноструктурный анализ; сталь

Коленчатый вал является одной из ключевых деталей двигателя внутреннего сгорания, преобразующей возвратно-поступательное движение поршней во вращательное. В процессе работы он испытывает значительные знакопеременные нагрузки, которые вызывают усталостные напряжения и постепенный износ. Помимо механических нагрузок, коленчатый вал подвергается термическому воздействию, что усиливает риск образования трещин и деформаций [1].

На рисунке 1 показана конструкция коленчатого вала КамАЗ-740, основными элементами которого являются: коренные 1 и шатунные 2 шейки, галтели 3, щеки 4, противовесы 5, фланец маховика 6 и хвостовик 7.

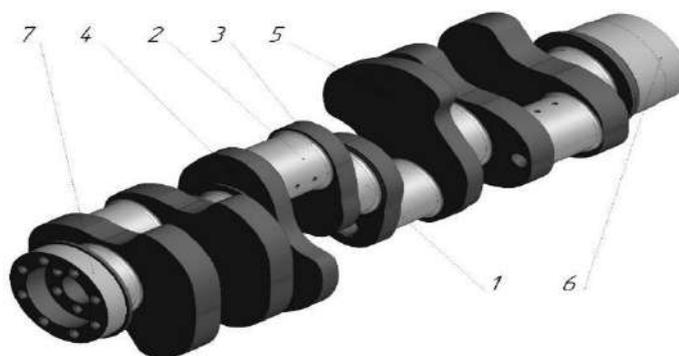


Рисунок 1 – Коленчатый вал КамАЗ-740

При изготовлении коленчатых валов поверхностный слой коренных и шатунных шеек подвергается поверхностной обработке (закалка токами высокой чистоты, азотирование, цементация и т.д.) для увеличения твердости, износостойкости и усталостной прочности. Во время капитального ремонта данный слой материала снимается шлифовкой в ремонтный размер, что снижает его первоначальные механические свойства. Для восстановления эксплуатационных характеристик после ремонта требуется дополнительное поверхностное упрочнение шеек коленчатого вала [2]. Электролитная плазменная модификация (ЭПМ) открывает широкие возможности для ремонта и улучшения характеристик коленчатых валов, предлагая новый подход к решению таких проблем, как износ, усталость и повреждение поверхности [3]. Электролитно-плазменная технология позволяет модифицировать свойства поверхности материала, а также изменять его макро- и микроструктуру, фазовый состав, обеспечивая тем самым улучшенные эксплуатационные характеристики [4]. Также ЭПМ может вызывать сжимающие остаточные напряжения в поверхностных слоях коленчатого вала, эффективно замедляя зарождение и распространение трещин, тем самым повышая усталостную прочность и устойчивость детали к механическим повреждениям [5].

Для проведения исследований из коленчатого вала КамАЗ-740 были изготовлены образцы (рис.2). Материал образцов – высококачественная сталь 42ХМФА ТУ 14-1-5083-91 (аналог AISI 4140). Это разновидность легированной хромомолибденованадиевой стали, известной своей высокой прочностью, вязкостью и отличной прокаливаемостью [6].

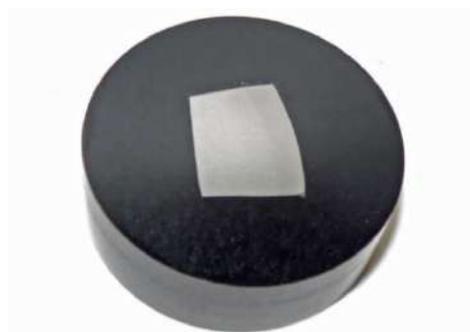


Рисунок 2 – Образец из стали 42ХМФА

Сталь 42ХМФА имеет следующий химический состав: (0,40 – 0,45)% С; (1,00-1,30)% Cr; (0,50 – 0,80)% Mn; (0,35 – 0,45)% Mo; (0,08 – 0,12)% V; (0,17 – 0,37)% Si;  $\leq 0,3$  Ni; (0,007 – 0,025)% S;  $\leq 0,025$ ;  $\leq 0,3$  Cu; Fe – остальное.

После обработки электролитно-плазменным методом наблюдаются изменения в микроструктуре поверхности стали 42ХМФА (рис. 3). До ЭПМ сталь 42ХМФА характеризуется феррито-перлитной структурой, в которой перлит представлен смесью феррита и цементита, обеспечивающей оптимальное сочетание прочности, пластичности и вязкости [7]. Такая

структура формируется в результате термической обработки после горячей деформации и характеризуется равномерным распределением фаз, что способствует хорошей обрабатываемости материала. После ЭМП в стали 42ХМФА был сформирован градиентный фазовый состав: в поверхностном слое увеличилось содержание мартенсита и карбидных фаз, что позволило повысить его твердость и износостойкость. В то же время в сердцевине сохраняется структура, обеспечивающая необходимую вязкость и сопротивление ударным нагрузкам. Морфология поверхности стала более однородной и плотной, произошло измельчение зерен, что указывает на повышение прочности и износостойкости материала.

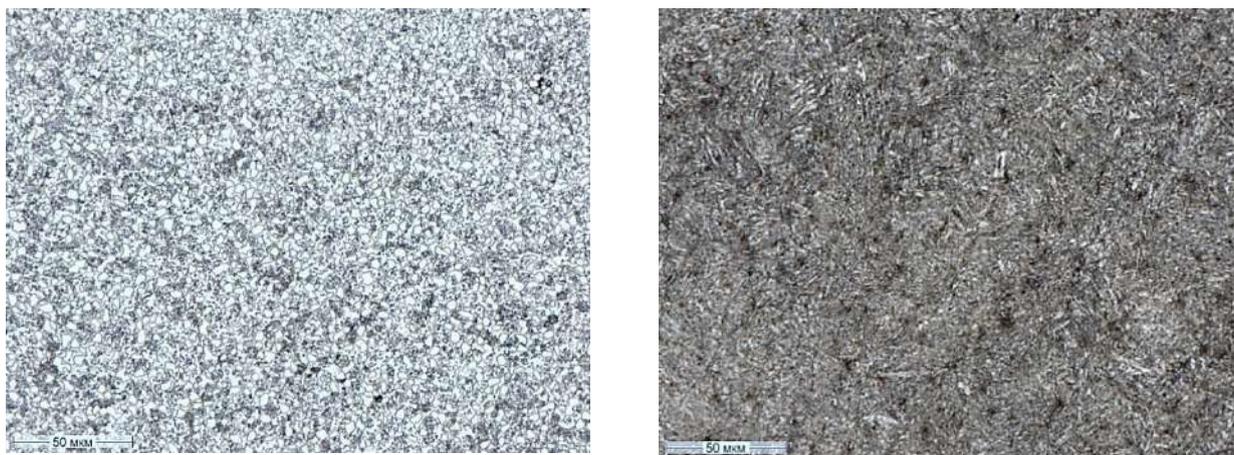


Рисунок 3 – Микроструктура поверхности стали 42ХМФА  
(слева – до обработки; справа – после ЭМП)

Качественный и количественный фазовый анализ структуры стальных образцов проводился на рентгеновском дифрактометре «X'Pert PRO» компании «PANalytical» с использованием  $\text{Cu-K}\alpha$  излучения. В результате структурных преобразований и химико-термического воздействия высокотемпературной плазмы возникли макронапряжения. После ЭМП наблюдается увеличение интенсивности и уширение дифракционных линий (рис. 4), что свидетельствует о напряженном состоянии, обусловленном термическими эффектами.

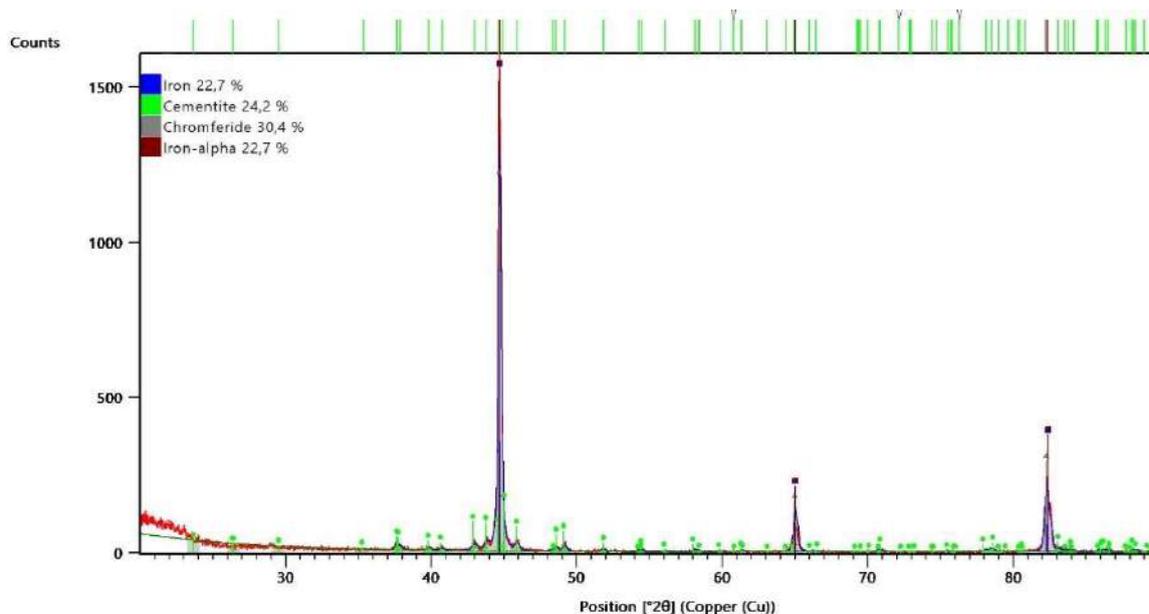


Рисунок 4 – Дифракционная картина поверхности закалённой стали 42ХМФА

Дифракционная картина поверхности закалённой стали 42ХМФА характеризуется наличием интенсивных рефлексов, соответствующих мартенситной фазе, что свидетельствует о высокой степени закалочной структуры [8]. Были зафиксированы слабые дифракционные линии, относящиеся к остаточному аустениту, рефлексы карбидных фаз цементита ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), карбиды хрома ( $\text{Cr}_3\text{C}_2$ ,  $\text{Cr}_7\text{C}_3$ ,  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ ), молибдена ( $\text{Mo}_2\text{C}$ ,  $\text{MoC}$ ), а также комплексные карбиды ( $(\text{Fe,Cr,Mo})_3\text{C}$ ), образующиеся в результате легирования хромом, молибденом и ванадием, что подтверждает их участие в упрочнении материала.

Основную роль в формировании мартенсита играют напряжения. Источниками напряжений являются: температурные градиенты по сечению, неоднородность химического состава, несовершенство структуры, различная ориентация кристаллов в пространстве, различный удельный объем аустенита и мартенсита, различные коэффициенты линейного расширения фаз.

### Выводы:

1. Электролитно-плазменная модификация оказывает значительное влияние на микроструктуру поверхностного слоя стали 42ХМФА, способствуя формированию фазового состава из мартенсита и карбидных фаз цементита ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), хрома ( $\text{Cr}_3\text{C}_2$ ,  $\text{Cr}_7\text{C}_3$ ,  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ ), молибдена ( $\text{Mo}_2\text{C}$ ,  $\text{MoC}$ ) и комплексных карбидов ( $(\text{Fe,Cr,Mo})_3\text{C}$ ), что подтверждается рентгеноструктурным анализом;
2. После ЭПМ наблюдается измельчение зерен и повышение однородности микроструктуры, что приводит к улучшению механических свойств, таких как твёрдость и износостойкость поверхности;
3. Электролитно-плазменная модификация является перспективной технологией для упрочнения стали 42ХМФА, поскольку позволяет

контролируемо изменять её микроструктуру и фазовый состав, повышая эксплуатационные характеристики без значительного ухудшения пластичности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ОАО «КАМАЗ» Руководства по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту, Двигатели КамАЗ, Набережные Челны, 2002г., 247 с.
2. Возницкий И.В. Повреждения и поломки дизелей. Примеры и анализ причин. Издание второе, переработанное – Санкт-Петербург, 2006 г.
3. Pogrebnyak, A.D., Kaverina A.S., Kylyshkanov M.K. Electrolytic plasma processing for plating coatings and treating metals and alloys. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces* 2014, 50, 72-87, <https://doi.org/10.1134/S2070205114010092>.
4. К.К. Kombayev, L.I.Kveglis, S.E. Sandybay, A.T. Shokputova. Technology of electrolytium-plasma treatment of aluminum alloys // *Journal "Scientific Israel- Technological Advantages" MATERIALS ENGINEERING & NEW TECHNOLOGIES* Vol.20, № 1, 2018, p. 46-52.
5. Kuat Kombayev, Alina Kim, Daniyar Yelemanov, Gulden Sypainova, Strengthening of Low-Carbon Alloy Steel by Electrolytic-Plasma Hardening, *International Review of Mechanical Engineering (I.R.E.M.E.)*, Vol. 16, N. 2, February 2022 (ISSN 1970-8734).
6. I.D. Gridunov, D.S. Yelemanov, A.B. Kasenova, K.K. Kombayev, Electrolyte-plasma surface treatment of 42XMFA (similar material aisi 4140) structural alloy steel, used for the manufacture of crankshafts of kamaz-740 engines, *Bulletin D. Serikbayev of EKTU, Transport №3, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan*, 2022.
7. Erding Wen, Renbo Song and Wenming Xiong. Effect of Tempering Temperature on Microstructures and Wear Behavior of a 500 HB Grade Wear-Resistant Steel, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI) – Metals* 2019,9,45.
8. S.S. Gorelik, Y.A. Skakov, L.N. Rastorguev. X-ray and electron-optical analysis. *Izd. 4-th, revision and supplement. - M., "Misis", 2002. - 357 с.*

УДК 628.971.8

Горковенко А.В. (24-ММТ-2зт, ВКТУ), Абдулина С.А. (PhD, ВКТУ)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СОРБЦИИ БЕРИЛЛИЯ ИЗ СУЛЬФАТНЫХ РАСТВОРОВ

***Аннотация:** В данной статье рассмотрены процессы сорбции бериллия из сульфатных растворов. Исследовано влияние различных параметров, таких как pH среды, температура, тип сорбента и концентрация ионов бериллия на эффективность процесса. Проведены лабораторные эксперименты по определению статической и динамической обменных ёмкостей, кинетики сорбции и десорбции. Определены оптимальные условия процесса для эффективного извлечения бериллия с последующим осаждением его в виде гидроксида.*

***Ключевые слова:** бериллий, сорбция, десорбция, ионит, обменная ёмкость, извлечение, искусственный интеллект.*

Бериллий – стратегически важный металл, используемый в атомной, авиационной и электронной промышленности. Добыча и переработка бериллия связаны с экологическими и экономическими проблемами, что делает актуальным поиск эффективных методов его извлечения. Одним из наиболее перспективных методов является сорбция с применением ионитов хелатного типа, обеспечивающих селективное извлечение бериллия из сульфатных растворов.

На сегодняшний день разработано несколько технологий извлечения бериллия, включая осаждение, растворение и экстракцию. Однако, методы, основанные на сорбции, демонстрируют высокую эффективность при относительно низких энергозатратах и минимальном воздействии на окружающую среду. Исследования в этой области направлены на оптимизацию сорбционных характеристик применяемых материалов и выявление наиболее подходящих условий для процесса извлечения бериллия.

Дополнительно, рассмотрение современных методов извлечения бериллия важно с точки зрения устойчивого развития и экологической безопасности. Использование малоотходных технологий способствует снижению негативного влияния на окружающую среду и повышает эффективность производства. [1]

Методика исследования

### 1. Применяемые растворы и оборудование

Следует отметить, что выбор сорбента определяется не только его химической селективностью, но и физическими характеристиками, такими как размер пор, механическая прочность и регенерационная способность. Также важную роль играет температура процесса, влияющая на кинетику сорбции и стабильность сорбента в длительной эксплуатации.

В качестве объекта исследования использовались технологические сульфатные растворы бериллия, получаемые по сульфатно-щелочной схеме. Сорбция проводилась с использованием хелатных ионитов Puromet MTS9500

и Puromet MTS9570, а также сильнокислотного катионита КУ-2-8. Оценка эффективности процесса осуществлялась методом спектрофотометрии и атомно-абсорбционной спектроскопии.

Методика определения сорбционных характеристик

Исследованы статическая и динамическая обменные ёмкости сорбентов, кинетика сорбции и десорбции. Динамическая ёмкость определялась методом проскока металла через слой сорбента. Эксперименты проводились при варьировании рН (3,0–5,5), температуры (20–60°C) и концентрации бериллия (10–100 мг/л). Определение содержания бериллия в растворах проводилось с помощью спектрофотометрии.

Проведены исследования по влиянию времени контакта раствора с сорбентом на эффективность процесса. Эксперименты показали, что максимальное извлечение бериллия достигается при времени контакта 60 минут. При увеличении времени более 90 минут эффективность незначительно снижается из-за возможного десорбционного процесса. [2]

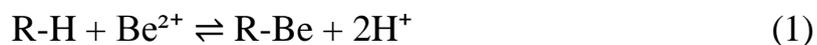
Результаты и обсуждение

#### 1. Влияние рН на сорбцию бериллия

Исследования показали, что эффективность извлечения бериллия зависит от значения рН раствора и максимальная степень сорбции наблюдается в определённом диапазоне значений рН и температуры. Важно также отметить, что на процесс сорбции влияет скорость потока раствора через сорбент, что связано с динамическими характеристиками массопереноса.

Результаты эксперимента показали, что оптимальная степень извлечения бериллия достигается при рН 4,5–5,0. В этих условиях сорбция ионов  $\text{Be}^{2+}$  на хелатных смолах достигает 95%. Это можно объяснить тем, что при рН 4,5–5,0 ионы  $\text{Be}^{2+}$  существуют в наиболее стабильной и доступной для взаимодействия с активными группами сорбента форме. В этих условиях образуются стабильные комплексы бериллия с функциональными группами хелатных смол, что обеспечивает высокую степень извлечения.

Процесс сорбции бериллия на хелатных ионообменных смолах можно описать следующим уравнением:



Дополнительные эксперименты показали, что при более низких значениях рН (3,0–3,5) происходит конкуренция между ионами водорода и ионами бериллия за места на сорбенте. В этом случае увеличивается концентрация ионов  $\text{H}^+$ , что снижает доступность активных центров для захвата ионов  $\text{Be}^{2+}$ , и, как следствие, снижает эффективность сорбции. При рН выше 5,5 начинается образование труднорастворимых соединений бериллия, что также ведет к снижению эффективности процесса сорбции. Образующиеся соединения могут быть малорастворимыми гидроксидами или солями бериллия, которые не могут эффективно взаимодействовать с сорбентом, что объясняет снижение степени извлечения при высоком рН.

## 2. Влияние температуры

Температурные изменения в диапазоне 20–50°C не оказали значительного влияния на степень извлечения бериллия, что указывает на химическую природу взаимодействия между бериллием и сорбентом. Вероятно, на этих температурах процесс сорбции находится в термодинамическом равновесии, и изменения температуры не влияют на концентрацию активных форм ионов  $\text{Be}^{2+}$  в растворе.

Однако при повышении температуры до 60°C наблюдается ускорение кинетики сорбции, что может быть связано с увеличением молекулярной активности ионов в растворе, а также с ускорением массопереноса. Повышение температуры снижает вязкость раствора и улучшает диффузию ионов к активным центрам сорбента, что ускоряет процесс сорбции и может быть полезно для повышения скорости обработки в промышленности. Это подчеркивает важность учёта температурных условий при масштабировании процесса.

## 3. Оптимальный сорбент

Наибольшая эффективность сорбции бериллия была достигнута при использовании ионообменной хелатной смолы Puromet MTS9500. Этот сорбент обеспечивает не только высокую степень извлечения, но и стабильность своих сорбционных характеристик в различных условиях. В частности, Puromet MTS9500 проявляет высокое сродство к ионам бериллия благодаря наличию специфических функциональных групп, которые эффективно связывают ионы  $\text{Be}^{2+}$ .

Сравнительные исследования с другими сорбентами, показали, что Puromet MTS9500 превосходит их по эффективности извлечения, стабильности работы при изменении pH и температуры, а также по долговечности в процессе эксплуатации. Это делает Puromet MTS9500 перспективным материалом для практического применения в очистке водных растворов от ионов бериллия и других тяжёлых металлов. [3]

Таблица 1 – Сравнительная эффективность сорбентов при извлечении бериллия из сульфатных растворов

Ионит	Форма	Сорбция Be, %	Извлечение примесей, %
Puromet MTS9500	Na+	95%	85%
Puromet MTS9570	Na+	92%	80%
KУ-2-8	H+	78%	60%

## 4. Промышленное применение

Изученные сорбционные процессы могут быть внедрены в различные отрасли промышленности для эффективного извлечения бериллия как из водных растворов, так и из пульп. Эти технологии могут быть полезны в таких сферах, как переработка руд, очистка сточных вод, а также в электронике и

производстве аккумуляторов, где важна высокая степень извлечения бериллия.

Применение сорбционных методов позволит значительно снизить затраты на химические реагенты, уменьшить энергетические издержки за счёт оптимизации условий процесса и снизить экологическую нагрузку, уменьшая количество токсичных отходов, таких как солеобразующие соединения и гидроксиды.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку эффективных технологий регенерации сорбентов, что позволит существенно сократить эксплуатационные расходы и продлить срок службы материалов. Эти технологии могут включать как термическую, так и химическую регенерацию, что обеспечит повторное использование сорбента без потери его эффективности. Реализация таких технологий повысит устойчивость процесса извлечения бериллия, сделав его более экономически эффективным и экологически безопасным.[4]

*Применение методов искусственного интеллекта в сорбционных процессах*

Современные методы искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения открывают новые возможности для анализа данных, оптимизации технологических параметров и автоматизации управления процессами сорбции бериллия. Использование ИИ позволяет повысить эффективность извлечения металла, снизить расход реагентов и минимизировать потери сырья, что существенно улучшает экономическую эффективность процессов.

Основные направления применения ИИ в сорбционных процессах включают:

Анализ экспериментальных данных и выявление закономерностей. Использование алгоритмов ИИ позволяет обрабатывать большие объемы данных, выявлять скрытые закономерности и оптимальные условия для сорбции, которые не всегда очевидны при традиционном подходе.

Прогнозирование эффективности сорбентов при различных условиях. ИИ может анализировать данные о различных сорбентах и их поведении в разных условиях (рН, температуры, состава раствора и др.), предсказывая, какой сорбент будет наиболее эффективен в конкретной ситуации.

Автоматизацию мониторинга и управления сорбционными установками. Внедрение систем ИИ позволяет оптимизировать управление процессом в реальном времени, оперативно адаптируя параметры работы установки в ответ на изменения в составе раствора или внешних условиях.

Методы машинного обучения, такие как регрессионный анализ и нейронные сети, позволяют строить предсказательные модели, которые оценивают эффективность сорбции на основе больших массивов экспериментальных данных. Эти модели могут использоваться для оперативной корректировки параметров процесса в реальном времени, что повышает стабильность и экономическую эффективность процесса, а также снижает риск ошибок и потерь.

Кроме того, внедрение ИИ способствует значительному повышению уровня автоматизации производства. Системы предиктивного контроля, основанные на алгоритмах машинного обучения, позволяют заблаговременно выявлять отклонения от оптимальных режимов работы и предотвращать технологические сбои. Например, алгоритмы могут анализировать данные с сенсоров в реальном времени и предсказывать возникновение неисправностей или отклонений от нормы до того, как они приведут к существенным проблемам.

Таким образом, интеграция ИИ в процессы сорбции бериллия представляет собой перспективное направление для совершенствования современных гидрометаллургических технологий. Однако важно отметить, что успешная реализация этих технологий требует высокого уровня вычислительных мощностей и точных данных, что может стать вызовом на первых этапах внедрения.

#### Заключение

Проведённые исследования подтвердили высокую эффективность сорбции бериллия из сульфатных растворов с использованием хелатных ионообменных смол, в частности, Puromet MTS9500. Оптимальные условия для достижения максимальной эффективности процесса включают pH 4,5–5,0, температуру 60°C и использование данного сорбента, что позволило достичь 95% извлечения металла. Результаты экспериментов могут быть успешно применены для внедрения технологии сорбционного извлечения бериллия на промышленном уровне.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на несколько ключевых направлений. Во-первых, важно продолжить оптимизацию состава сорбционных материалов, а также разработку новых типов сорбентов с улучшенной селективностью и увеличенным ресурсом работы. Это обеспечит ещё более эффективное извлечение бериллия, а также повысит экономическую целесообразность процесса. Во-вторых, перспективным направлением является внедрение автоматизированных систем контроля качества сорбции, которые позволят значительно повысить стабильность и точность технологических процессов на промышленных установках. В-третьих, особое внимание должно быть уделено разработке и внедрению технологий регенерации сорбентов, что обеспечит их многократное использование и снизит эксплуатационные расходы.

Вместе с тем, интеграция современных методов искусственного интеллекта и машинного обучения в процессы сорбции, включая анализ экспериментальных данных, прогнозирование эффективности сорбентов и автоматизацию управления процессами, может существенно повысить их экономическую и технологическую эффективность. Это откроет новые возможности для улучшения стабильности и сокращения затрат, что особенно важно для долгосрочного и устойчивого применения технологии.

Таким образом, дальнейшее развитие сорбционных технологий с учётом новых материалов, оптимизации процессов и применения интеллектуальных

систем является важным шагом на пути к совершенствованию процессов извлечения бериллия и других тяжёлых металлов в гидрометаллургической промышленности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матясова В.Е. Бериллий. Технология и производство - М: ООО «Винпресс», 2020. – 320 с.
2. Патент RU2571763C1 Способ извлечения бериллия методом ионного обмена/Коцарь М.Л., Ананьев А.В., Матясова В.Е., Алекберов З.М., Быков А.Д., Борсук А.Н., опубл в 2015 г.
3. Милютин В.В., Некрасова Н.А., В.О. Каптаков В.О. /Новые сорбционные материалы в процессах извлечения ценных компонентов из растворов и очистки сточных вод// Труды Кольского научного центра РАН. 2018. Т.9. № 2-1. С. 67-71.
4. Ковальчук, В. Ю. (2023). «Технология извлечения бериллия из сульфатных растворов с использованием новых сорбентов». *Научные и прикладные исследования в химии*, 18(4), 88–95.

УДК 628.971.8

Достовалов В.О. (24-ММТ-2т, ВКТУ), Серая Н.В. (к.х.н, ВКТУ)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИОННОГО УПЛОТНЕНИЯ ПОРОШКА БЕРИЛЛИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛОТНОЙ СТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛА

***Аннотация:** В статье рассматривается процесс предварительного вибрационного уплотнения порошка бериллия в контексте автоматизации и цифровой трансформации технологических процессов в порошковой металлургии. Проведен анализ свойств бериллия, определяющих его использование в авиационно-космической, атомной и других высокотехнологичных отраслях. Оценены преимущества применения автоматизированных систем контроля и роботизированных технологий для повышения плотности, изотропности и пластичности конечного материала. Рассмотрены перспективы внедрения цифровых двойников и моделирования технологических процессов с целью повышения точности и эффективности производства.*

***Ключевые слова:** бериллий, вибрационное уплотнение, порошковая металлургия, уплотнение, автоматизация, роботизация, цифровые двойники.*

Порошковая металлургия является одной из самых перспективных областей благодаря возможности производства материалов с уникальными свойствами. Эта технология позволяет создавать изделия с микрокристаллической, наноразмерной и аморфной структурами, которые существенно улучшают физические и механические характеристики материалов [1].

Особый интерес вызывает применение бериллия — конструкционного металла с уникальными свойствами. Благодаря своей лёгкости, высокой прочности, жёсткости и ценным ядерным характеристикам бериллий находит применение в атомной, авиационной, ракетной и космической отраслях. Сравнительная характеристика некоторых свойств бериллия со свойствами других конструкционных материалов, использующихся в авиационной и ракетной технике представлена в таблице 1 [2].

Однако использование металлического бериллия ограничивается его недостаточной пластичностью, что создаёт трудности в обработке и снижает его деформационные свойства. Гексагональная плотноупакованная (ГПУ) структура бериллия усложняет процесс механической обработки и затрудняет производство плотных заготовок с заданными характеристиками [3].

Таблица 1 - Свойства некоторых конструкционных материалов

Материалы	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Прочность σв, кг/мм <sup>2</sup>	Отношение прочности к плотности	Модуль упругости, Е·10 <sup>-3</sup> кг/мм <sup>2</sup>	Отношение модуля упругости к плотности
Высокопрочная сталь	7,8	196	25,1	21,0	2,7
Высокопрочная стальная проволока	7,8	438	56,2	21,0	2,7
Сплав на основе титана	4,7	84	17,7	11,9	2,5
Высокопрочный сплав на основе титана	4,7	154	32,7	11,9	2,5
Высокопрочный алюминиевый сплав	2,7	56	20,7	7,0	2,6
Бериллий горячепрессованный	1,84	28	15,2	29,4	16,0
Бериллий выдавленный	1,84	49	26,6	29,4	16,0
Бериллий сорта S - 200	1,84	59	32,1	29,4	16,0
Бериллий сорта I – 400 (плотность без коррек- тировки на содержание BeO)	1,84	73	39,7	29,4	16,0
Бериллий плавленный	1,84	14	7,6	29,4	16,0
Бериллий, выдавленный из плавленого	1,84	28	15,2	29,4	16,0

Для преодоления этих ограничений актуальными становятся исследования, направленные на усовершенствование технологий переработки бериллия. Одним из перспективных направлений является предварительное уплотнение бериллиевых порошков. Это позволит улучшить изотропию структуры материала, повысить его плотность и пластичность, а также обеспечить стабильность свойств. Предварительное уплотнение с использованием вибрационных колебаний является наиболее эффективным способом достижения этих целей. Вибрационное уплотнение способствует равномерному распределению частиц и формированию плотной структуры, что значительно улучшает механические свойства конечного продукта [2].

Совершенствование методов обработки порошков бериллия, направленных на улучшение структуры и свойств конечного материала, является важным шагом для расширения его применения в промышленности. Применение вибрационного уплотнения позволяет повысить плотность структуры и обеспечить стабильность характеристик бериллиевых изделий, что особенно актуально в условиях возрастающих требований к качеству материалов в высокотехнологичных отраслях [4].

Целью настоящей работы является исследование параметров вибрационного уплотнения порошка бериллия для получения плотной структуры материала; изучение различных режимов вибрационного уплотнения, их влияния на структуру и свойства компактного бериллия. Применение вибрационных методов позволит:

- обеспечить равномерную плотность материала;
- улучшить изотропность структуры бериллия;
- увеличить прочность и пластичность конечного продукта;
- опвысить конкурентоспособность производства за счёт внедрения передовых технологий;
- снизить уровень загрязнений в процессе обработки.

Для получения заданных характеристик порошка бериллия и достижения поставленной цели, при выполнении исследования были поставлены следующие задачи:

- 1) Провести анализ существующих методов уплотнения порошков бериллия и их влияния на свойства материала.
- 2) Изучить параметры вибрационного уплотнения и их влияние на формирование структуры бериллия.
- 3) Разработать рекомендации по оптимизации процесса вибрационного уплотнения для повышения изотропности и плотности материала.
- 4) Провести сравнительный анализ механических свойств бериллия, полученного с использованием различных методов уплотнения.
- 5) Оценить перспективы внедрения разработанных подходов в промышленное производство.

Объектом исследования является порошок технического бериллия ПТБ - 56 микрон (АО УМЗ), представленный на рисунке 1, подвергаемый процессу вибрационного уплотнения для формирования плотной структуры материала [5].



Рисунок 1 – Порошок технического бериллия

Таким образом, способ предварительного вибрационного уплотнения порошков бериллия представляет собой перспективный метод совершенствования технологий порошковой металлургии, направленный на улучшение характеристик уникального металла и расширение сфер его применения в различных отраслях промышленности.

Важным аспектом исследования является внедрение цифровых технологий для контроля параметров вибрационного уплотнения, применение роботизированных установок и цифровых двойников для предсказания характеристик материала. Роботизация процессов порошковой металлургии позволит повысить точность дозирования и снизить потери материала. Использование цифровых двойников способствует снижению дефектности и повышению эффективности производства.

Результаты исследования подтверждают эффективность вибрационного уплотнения в качестве метода повышения плотности и механических свойств порошкового бериллия. Автоматизация и цифровизация процессов вибрационного уплотнения открывают новые возможности для промышленного использования бериллия в критически важных отраслях. Внедрение роботизированных систем и цифровых двойников способствует оптимизации параметров уплотнения, снижению дефектности и увеличению воспроизводимости технологического процесса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. М.И. Алымов. Порошковая металлургия nano кристаллических материалов, 2007, стр.8.
2. Тузов Ю.В., Краснощеков Е.С., Маркушкин Ю.Е. Бериллий — состояние проблемы, возможности и перспективы. — В сб.: Всероссийская научно-техническая конференция «Материалы ядерной техники» (МАЯТ-2010). Туапсе, Краснодарский край, 26 сентября — 2 октября 2010. Тезисы докладов. — М.: ОАО «ВНИИНМ», 2010, с. 13.
3. В.Я. Кременецкий. Перспективы применения бериллия в конструкциях ракетных двигателей и энергетических установок. Материалы научно-технической конференции, 1989. стр.12.
4. Перевод с англ. А.С. Капчерина; под ред.: Г.Ф. Тихинского, И.И. Папирова Бериллий: Наука и технология- М.: Металлургия, 1984. - 624 с.
5. Сырнев Б.В., Технология бериллия, тантала и ниобия, 2009. стр.69.

УДК 004.021

Дуйсен А. Р. (23-МУД-2, ВКТУ), Вдовин В. Н., (к.т.н., ВКТУ)

## ТИПОЛОГИЯ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ОБЗОР АЛГОРИТМОВ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДЛЯ АНАЛИЗА БОЛЬШИХ ДАННЫХ

*Аннотация.* При обработке больших объемов информации следует применять различные методы для их анализа. Одним из таких методов является кластеризация, которая позволяет группировать данные в кластеры. В статье проведена типология алгоритмов кластеризации и сравнительный анализ таких алгоритмов, как модель гауссовой смеси, DBSCAN и агломеративная кластеризация. Каждый алгоритм рассмотрен с точки зрения его преимуществ и недостатков, а также областей применения.

**Ключевые слова:** кластеризация, DBSCAN, агломеративная кластеризация, модель гауссовой смеси.

Кластерный анализ или кластеризация делит данные на группы (кластеры), таким образом, чтобы каждый кластер состоял из похожих объектов, а объекты разных кластеров были отличны друг от друга. В кластеризации перечень групп не задан четко, а определяется в процессе работы алгоритма [1].

Применение кластерного анализа в общем виде сводится к следующим этапам:

1. Отбор выборки объектов для кластеризации.
2. Определение множества переменных, по которым будут оцениваться объекты в выборке. При необходимости нормализация значений переменных.
3. Вычисление значений меры сходства между объектами.
4. Применение метода кластерного анализа для создания групп сходных объектов (кластеров).
5. Представление результатов анализа.
6. После получения и анализа результатов возможна корректировка выбранной метрики и метода кластеризации до получения оптимального результата [2].

Методы кластеризации можно разделить по следующим критериям.

По способу формирования кластеров:

- разделительные (partitioning) – разбивают данные на заданное число кластеров и доводят до минимума расстояние внутри кластера, а до максимума – расстояние между кластерами (например, k-means);
- основанные на плотности (density-based) – группируют точки, которые находятся в областях с высокой плотностью и отделяют их от областей с низкой плотностью (DBSCAN);

- основанные на модели (model-based) – предполагают, что данные порождены некоторой статистической моделью и подбирают параметры этой модели (смеси Гаусса);
- основанные на графах (graph-based) – используют графовое представление данных и разбивают его на подграфы, соответствующие кластерам (спектральная кластеризация);
- основанные на подпространствах (subspace-based) – ищут кластеры в подпространствах признаков, а не во всём пространстве (CLIQUE);
- основанные на ансамбле (ensemble-based) – комбинируют результаты различных алгоритмов кластеризации, чтобы получить более стабильное и надёжное разбиение (CSPA).

По степени вложенности кластеров:

- плоские (flat) – разбивают данные на один уровень кластеров, не учитывая их иерархию (k-means);
- иерархические (hierarchical) – разбивают данные на несколько уровней кластеров, учитывая их иерархию. Существуют два основных подхода к иерархической кластеризации: агломеративный (начинается с того, что каждый объект является отдельным кластером, а затем постепенно наиболее близкие кластеры объединяются в более крупные) и дивизионный (начинается с того, что все объекты составляют один кластер, а затем постепенно разделяются на более мелкие кластеры).

По степени пересечения кластеров:

- исключаяющие (exclusive) – каждый объект принадлежит только одному кластеру (k-means);
- перекрывающиеся (overlapping) – каждый объект может принадлежать нескольким кластерам (MCOKE);
- нечёткие (fuzzy) – каждый объект принадлежит каждому кластеру с некоторой степенью принадлежности (fuzzy k-means) [3].

В качестве инструмента кластеризации данных широко используется Python. С помощью данного языка программирования возможна реализация целого ряда алгоритмов, целесообразность применения которых зависит от сложности поставленной задачи и количества входных данных. В настоящей статье было проанализировано три распространенных алгоритма: модель Гауссовой смеси, DBSCAN и агломеративная кластеризация.

*Модель Гауссовой смеси (GMM)* предполагает, что кластеры в Python можно моделировать с помощью гауссова распределения, который обладает четко определенными свойствами, такими как среднее значение, дисперсия и ковариация. Среднее значение представляет собой среднее значение входного сигнала в кластере. Дисперсия измеряет колебания значений для одного входа. Ковариация – это матрица статистических данных, описывающая, как входы связаны друг с другом и, в частности, как они изменяются вместе.

В совокупности эти параметры позволяют алгоритму GMM создавать гибкие идентичные кластеры различной формы, что делает его более надежным, чем метод K-means.

Преимущества:

- быстрый алгоритм для обучения моделей смесей;
- алгоритм не смещает средние значения в сторону нуля и не смещает размеры кластеров, чтобы они имели определенные структуры, которые могут быть или не быть применимы.

Недостатки:

- при недостаточном количестве точек на смесь оценка ковариационных матриц становится затруднительной, и известно, что алгоритм расходится и находит решения с бесконечным правдоподобием, если только не регуляризовать ковариации искусственно.
- алгоритм всегда будет использовать все компоненты, к которым у него есть доступ, и для того, чтобы решить, сколько компонентов использовать в отсутствие внешних подсказок, нужны закрытые данные или критерии [4].

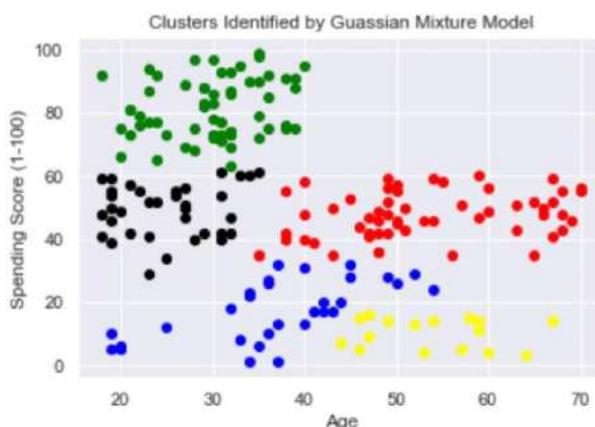


Рисунок 1 – Кластеры, полученные моделью Гауссовой смеси

*Агломеративная кластеризация* – это метод иерархической кластеризации, который объединяет объекты в кластеры на основе их близости. Изначально каждый объект считается отдельным кластером, а затем на каждом шаге два наиболее близких кластера сливаются в один, пока не будет достигнуто желаемое число кластеров или один общий кластер.

Важным аспектом в агломеративной кластеризации является способ вычисления расстояния между кластерами, который называется связью. Рассчитать связь можно с помощью метода Уорда (Ward's linkage), в котором объединение кластеров происходит таким образом, что сумма квадратов расстояний объектов до центров кластеров получает наименьшее приращение. Для каждого кластера  $K_s$ , состоящего из объектов  $X^{(1)}, \dots, X^{(n_s)}$  вычисляется величина  $D_s = \sum_{i=1}^{n_s} p^2(X^{(i)}, X)$ , где  $X$  – центр кластера  $K_s$ . Данная величина характеризует внутрикластерную дисперсию для кластера  $K_s$ . Для

совокупности кластеров  $\{K_1, K_2, \dots, K_q\}$  вычисляется суммарная сумма квадратов отклонений  $V_q = \sum_{s=1}^q D_s$ . На первом шаге все величины  $D_s = 0$ , и на каждом шаге объединяются те кластеры, которые приводят к наименьшему изменению величины  $V_q$  после объединения. Метод Уорда на каждом шаге приводит к формированию кластеров с наименьшей внутрикластерной дисперсией.

Алгоритм строится следующим образом:

- 1) для каждой пары кластеров рассчитывается расстояние Уорда на основе евклидова расстояния;
- 2) метки с минимальным расстоянием, то есть ближайшие кластеры объединяются в новый: всем объектам одного кластера присваиваются метки другого, после чего все новые метки, которые больше меток другого кластера, уменьшаются на 1, то есть их нумерация сдвигается влево для устранения пропусков в последовательности;
- 3) шаги 1-2 повторяются пока количество кластеров больше целевого  $n\_clusters$ .

К преимуществам агломеративной кластеризации относятся способность обнаружения кластеров произвольной формы, а также возможность формирования информативной иерархии кластеров, которая позволяет выбирать оптимальное число кластеров. Недостатки: необходимость использования большого количества вычислительных ресурсов; чувствительность к выбору критерия объединения кластеров; неустойчивость к шуму и выбросам, что может сильно исказить иерархию кластеров.

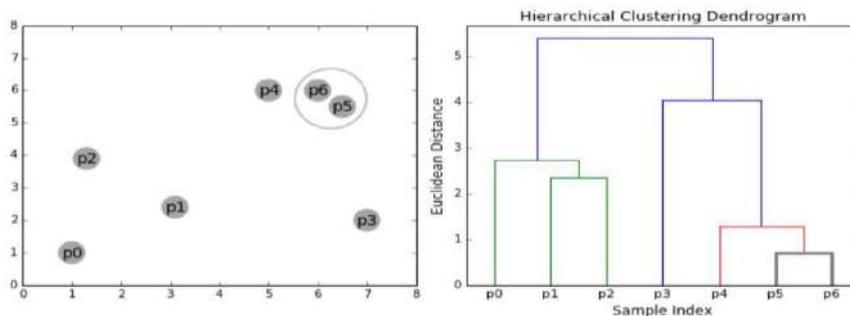


Рисунок 2 – Реализация агломеративного алгоритма

*Алгоритм DBSCAN* (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) основан на плотности точек в пространстве. Он группирует точки, которые находятся близко друг к другу и отмечает как выбросы точки, которые лежат в областях с низкой плотностью. Помимо того, что DBSCAN может обнаруживать кластеры произвольной формы и выбросы в данных, его главная особенность заключается в самостоятельном определении необходимого количества кластеров, что избавляет от необходимости в их подборе.

Данный метод считает, что две точки связаны, если они лежат в пределах окрестности друг друга. Наиболее важными параметрами, влияющими на результат кластеризации, являются  $\epsilon$ s (максимально допустимое расстояние

между точками, чтобы считаться соседями) и `min_samples` (минимальное количество точек в окрестности другой точки, чтобы считаться базовой точкой). Выбор правильных начальных параметров имеет решающее значение для его работы.

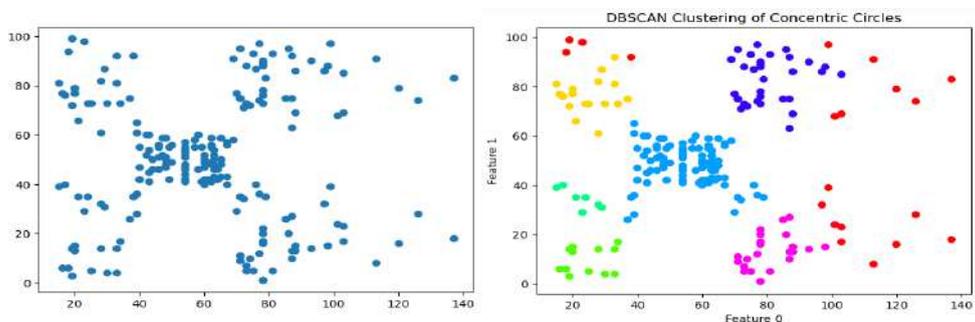


Рисунок 3 – Реализация DBSCAN

Преимущества алгоритма состоят в его устойчивости к выбросам, способности находить кластеры произвольной формы и в отсутствии необходимости указания количества кластеров. В то же время алгоритм не может работать с кластерами разной плотности. Для хранения расстояний между всеми точками требуется большой объём памяти.

Исходя из выше изложенного, выбор оптимального алгоритма зависит от поставленных задач.

Агломеративная кластеризация используется для визуализации структуры данных и выявления иерархических отношений между кластерами. Этот метод часто применяется в биологии, социальных науках и других областях, где важно изучение иерархий. Алгоритм DBSCAN эффективно справляется с задачами, где необходимо собрать кластеры произвольной формы и не задано их количество. Этот алгоритм особенно полезен при работе с большими и неоднородными данными. Модель гауссовой смеси, напротив, требует указания количества кластеров и чувствительна к выбросам, однако имеет более гибкий подход. Она может быть удобна для распределения точек доставки по маршрутам, когда один и тот же объект принадлежит нескольким кластерам.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронцов К.В. Алгоритмы кластеризации и многомерного шкалирования. Курс лекций. МГУ, 2007.
2. Мандель И. Д. Кластерный анализ. - М.: Финансы и статистика, 1988. - 176 с.
3. Кластеризация в ML: от теоретических основ популярных алгоритмов к их реализации с нуля на Python // <https://habr.com/ru/articles/798331/>
4. Модели гауссовских смесей (Gaussian mixture models) // <https://scikit-learn.ru/stable/modules/mixture.html>

**УДК 625.76.08:625.768.5**

Елеманов Д.С., (старший преподаватель, ВКТУ), Молдаханов Б.А.  
(PhD, ВКТУ)

**ПРАКТИЧЕСКАЯ ОПЫТНАЯ ПРОВЕРКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ  
МАТЕМАТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА  
ДИСКОВОЙ СЕЯЛКИ**

***Аннотация.** В статье изложена практическая опытная проверка работоспособности математических зависимостей рабочего процесса новой сеялки, входящей в состав посевного комплекса (далее ПК), а также экспериментальные исследования разработанной конструкции посевной секции. В частности, симуляцией напряжений в нагруженных деталях новой сеялки методом 3D моделирования был уточнен угол атаки дискового ножа. Экспериментальные исследования, проведенные на полях ТОО ОХМК в ВКО, показали высокую эффективность предложенной конструкции посевной секции проектируемого ПК, обеспечивающей снижение стоимости до ~15% и повышение эффективности эксплуатации на ~17 % по сравнению с аналогами.*

***Ключевые слова:** посевная секция, дисковые сошники, режущий диск, глубина посева, сеялка, полевые исследования, угол наклона.*

Практическое определение работоспособности математических зависимостей определения энергетических показателей процесса посева, осуществляемого ПК с новыми, разработанными в результате выполнения проекта, посевными секциями с дисковыми сошниками, производилось в системе ИП-264, эксплуатационно-технологической оценок машин и тяговых испытаний тракторов. Для нахождения количественных значений энергетических показателей была использована методика, основные положения которой описаны в работе:

$$\text{- для мгновенной скорости: } V_M = l_{\text{ПС}} \cdot k_{\text{П}} \cdot 3,6 \quad (1)$$

где:  $V_M$  - мгновенная скорость, км/ч;

$l_{\text{ПС}}$  - количество импульсов датчика пути за одну секунду;

$k_{\text{П}}$  - калибровочный коэффициент датчика пути, м<sup>4</sup>;

$$\text{- для средней скорости: } V_{\text{СР}} = l_{\text{П}} \cdot k_{\text{П}} \cdot 3,6/T \quad (2)$$

где:  $V_{\text{СР}}$  - средняя скорость за один эксперимент, км/ч;

$k_{\text{П}}$  - количество импульсов датчика пути за один эксперимент;

$T$  – длительность эксперимента;

$$\text{- для мгновенного тягового усилия: } P_M = S_{\text{ТС}} \cdot k_T \quad (3)$$

где:  $P_M$  - значение мгновенного тягового усилия, кН;

$S_{\text{ТС}}$  - среднее значение канала датчика усилия, В;

$k_T$  - калибровочный коэффициент датчика усилия, кН/В;

$$\text{- для среднего тягового усилия: } P_{\text{СР}} = S_T \cdot k_T \quad (4)$$

где:  $P_{\text{СР}}$  - значение среднего тягового усилия за один эксперимент, кН;

$S_T$  - среднее значение канала датчика за один эксперимент, В;

$$- \text{ для часового расхода топлива: } C = l_T \cdot k_T \cdot \rho \cdot 3,6/T \quad (5)$$

где:  $C$  – значение часового расхода топлива за один эксперимент, кг/ч;

$l_T$  - количество импульсов расходомера, имп;

$k_T$  - калибровочный коэффициент расходомера топлива, см<sup>3</sup>/имп;

$\rho$  - удельный вес топлива, г/см<sup>3</sup>;

$$- \text{ для удельного расхода топлива: } g = C \cdot 1000/N_{CP} \quad (6)$$

где:  $g$  – значение удельного расхода используемого топлива, г/кВт.ч.

Исходя из конструктивных особенностей разработанной конструкции посевной секции ПК уточнение наиболее оптимальных значений ее конструктивных параметров было проведено для угла атаки дискового сошника методом 3Д-моделирования. При проведении экспериментальных исследований угол атаки диска изменялся в диапазоне от 10 градусов до 20 градусов, остальные оставались постоянными - равными значениям, полученным при лабораторном исследовании. На рисунке 1 приведены результаты 3Д-симуляции процесса и определения опытных корреляционных данных влияния удельного тягового сопротивления  $R$  ( $R_{Cc}$  - стерневое поле,  $R_{Cn}$  – паровое поле) на исследуемые параметры.

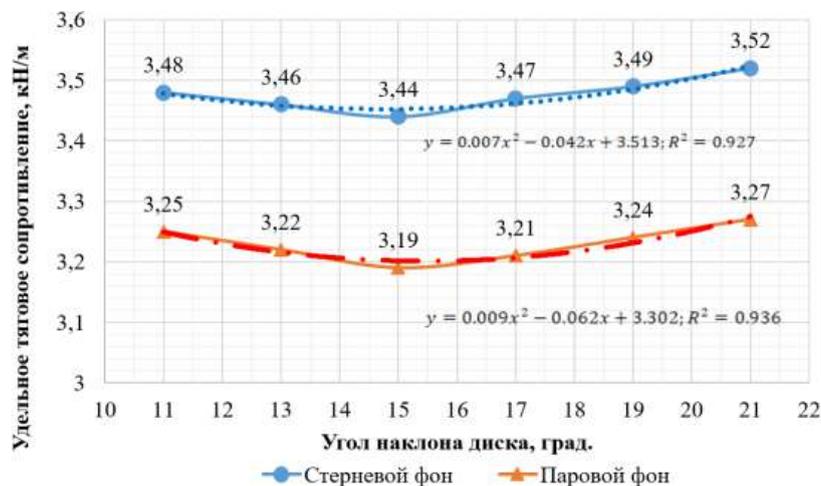


Рисунок 1 – Зависимость влияния угла врезания режущего диска на удельное тяговое сопротивление тянущего трактора

В результате аппроксимации экспериментальных данных, выполненной методом наименьших квадратов, были получены зависимости влияния изменения угла атаки переднего ребристого диска  $l_r$  на удельное тяговое сопротивление разработанной посевной секции ПК (см. рисунок 1):

- на стерневом фоне  $R_{Cc} = 0,007 l_r^2 - 0,042 l_r + 3,513$ , достоверность аппроксимации при этом составила  $R^2 = 0,927$ ;

- на паровом фоне  $R_{Cn} = 0,009 I_r^2 - 0,062 I_r + 3,302$ , достоверность аппроксимации составила  $R^2 = 0,936$ .

Экстремальные (минимальные) значения этих функций достигаются при угле наклона дискового сошника в диапазоне 15 - 17 градусов, при этом удельное тяговое сопротивление посевной секции ПК не превышает 3,44 кН/м, а на паровом фоне не превышает значения 3,19 кН/м. Этот диапазон угла атаки и был принят в итоговом варианте конструкции посевной секции ПК.

Исследования по определению влияния скорости движения и глубины посева на величину удельного тягового сопротивления разработанной посевной секции ПК также проводились в соответствии с известными положениями методик. В результате анализа экспериментальной информации были получены данные, приведенные на рисунке 2 и определены корреляционные зависимости между величиной удельного тягового сопротивления посевной секции ПК  $R$  и скоростью движения. Следует отметить, что исследования проводились только на стерневом фоне и значениях глубины посева в диапазоне от 0,04 м до 0,08 м с интервалом 0,02 м.

Вид полученных зависимостей (см. рисунок 3) говорит о том, что с ростом значений скорости движения разработанной конструкции посевной секции в составе ПК и глубины посева, значение удельного тягового сопротивления также возрастает, что, конечно, нежелательно. Скорость движения посевной секции и всего ПК при глубине посева, равной 0,06 м, не превышает рекомендуемой 11 км/ч, при этом значение удельного тягового сопротивления посевной секции в составе ПК не превышает 3,55 кН/м. Как было отмечено выше, полевые исследования разработанной посевной секции в составе ПК были выполнены на полях ТОО ОХМК ВКО, основной целью которого являлось нахождение количественных и качественных показателей работы посевного комплекса методом 3D моделирования.

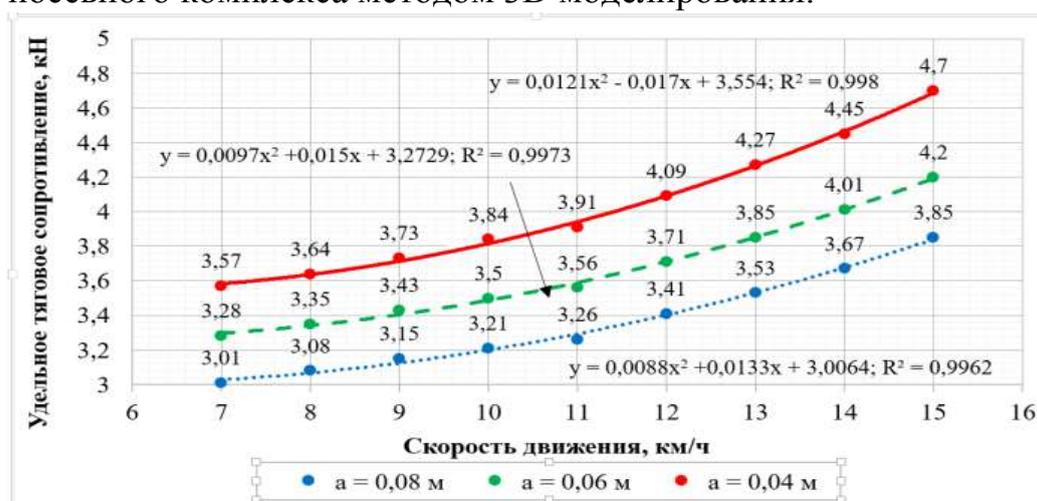


Рисунок 2 – Зависимость удельного тягового сопротивления разработанной посевной секции в составе ПК от скорости движения и глубины посева

В результате проведения экспериментов было установлено, что при работе экспериментальной посевной секции в составе ПК на стерневом фоне

ее удельное тяговое сопротивление составило 3,44 кН/м, а серийной сеялки Crucianelli «CRUCIANELLI Pionera 2717» - 3,96 кН/м, а на паровом фоне - 3,19 кН/м при работе новой посевной секции в составе ПК и 3,64 кН/м для сеялки «CRUCIANELLI Pionera 2717». Отсюда можно сделать вывод о том, что разработанная посевная секция позволяет снизить тяговое сопротивление в первом случае на 10,5 %, а во втором - на 5.3 %.

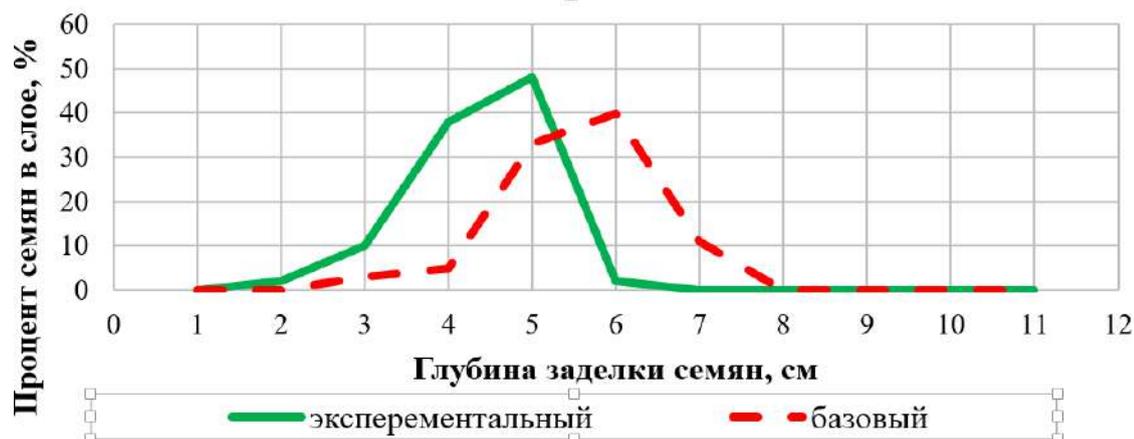


Рисунок 3 – Результаты оценки глубины заделки семян

На основе анализа данных и полигона распределения сделан вывод о том, что количество незасеянных площадок у экспериментальной посевной секции в составе ПК составил 2,25%, а у серийной сеялки «CRUCIANELLI Pionera 2717» 6,5%, при этом коэффициент вариации, оценивающий неравномерность распределения семян составил соответственно 58,95% и 84,4%. Отсюда можно сделать вывод о целесообразности применения в составе ПК экспериментальной посевной секции по сравнению с серийной сеялкой «CRUCIANELLI Pionera 2717».

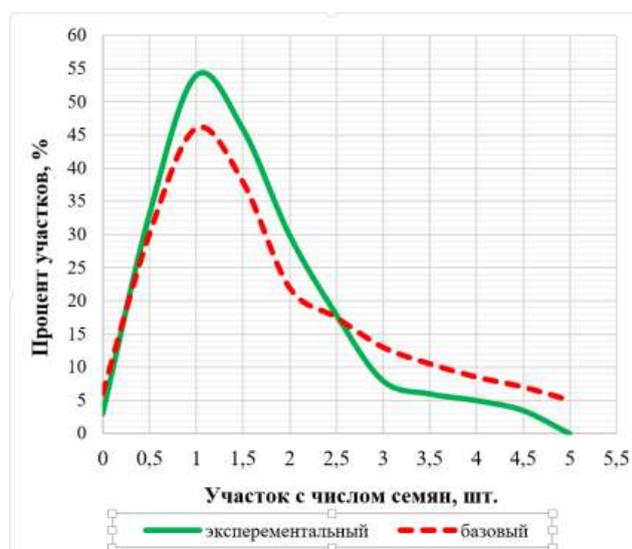


Рисунок 4 – Результаты оценки неравномерности распределения семян по площади посева

Оценка ширины засеваемой полосы. Результаты оценки представлены на рисунке 5 в виде графика распределения семян по ширине, засеваемой новой посевной секцией (в составе ПК) полосы.

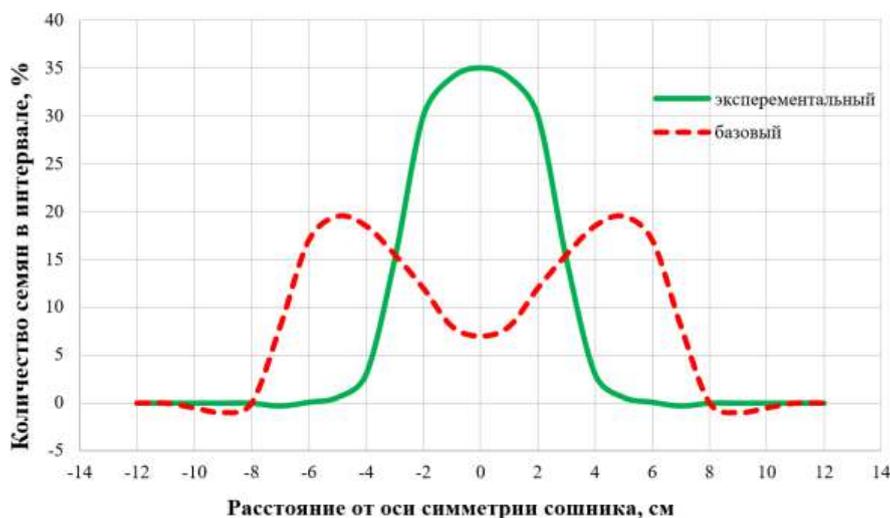


Рисунок 5 – Результаты оценки распределения семян по ширине, засеваемой новой посевной секцией полосы

Анализ опытно-экспериментальных результатов позволяет сделать вывод, что высеваящий механизм экспериментальной опытной посевной секции ПК более качественно распределяет масличные семена по ширине засеваемой полосы по сравнению с серийной сеялкой «CRUCIANELLI Pionera 2717». Исследования, результаты которого приведены в данной статье, финансировались Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант AP14869252 «Разработка конструкции универсального посевного комплекса с повышенной производительностью для эксплуатации в условиях агропромышленного производства Республики Казахстан»).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сельскохозяйственная техника и технологии / Под редакцией И.А. Спасина – М.: Колос, 2006. – 682 с.
2. Пименов А.В. Выбор сеялки прямого посева // Аграрный консультант. 2013. № 1 (6). – С. 14-16.
3. Инновационные разработки дисковых сошников для посевных агрегатов / В.Р. Петровец [и др.]. – Горки: БГСХА, 2019. – 316 с.
4. Булавинцев Р.А. Анализ конструкций сошников современных сеялок для прямого посева сельскохозяйственных культур//Агротехника и энергообеспечение. – 2018. – № 2 (19). – С. 85-91
5. Панов И.М., Синеоков Г.Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. – М.: Машиностроение, 2017. – 357 с.

**УДК 629.113:620.17**

Жаксанбеков А.К. (24-DTT-3, ВКТУ), Муздыбаева А.С. (к.т.н., профессор ВКТУ), M.Kot (PhD, профессор AGH University of Krakow)

## ИЗУЧЕНИЕ ВОПРОСОВ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСМИССИЙ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

***Аннотация.** В реальных условиях эксплуатации трансмиссия машин воспринимает различные удары и нагрузки. Это приводит к перегреву и износу его деталей до определенной температуры. В результате можно наблюдать многочисленные отказы трансмиссии транспортной техники. Условия эксплуатации грузовых автомобилей в Центральной Азии отличаются высокой запыленностью и абразивностью грунтов. Износостойкость агрегатов машин, в том числе деталей трансмиссии, в указанных условиях изучена недостаточно. Поэтому повышение износостойкости деталей машин имеет важное народнохозяйственное значение.*

***Ключевые слова:** грузовой автомобиль; элементы трансмиссии; шестерня; износостойкость; абразивное изнашивание.*

Результаты ранее выполненных исследований показали, что большая часть отказов машин происходит по причине износа. Поэтому при анализе процессов изменения состояния машин в функции времени особое внимание уделяется вопросам трения и изнашивания. Исследования закономерностей процессов трения деталей машин относятся к такой отрасли научных знаний, как трибология и ее инженерному приложению – триботехнике [1]. В соответствии с ГОСТ 27674-88 [2] износостойкость – это свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определённых условиях трения, оцениваемое величиной, обратной скорости изнашивания или интенсивности изнашивания. Износостойкость зависит от состава и структуры обрабатываемого материала, исходной твёрдости, шероховатости и технологии обработки детали, состояния ответной детали.

Для решения задач диссертационного исследования было проанализировано состояние вопроса исследования, а также собрана статистика об отказах по причине износов элементов трансмиссии грузовых автомобилей (рисунок 1): КамАЗ 65115 (молоковоз), гос номер 801AY16, пробег 418764 км.

Базовым предприятием выбрано предприятие ТОО «Эмиль». Компания «Эмиль» — это компания по переработке молока и выпуску молочной продукции. Компания «Эмиль» основана в 1993 году и сотрудничает с такими предприятиями: «Камышинское», «Опытное хозяйство масленичных культур», «Воробьев и Ко», «Шемонайхинское», «Шупулин», «Глубочанка», «Дородница» и «Средигорненское». Предприятие обладает своим парком подвижного состава. По критерию достоверности при определении объема выборки был произведен сбор информации по грузовым автомобилям данной

марки, модели. Количество объектов наблюдения 7 автомобилей, что является достаточным для проведения исследований.



Рисунок 1 – Внешний вид исследуемого грузового автомобиля КамАЗ 65115

КамАЗ-65115 — Автоцистерна на платформе КАМАЗ-65115 способна перевозить до 10 тонн молока, кваса, подсолнечного масла, спирта и других продуктовых жидкостей. Серийный выпуск с 2009 года. Модификация молоковоза КАМАЗ 65115 (6x4) (автоцистерны для пищевых продуктов). Шасси КАМАЗ 65115 с 2013 года оснащается двигателем класса Евро-4, в настоящее время — класса Евро-5. Тип сцепления: диафрагменное, однодисковое. Привод: гидравлический с пневмо-усилителем. Главная передача - передаточное отношение: 5,94. Коробка передач ZF 9S1310. Тип: механическая, 9-ти ступенчатая. Управление: механическое, дистанционное

В ходе диссертационного исследования особое внимание было уделено показателям работоспособности элементов трансмиссии. У транспортного средства с приводом на задние ведущие колеса в составе трансмиссии чаще всего можно встретить сцепление, коробку передач, карданный механизм, задний ведущий мост в сборе. Такой вариант очень популярен у коммерческого транспорта, включая, грузовики и автобусы (рисунок 2).



Рисунок 2 – Мост в сборе

Анализ ранее выполненных исследований показал, что подавляющее число отказов приходится на трансмиссию, ходовую часть, двигатель, гидросистему, несущую систему, что составляет 78% всех отказов машины. Поэтому в качестве объекта исследования были выбраны элементы трансмиссии грузовых автомобилей (рисунок 3).



Рисунок 3 – Ведомая шестерня главной передачи

На конструкцию машин и их детали действуют внешние и внутренние факторы. К внешним факторам относят климатические условия окружающей среды, дорожные условия, характер использования по назначению, нагрузочные режимы, качество технического содержания в процессе эксплуатации. К внутренним факторам относят трение, изнашивание, деформация, усталость, старение. Под их воздействием происходит изменение физико-химических и механических свойств деталей и материалов (разупрочнение, снижение упругости, твердости, износостойкости) [3]. Это приводит к изменению характера рабочих поверхностей деталей (рисунок 4).



Рисунок 4 – Шестерня привода полуоси и фланец ведущего вала шестерни главной передачи

Проведенный анализ характера прилагаемой силовой нагрузки позволил выявить связь с постоянством или непостоянством частоты вращения, изменением направления вращения, значением динамической составляющей. Динамические удары приводит к изломам зубьев (рисунок 5).



Рисунок 5 – Излом зубьев из-за воздействия динамических ударов

Материалы и методы исследования. Авторами публикации было проведено исследование комплекса физико-механических свойств, определяющих износостойкость и долговечность, как отдельных поверхностей, так и сопряжений и узлов в целом, зависит от состава и структуры исследуемого материала, из которого изготовлены элементы и узлы рассматриваемого объекта. В ходе исследования был проведен анализ в Центре превосходства VERITAS, лаборатории аналитических исследований сектора электронной микроскопии и дифрактометрии на испытательном оборудовании Bruker S1 TITAN. Достоинства: быстрая скорость анализа и исключительная точность (рисунок 6).



Рисунок 6 – Проведение анализа на портативном рентгенофлуоресцентном (XRF) анализаторе металлов и сплавов Bruker S1 TITAN

При помощи данного прибора был определен элементный состав исследуемого материала детали (рисунок 7). Такой химический состав характерен для конструкционной низколегированной стали типа: ГОСТ 40X (аналог AISI 5140, DIN 41Cr4), альтернативно: 30XГСА (30CrMnSiA). На основе химического состава наиболее вероятной маркой стали является 40X (по ГОСТ 4543-71). Эта сталь применяется в машиностроении, для изготовления прочных деталей (вали, шестерни, оси).

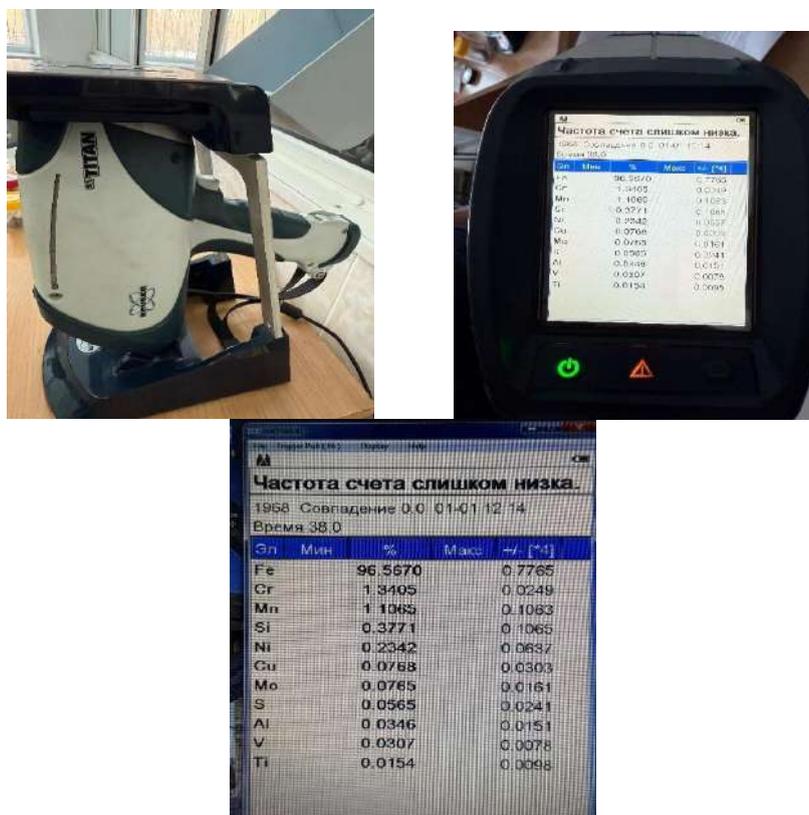


Рисунок 7 – Результаты анализ элементного состава материала шестерни

Разрушение деталей при различных видах изнашивания начинается именно с поверхности. Поверхность детали обладает пониженной прочностью не только потому, что она несёт большое число различных концентраторов напряжений (результат воздействия инструмента на поверхность в процессе отделочной операции) или испытывает влияние дополнительных напряжений, но также и потому, что она является границей металла, нарушающей цельность его кристаллических зерен.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Надежность транспортной техники: Учебник для вузов. / Ж.О. Кульсеитов и др. – Алматы, 2012. - 205 с. : табл. - (Ассоциация высших учебных заведений РК). - Библиогр.: с. 187-188. ISBN 978-601-289-069-3
2. ГОСТ 27674-88 Трение, изнашивание и смазка. Термины и определения
3. Хасанов Р.Х. Основы технической эксплуатации автомобилей: Учебное пособие. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2003. – 193 с. Горячева И.Г. Механика фрикционного взаимодействия / И.Г. Горячева — М.: Наука, 2001. — 478 с.
4. Калиев, Е. Б. ., Қозбағаров, Р. А., Жуманов, М. А., Мадина, Р. С., Жусупов, К. (2021). Долговечность элементов трансмиссии транспортной техники. Вестник КазАТК, 116(1), 116–122.
5. Буше, Н.А. Совместимость трущихся поверхностей. / Н.А. Буше, В.В. Копытько — М.: Наука, 1981. — 127 с.

**УДК 517**

Жамсап Р.Д. (22-МК-1, ВКТУ), Мухамедова Р.О. (старший преподаватель, ВКТУ)

## АСИМПТОТИЧЕСКАЯ СИМВОЛИКА В ИСКУССТВЕННОМ ИНТЕЛЛЕКТЕ

***Аннотация:** В статье рассматривается понятие асимптотики и ее роль в математическом анализе. Обсуждается необходимость приближенных вычислений при невозможности точного вычисления из-за большого количества операций. Приводятся примеры асимптотических формул, включая формулу Стирлинга и закон распределения простых чисел. Рассматривается символ  $O$  и его значение в выражении предельных соотношений, а также влияние асимптотического анализа на математические исследования. Асимптотическая символика используется в математике и информатике для оценки сложности алгоритмов, что играет ключевую роль в разработке эффективных методов машинного обучения и искусственного интеллекта (ИИ). В контексте ИИ она помогает анализировать временные и пространственные затраты алгоритмов, выявлять их узкие места и находить способы оптимизации.*

***Ключевые слова:** Асимптотика, асимптотические оценки, формула Стирлинга, закон распределения простых чисел, символ  $O$ , ИИ.*

Часто случается, что нам нужно вычислить определенную каким-либо образом величину, а это вычисление приводит к чрезвычайно большому числу действий, так что их выполнение становится практически невозможным. В таких случаях настоящей находкой может оказаться какой-либо иной метод получения дополнительной информации об этой величине, позволяющий найти ее значение хотя бы приближенно. Обычно такой метод (как заметил Лаплас) "тем более точен, чем более необходим"; мы получаем тем более точное приближение к искомой величине, чем больше действий необходимо для ее прямого вычисления. В подобном положении мы говорим об асимптотической оценке или об асимптотической формуле.

Типичной асимптотической формулой (и к тому же одной из наиболее давно известных) является формула Стирлинга

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n!}{e^{-n} n^n \sqrt{2\pi n}} = 1 \quad (1)$$

при любом  $n$  вычисление  $n!$  не сопряжено ни с какими теоретическими трудностями, но чем больше  $n$ , тем больше число операций, необходимых для этого вычисления. Формула Стирлинга дает удобное приближение  $e^{-n} n^n \sqrt{2\pi n}$ , и чем больше  $n$ , тем меньше относительная погрешность.

Приведем еще одну знаменитую асимптотическую формулу, намного более глубокую, чем предыдущая. Для любого положительного  $x$  обозначим

через  $\pi(x)$  число простых чисел, не превосходящих  $x$ . Так называемый закон распределения простых чисел гласит, что

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\pi(x)}{\left(\frac{x}{\ln(x)}\right)} = 1 \quad (2)$$

Приведенные выше формулы являются предельными соотношениями и в том виде, в каком они написаны, не пригодны для вычислительных целей. Действительно, из формулы (1) мы не можем сделать никакого заключения о величине  $n!$  ни для одного частного значения  $n$ . Это утверждение относится к бесконечному числу значений  $\pi$ , как это ни странно, ничего не говорит ни об одном частном значении  $n$ .

Чтобы полнее исследовать это явление, перепишем формулу (1) в виде

$$\lim_{n \rightarrow \infty} f(n) = 1, \text{ или } f(n) \rightarrow 1 \quad (3)$$

Эта формула говорит нам только о существовании функции  $N(\varepsilon)$  со следующим свойством: при любом

$$\varepsilon > 0 \text{ из } n > N(\varepsilon) \text{ следует } |f(n) - 1| < \varepsilon \quad (4)$$

Доказывая соотношение  $f(n) \rightarrow 1$ , обычно получают в явном или в скрытом виде какие-то сведения вида (4) с некоторой конструкцией соответствующей функции  $N(\varepsilon)$ . Ясно, что знание функции  $N(\varepsilon)$  на самом деле дает некоторую численную информацию  $f(n)$ . Однако, используя обозначение  $f(n) \rightarrow 1$ , мы отбрасываем эту информацию, так как знание конкретного вида функции  $N(\varepsilon)$  заменяется при этом лишь утверждением, что такая функция существует.

В известной степени одной из причин успехов анализа является введение обозначения, отбрасывающего именно ту кую информацию и оставляющего то, что еще полезно. Даже на совершенно простой теореме, скажем на теореме

$$\lim_{n \rightarrow \infty} a_n b_n = \lim_{n \rightarrow \infty} a_n \lim_{n \rightarrow \infty} b_n ,$$

легко убедиться, что доказать существование функции  $N(\varepsilon)$  значительно легче, чем построить новую  $N(\varepsilon)$  по двум прежним.

Асимптотическое равенство. Будем говорить, что  $f(x)$  и  $g(x)$  асимптотически равны при  $x \rightarrow \infty$ , если отношение  $f(x)/g(x)$  стремится к единице. Записывать этот факт мы будем формулой

$$f(x) \sim g(x), (x \rightarrow \infty) \quad (5)$$

Это обозначение мы будем использовать также и при любом другом способе стремления переменной к пределу (скажем,  $x \rightarrow -\infty$ ,  $x \rightarrow 0$ ,  $x \downarrow 0$ ,  $|z| \rightarrow 0$ ).

Строго говоря, символ  $\sim$  является излишним, поскольку соотношение  $f(x) \sim g(x)$  вполне удобно записывать в виде

$$f(x) = g(x)(1 + o(1)) \text{ или в виде } f(x) = e^{o(1)}g(x). \quad (6)$$

Примеры:

1)  $x + 1 \sim x, (x \rightarrow \infty)$

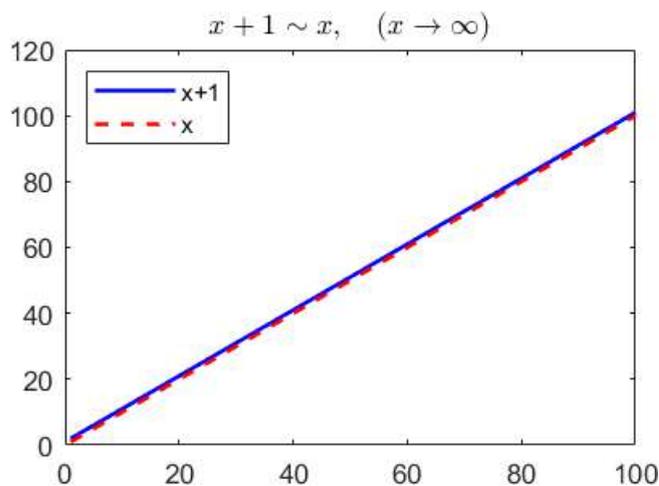


Рисунок 1. Пример асимптотик в Matlab

2)  $\operatorname{sh}(x) \sim \frac{1}{2}e^x, (x \rightarrow \infty)$

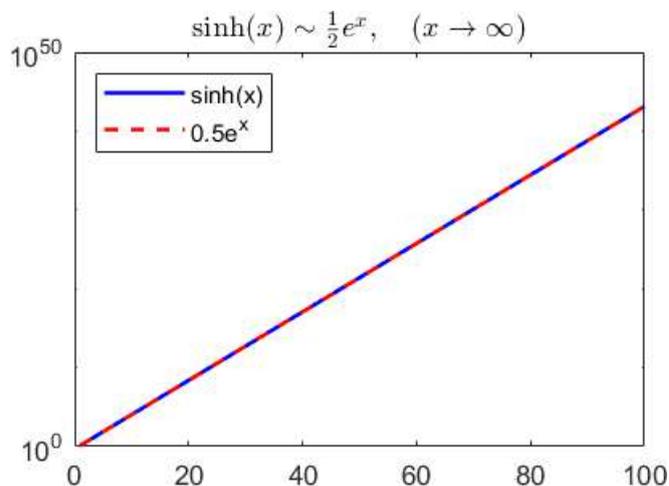


Рисунок 2. Пример асимптотик в Matlab

3)  $n! \sim e^{-n}n^n\sqrt{2\pi n}, (n \rightarrow \infty)$

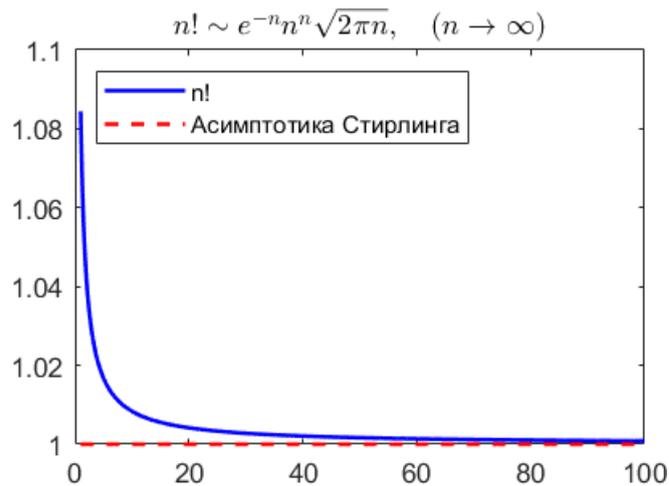


Рисунок 3. Пример асимптотик в Matlab

$$4) \pi(x) \sim \frac{x}{\ln(x)}, \quad (x \rightarrow \infty)$$

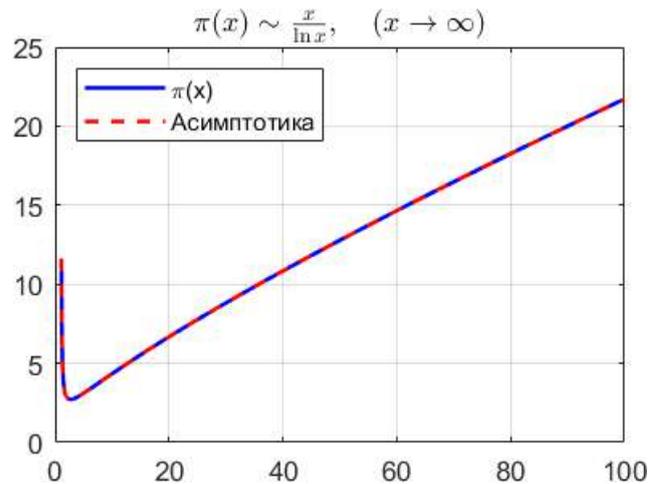


Рисунок 4. Пример асимптотик в Matlab

Говоря об "асимптотическом поведении" данной функции  $f(x)$ , можно иметь в виду асимптотическую информацию любого рода. Однако обычно под этими словами подразумевают простую функцию  $g(x)$ , асимптотически равную  $f(x)$ . Здесь "простая" означает, что способ точного вычисления ее значений не становится исключительно сложен, когда  $x$  очень велико. Например, с некоторой точки зрения  $n!$  много проще, чем  $e^{-n} n^n \sqrt{2\pi n}$ , но с точки зрения асимптотических свойств последнее выражение проще.

Слова "асимптотическая формула для  $f(x)$ " обычно употребляются в том же узком смысле, т. е. в них речь идет о формуле  $f(x) \sim g(x)$ .

Заключение: асимптотика является мощным инструментом, который позволяет получать приближенные значения сложных математических выражений. Ее методы находят применение в различных областях науки и техники, обеспечивая эффективные способы анализа и вычислений. Благодаря своей универсальности асимптотические методы остаются актуальными и

продолжают развиваться, находя новые применения в науке, технике и компьютерных технологиях.

Асимптотическая символика играет важную роль в искусственном интеллекте (ИИ), позволяя анализировать и оптимизировать алгоритмы машинного обучения. Она используется для оценки временной и пространственной сложности моделей, таких как градиентный спуск, обратное распространение ошибки и механизмы самовнимания в трансформерах. Применение асимптотического анализа помогает улучшить масштабируемость и эффективность вычислений, что особенно важно при работе с большими данными. Кроме того, асимптотическая символика находит применение в символическом ИИ, автоматическом дифференцировании и других областях, связанных с оптимизацией вычислительных процессов.

Асимптотическая символика является фундаментальным инструментом в разработке и оптимизации алгоритмов ИИ. Она позволяет предсказывать масштабируемость моделей, выявлять вычислительные ограничения и находить более эффективные решения, что критично при обработке больших объемов данных и сложных вычислениях.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. де Брэйн Н. Г. Асимптотические методы в анализе //ИИЛ, М. – 1961.
2. Ильин, А., & Данилин, А. Асимптотические методы в анализе. Litres. - 2022
3. Труш Н. Н. Асимптотические методы статистического анализа временных рядов. – 1999.
4. Акуленко Л. Д. Асимптотические методы оптимального управления. – 1987.
5. Андрианов И., Аврейцевич Я. Методы асимптотического анализа и синтеза в нелинейной динамике и механике деформируемого твердого тела. – Автономная некоммерческая организация Ижевский институт компьютерных исследований, 2013.
6. Назаров А. А., Моисеева Е. А. Исследование RQ-системы ММРР|М| 1 методом асимптотического анализа в условии большой загрузки //Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2013. – Т. 322. – №. 2. – С. 19-23.

## УДК 621. 221

Жапаров К.М. (23-МТМ-2Т, ВКТУ), Комбаев К.К. (к.т.н., ВКТУ)

## ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ РЕЗКИ ТВЕРДОГО СПЛАВА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЖИДКОСТИ

**Аннотация.** Электроэрозионная резка (ЭЭР) — это процесс, основанный на принципе эрозии материалов с помощью электрических разрядов между электродом и заготовкой. При этом процесс сопровождается выделением тепла, которое плавит и испаряет материал, создавая рез. Твёрдые сплавы, такие как вольфрамовые и молибденовые сплавы, обладают высокой твёрдостью, что затрудняет их механическую обработку. ЭЭР позволяет эффективно работать с такими материалами. Целью данного исследования является анализ, как различные жидкости при проволочной электроэрозионной резке влияют на качество детали.

**Ключевые слова:** Электроэрозионная резка, проволока, диэлектрическая жидкость, твердосплавные штампы.

Электроэрозионная обработка (Electric discharge machining – EDM) – заключается в изменении формы, размеров, шероховатости и свойств поверхности заготовки под действием электрических разрядов в результате электрической эрозии. Электроэрозионная обработка обладает широкими технологическими возможностями и обеспечивает получение деталей с высокой точностью размеров с допуском  $T$  в пределах 1,5 – 10 мкм и минимальными параметрами шероховатости  $R_a$  поверхности 0,04 – 0,32 мкм.

При проволочной электроэрозионной резке, металл, который находится в зоне разряда, постепенно удаляется в виде микроскопических частиц, и процесс продолжается до достижения требуемой формы или размера детали, рисунок 1.

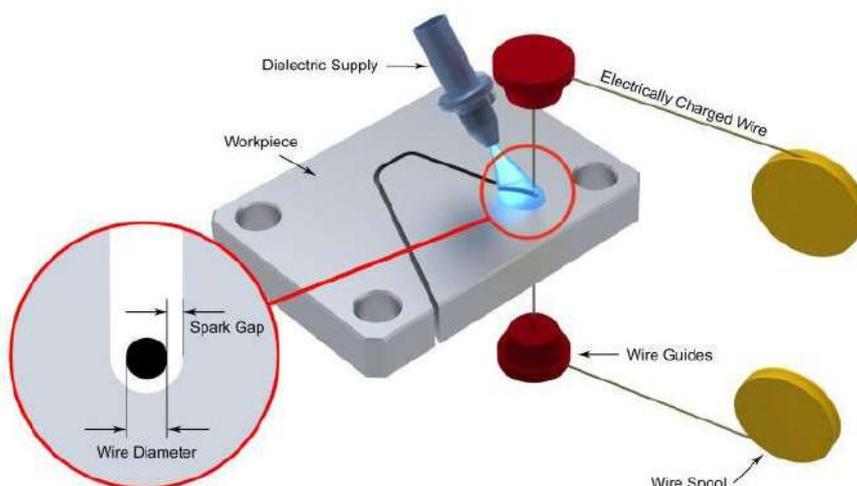


Рисунок 1 – Схема проволочной электроэрозионной резки

При электроэрозионной резке используется диэлектрическая жидкость, рисунок 2, которая служит нескольким целям:

1. **Охлаждение:** Жидкость отводит тепло от зоны разряда.
2. **Очистка:** Жидкость удаляет шлаки и другие продукты эрозии из зоны разряда.
3. **Электрическая изоляция:** Жидкость способствует нормализации электрических разрядов, предотвращая короткие замыкания.

Качество жидкости влияет на характеристики процесса: проводимость, вязкость, температура кипения и даже её химический состав могут менять стабильность разряда и качество получаемой поверхности. В качестве диэлектрических жидкостей в электроэрозионном оборудовании применяются вода с добавками антикоррозийного раствора и ионообменной смолы, углеводородные рабочие жидкости:

- Вода Sorepi LM, Vitol – KS, IME MH – Ionopuls;
- Масла различных марок – ESSO, Shell, BP;
- Специальные углеводородные жидкости для полирования Vitol – 10 с порошковыми добавками;
- Керосин.

Сравнительные исследования провели на проволочном электроэрозионном (ЭЭ) станке Sodick AG60L для резки твердосплавного штампа с использованием воды и керосина. В процессе проволочной вырезки на латунной проволоке, сопротивление дистиллированной воды было 50 кОм.



Рисунок 2- Рабочая жидкость проволочной электроэрозионного станка

Для удаления крупных частиц и загрязнений из воды использовались механические фильтры. Предотвращение перегрева жидкости в процессе обработки обеспечивается «чиллера с компрессором», которая охлаждает воду и помогает поддерживать нужную температуру. Колонка с ионообменными смолами (ФСД-смешанный катионит и анионит) — этот элемент представляет собой ионообменный фильтр, где смолы (катионит и анионит) заменяют

нежелательные ионы в воде на более безопасные или нейтральные. Катионит работает с катионами (например, кальций, магний), а анионит — с анионами (например, хлориды, сульфаты). Это необходимо для умягчения воды (удаления жесткости) и удаления других вредных веществ, таких как соли или органические вещества.

При электроэрозионной резке с использованием керосина для удаления крупных частиц и загрязнений из жидкости перед тем, как она попадет на мембраны использовался механический фильтр перед обратноосмотическими мембранами. Такой фильтр удаляет частицы размером от нескольких микрон и выше. Это предотвратит попадание крупных частиц в мембраны, что может привести к их засорению. Обратноосмотические мембраны установленные друг за другом, работают совместно для более эффективного удаления загрязнителей. Каждая мембрана может снизить проводимость жидкости, фильтруя ее, но при этом могут быть потери давления и эффективности на каждой стадии.

Рабочая проводимость керосина 1-5 мкСм/см (микросименсов на сантиметр) говорит о том, что мембраны обеспечат высокую степень очистки, так как эта проводимость соответствует очень чистой жидкости с низким содержанием растворенных веществ. Для керосина, который является углеводородным веществом, важно учитывать, что обратноосмотические мембраны, предназначенные для воды, могут не работать так эффективно для органических растворителей, как для воды. Это может потребовать использования специализированных мембран для органических растворителей или другой технологии фильтрации, например, с использованием активированного угля. Сопротивление керосина составляет 50 кОм, при скорости растяжения 5 мм/мин.

Сравнение характеристик ЭЭР твердосплавного штампа в воде и в керосине приведено в таблице 1.

Таблица 1- Результаты исследования и сравнительный анализ

Параметры	ЭЭ резание в воде	ЭЭ резание в масле
Скорость обработки	310 мм <sup>2</sup> /мин	60 мм <sup>2</sup> /мин
Наименьшая достижимая шероховатость поверхности	1 мкм R <sub>max</sub> (< 0,13 мкм R <sub>a</sub> )	< 0,5 мкм R <sub>max</sub> (< 0,06 мкм R <sub>a</sub> )
Наименьший межэлектродный зазор	10 – 20 мкм	1 – 10 мкм
Достижимая точность обработки	±5 мкм	± 2,5 мкм
Достижимая прямолинейность	± 2 мкм	±1 мкм
Достижимая угловая точность	0,001 <sup>0</sup>	0,0005 <sup>0</sup>
Модифицированный слой (твердость слоя на стали)	1000 HV*	1300 HV (до 1600 HV)
Модифицированный слой (выпадение карбидов)	имеет место выпадение кобальта **	выпадения кобальта нет
Коррозия	наблюдается ***	отсутствует

Ионообменная смола	необходима	не требуется
Обработка с проволокой $d < 0,1$ мм (для вырезания мелких элементов)	затруднена и нестабильна (из-за большого зазора работа с тонкой проволокой малоэффективна)	углеводородная среда обеспечивает обработку проволокой малых диаметров
* - С системой Super BS измененный слой имеет меньшую толщину (~1 мкм)		
** - С системой Super BS выпадение кобальта практически не происходит		
*** - Super BS обеспечивает подавление коррозии		

Электроэрозионное резание в воде в определенной степени сопровождается электролитической эрозией и коррозией, снижающей качество и твердость поверхности реза. Использование специальных добавок Super BS «beautiful surfase» позволяет улучшить качество вырезания, что особенно важно при обработке заготовок сложных форм малых размеров.

Керосин при воздействии импульсных разрядов может воспламениться, их пары токсичны, поэтому следует предусматривать всасывание паров, таблица 2.

Таблица 2 – Качественный анализ рабочей жидкости при ЭЭР

№	Показатели	Вода	Керосин
1	Теплопередача и охлаждение	Вода, как диэлектрик, обладает высокими теплообменными свойствами, что помогает эффективно охлаждать рабочую зону. Это может быть важно для предотвращения перегрева материала и инструмента.	Керосин имеет меньшую теплоемкость, чем вода, и может охлаждать менее эффективно. Однако его низкая вязкость способствует лучшему отведению шлаков, что может улучшить процесс резки в некоторых случаях.
2	Эффективность резки	Вода обладает хорошими диэлектрическими свойствами, что способствует стабильному и высокоэффективному процессу электроэрозионной резки. Однако вода может образовывать коррозионные отложения на поверхности материала, что требует дополнительных этапов очистки.	Керосин менее проводящий, чем вода, что может уменьшить эффективность разрядов. Однако он способствует меньшему износу электрода и дает меньшее количество коррозионных продуктов. Это может быть полезным при обработке материалов, подверженных коррозии.
3	Износ инструмента	Вода может создавать большее количество шлаков, которые могут влиять на износ проволоки и скорость эрозии, но в целом износ инструмента может быть выше, так как вода не всегда эффективно отводит шлаки.	Керосин помогает снизить износ инструмента за счет меньшего накопления шлаков и улучшенной смазки. Это также может увеличить срок службы инструмента.
4	Качество поверхности	Вода может привести к образованию оксидной пленки на поверхности, что ухудшает качество реза, но также способствует лучшему снятию тепла.	Керосин, имея меньшее количество шлаков и отходов, может обеспечить более чистый и качественный рез с более гладкой поверхностью.

5	Экологические аспекты	Вода является более экологически чистым и безопасным вариантом, не требуя специальных условий для утилизации. Однако она может требовать очистки после использования.	Керосин менее экологичен, поскольку является углеводородным соединением и может загрязнять окружающую среду, если не утилизировать его должным образом.
6	Стоимость и доступность	Вода, как правило, доступна и дешевле, чем керосин, что делает её более экономичным вариантом для большинства применений.	Керосин дороже воды и не всегда легко доступен для промышленного использования, но может быть предпочтительнее в специфичных условиях, например, при работе с особо твердыми материалами.

Обе жидкости имеют свои преимущества и недостатки при проволочной электроэрозионной резки твердосплавных материалов. Выбор между водой и керосином зависит от конкретных условий работы, типа материала, требований к качеству поверхности и износу инструмента. Вода предпочтительнее для более универсальных применений, а керосин может быть полезен при специфичных задачах, требующих лучшего качества реза и меньшего износа инструмента, но при этом увеличиваются требования к экологическим стандартам и расходам.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жапаров К.М., Комбаев К.К. Технологический процесс изготовления зубчатого колеса на электроэрозионном проволочно-вырезном станке // «Творчество молодых - инновационному развитию Казахстана» материалы X Международной научно-технической конференции студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых, посвященной 125-летию Каныша Сатпаева 11, 12 апреля 2024 г. Часть I, с 142-146.
2. Богданов, И. В. Электроэрозионная обработка материалов: теория и практика. - М.: Машиностроение, 2015. - 320 с. Жданов, В. А. Исследование и совершенствование технологии электроэрозионной обработки материалов. - СПб.: Политехника, 2013. - 180 с.
3. Петров, П. П., Смирнов, С. Н. Влияние рабочих жидкостей на результаты электроэрозионной резки твердых сплавов. // Журнал "Технология машиностроения". - 2021. - Т. 22, № 4. - С. 45-50.
4. Ковальчук, В. В. Электроэрозионная обработка и её применение для обработки твердых сплавов. // Журнал "Материалы и технологии". - 2018. - Т. 11, № 2. - С. 72-77.
5. Михайлов, В. М., Рогозин, И. А. Оценка качества электроэрозионной резки с использованием различных жидкостей. // Вестник технологий. - 2019. - Т. 15, № 6. - С. 98-104.
6. Фомин, В. В. Моделирование процесса электроэрозионной обработки твердых материалов. — М.: Наука, 2017. — 220 с.

**УДК 519.688**

Ибраимова А.А. (24-DMA-3, ВКТУ), Коньрханова А.А. (к.ф.-м.н., ЕНУ),  
Мукашева Р.У. (к.т.н, ВКТУ)

**КВАНТОВЫЕ АЛГОРИТМЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЛИНЕЙНОЙ  
АЛГЕБРЫ И СТАТИСТИКИ**

***Аннотация.** В данной статье рассматриваются квантовые алгоритмы для решения задач линейной алгебры и статистики, с акцентом на их применение в задачах линейной регрессии с регуляризацией. Предлагается использование квантового преобразования сингулярных значений (QSVT) для улучшения производительности алгоритмов по сравнению с классическими методами. В статье также обсуждаются вопросы актуальности и значимости развития квантовых вычислений для России и Казахстана, предлагая стратегии для ускорения научных исследований и технологических разработок в этой области.*

***Ключевые слова:** квантовые алгоритмы, оптимизация, криптография, линейной алгебры, статистики, машинное обучение, большие данные, линейная регрессия.*

Квантовые вычисления - это область, которая стремительно развивается на мировом уровне, открывая новые горизонты в математике, физике и других науках. Одним из наиболее перспективных направлений в этой области является использование квантовых алгоритмов для решения задач линейной алгебры и статистики. Эти задачи лежат в основе многих практических приложений, от машинного обучения и обработки больших данных до моделирования физических и биологических процессов.

На основе мировых исследований создана карта, которая наглядно демонстрирует интенсивность изучения квантовых вычислений в различных странах, и эта карта показывает явное преобладание исследований в таких странах, как США, Германия, Китай и Великобритания.

Несмотря на широкий интерес и активные исследования, проводимые в ведущих странах, таких как США, Китай и Великобритания, в России и Казахстане эта тема остается относительно малоизученной, что открывает уникальные возможности для научных прорывов и технологических достижений в этих странах.

Для России и Казахстана это означает необходимость развивать собственные научные школы и образовательные программы, чтобы не отставать от мировых тенденций и активно участвовать в глобальной научной повестке. К тому же, существует большой потенциал для внедрения квантовых вычислений в практические задачи в таких областях, как обработка больших данных, оптимизация и криптография.

Развитие квантовых алгоритмов в математике и статистике в России и Казахстане может стать важным шагом для создания конкурентоспособных научных и технологических платформ. Чтобы использовать этот потенциал, необходимо предпринимать следующие шаги:

1. Создание научных центров. Важно развивать исследовательские институты и лаборатории, которые будут специализироваться на квантовых вычислениях и математике. Это поможет сформировать научные школы, способные конкурировать с мировыми центрами.

2. Сотрудничество с международными партнерами. Для ускоренного развития этой области стоит активно налаживать сотрудничество с ведущими научными учреждениями за рубежом, что позволит обмениваться знаниями и технологиями, а также участвовать в международных проектах.

3. Открытие новых образовательных программ. Необходимо развивать образовательные программы, которые будут обучать студентов и исследователей квантовым вычислениям, математике и статистике в контексте квантовых технологий. Это создаст кадровый потенциал для будущих исследований и технологических разработок.

4. Государственная поддержка. Квантовые вычисления - это стратегически важная область, и для ее развития необходима поддержка со стороны государства, включая финансирование научных исследований, грантовую систему и стимулирование частных инвестиций в квантовые технологии.

Квантовые алгоритмы обладают способностью решать задачи, которые традиционно требуют значительных вычислительных ресурсов. Применение квантовых вычислений в линейной алгебре и статистике может ускорить решение таких проблем, как нахождение собственных значений, решение систем линейных уравнений, многомерный анализ данных и оптимизация. Эти задачи имеют большое значение в ряде важных сфер:

– Машинное обучение. Квантовые алгоритмы могут ускорить обучение моделей на больших данных, что открывает новые возможности в области искусственного интеллекта [1].

– Биотехнологии и фармацевтика. Моделирование молекулярных взаимодействий и анализ биологических данных требуют мощных вычислительных мощностей, которые могут быть предоставлены квантовыми вычислениями [2].

– Финансовые вычисления. Оптимизация портфелей, прогнозирование рисков и оценка стоимости активов также могут быть ускорены с использованием квантовых алгоритмов для обработки больших данных [3].

Кроме того, квантовые вычисления могут существенно повлиять на области, такие как криптография и моделирование физических процессов, что делает их ключевыми для будущего развития науки и технологий [4].

Квантовые вычисления стремительно развиваются и открывают новые возможности для решения задач в области линейной алгебры и статистики [5]. Среди таких задач особое внимание уделяется линейной регрессии с регуляризацией, которая находит широкое применение в машинном обучении, экономике и биоинформатике. Классические методы решения этих задач требуют больших вычислительных мощностей, особенно при обработке больших данных или в задачах с высоким числом признаков и малым числом

наблюдений [6]. Квантовые алгоритмы обещают значительное ускорение этих вычислений и улучшение точности решений за счет использования квантовых суперпозиции и интерференции [7].

В данном контексте рассмотрим различные квантовые алгоритмы для решения задач линейной регрессии с регуляризацией, таких как квантовое преобразование сингулярных значений (QSVT). [8] Мы проведем сравнительный анализ этих алгоритмов по точности, сложности, области применения, а также выявим их преимущества и недостатки [9].

В классической линейной регрессии задача сводится к решению уравнения вида:

$$y = X\beta + \varepsilon \quad (1)$$

где  $X$  - матрица признаков,  $\beta$  - вектор коэффициентов,  $y$  - вектор наблюдений, и  $\varepsilon$  - ошибка.

Слагаемое  $\varepsilon$  отражает влияние факторов, не включенных в модель, а также ошибок измерения. Его называют возмущением или ошибкой регрессии.

Модель (1) называется моделью парной регрессии. Она связывает пару переменных  $x$ ,  $y$

Одним из распространенных методов решения является метод наименьших квадратов, который минимизирует сумму квадратов ошибок [10].

Регуляризация используется для предотвращения переобучения модели, добавляя штраф за слишком большие значения коэффициентов. Наиболее распространены такие методы регуляризации, как L2-регуляризация (Ridge Regression) и L1-регуляризация (Lasso Regression) [11].

Для решения задач линейной регрессии с регуляризацией применяются следующие квантовые алгоритмы:

- Квантовый алгоритм наименьших квадратов
- Квантовое преобразование сингулярных значений (QSVT) [13]
- Квантовый отжиг для линейных уравнений

В квантовом алгоритме наименьших квадратов используется квантовый аналог метода наименьших квадратов. Квантовые методы значительно ускоряют обработку больших данных, используя квантовые операции для вычисления матричных произведений и обращения матриц. Преимущество этого метода заключается в том, что многие операции, такие как вычисление собственных значений и решение систем линейных уравнений, могут быть выполнены с квантовыми ускорениями.

Квантовое преобразование сингулярных значений QSVT является квантовым методом, который эффективно вычисляет сингулярные значения матрицы. В задаче линейной регрессии, где требуется нахождение обратной матрицы или решения системы линейных уравнений, QSVT может быть использован для вычисления псевдопрямой или псевдообратной матрицы. Этот подход позволяет уменьшить вычислительную сложность и повысить

точность за счет использования квантовых свойств, таких как суперпозиция и интерференция [1].

Таблица 1. Сравнение квантовых алгоритмов

Алгоритм	Точность	Сложность	Область применения	Преимущества	Недостатки
<b>Квантовое преобразование сингулярных значений (QSVT)</b>	Высокая (с учетом квантовой параллельности)	Ожидается экспоненциальное ускорение по сравнению с классическими методами	Линейная регрессия с регуляризацией, нахождение обратных матриц	Ускорение вычислений, высокая точность в задачах с большим числом признаков	Зависимость от доступных квантовых ресурсов, ограниченная масштабируемость
<b>Квантовый алгоритм наименьших квадратов</b>	Высокая (если правильно выбраны параметры)	$O(\log(N))$ , но требует большого числа кубитов для решения больших задач	Применение в задачах с большим числом наблюдений и признаков	Ускорение процесса решения больших систем линейных уравнений	Ограниченная масштабируемость, точность зависит от качества квантовых операций
<b>Квантовый отжиг для линейных уравнений</b>	Ограниченная (для малых матриц)	Зависит от связности квантовой машины, масштабируемость ограничена	Применение в задачах оптимизации, когда важна глобальная оптимизация	Может быть полезен для решения специфических задач	Технологические ограничения современных квантовых отжигов

Эти алгоритмы демонстрируют потенциал квантовых вычислений для решения сложных задач линейной алгебры и статистики, предлагая значительное ускорение по сравнению с классическими методами.

Из всех существующих квантовых алгоритмов для решения задач линейной регрессии с регуляризацией, квантовое преобразование сингулярных значений (QSVT) представляется точным и наиболее перспективным. Это объясняется несколькими причинами: [3]

- Высокая точность и эффективность. QSVT позволяет достигать высокой точности в расчетах, что критически важно для задач с высоким числом признаков. Он позволяет избежать ошибок, связанных с числовой нестабильностью, которые часто возникают в классических методах для высоко обусловленных матриц.

- Ускорение вычислений. QSVT значительно ускоряет вычисления за счет использования квантовых свойств, таких как суперпозиция и интерференция. Это дает возможность эффективно решать задачи, которые классически требуют больших вычислительных ресурсов.

– Применимость к широкому кругу задач. QSVT применим не только к линейной регрессии с регуляризацией, но и к более общим задачам, связанным с обработкой больших данных и решением линейных уравнений.

– Теоретическое обоснование и практика. QSVT имеет сильную теоретическую основу и активно исследуется в научных кругах, что позволяет надеяться на успешную реализацию на более мощных квантовых устройствах в будущем.

*Заключение.* Квантовые алгоритмы, такие как QSVT, представляют собой мощный инструмент для решения задач линейной алгебры и статистики, особенно в контексте линейной регрессии с регуляризацией. Они предлагают значительное ускорение вычислений и повышение точности, что делает их перспективными для широкого круга приложений, от машинного обучения до биоинформатики [8]. Для России и Казахстана развитие квантовых вычислений открывает уникальные возможности для научных прорывов и технологических инноваций, однако для реализации этого потенциала необходимы значительные усилия в области научных исследований, образования и государственной поддержки [9].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rogers, M. L., & Singleton, R. L., Jr. (2020). Floating-Point Calculations on a Quantum Annealer: Division and Matrix Inversion. *Frontiers in Physics*, 8, 265.  
<https://doi.org/10.3389/fphy.2020.00265>
2. Chakraborty, S., Morolia, A., & Peduri, A. (2023). Quantum Regularized Least Squares. *Quantum*, 7, 13143.  
<https://doi.org/10.48550/arXiv:2206.13143>
3. Van Loan, C. F. (2000). The ubiquitous Kronecker product. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 123(1-2), 85-100.  
[https://doi.org/10.1016/s0377-0427\(00\)00393-9](https://doi.org/10.1016/s0377-0427(00)00393-9)
4. Daribayev, B., Mukhanbet, A., & Imankulov, T. (2023). Implementation of the HHL Algorithm for Solving the Poisson Equation on Quantum Simulators. *Applied Sciences-Basel*, 13(20), 11491.  
<https://doi.org/10.3390/app132011491>
5. Daribayev, B., Mukhanbet, A., Azatbekuly, N., & Imankulov, T. (2024). A Quantum Approach for Exploring the Numerical Results of the Heat Equation. *Algorithms*, 17(8), 327.  
<https://doi.org/10.3390/a17080327>
6. Vinitzky, S., Gusev, A., Chuluunbaatar, O., Le Hai, L., Gózdz, A., Derbov, V. L., & Krassovitskiy, P. (2014). Symbolic-Numeric Algorithm for Solving the Problem of Quantum Tunneling of a Diatomic Molecule through Repulsive Barriers.

In V. P. Gerdt, W. Koepf, W. M. Seiler, & E. V. Vorozhtsov (Eds.), *Computer Algebra in Scientific Computing, CASC 2014* (pp. 472-490). Springer, Cham.

[https://doi.org/10.1007/978-3-319-10515-4\\_32](https://doi.org/10.1007/978-3-319-10515-4_32)

7. Lukac, M., Nursultan, S., Krylov, G., Keszocze, O., Rakhmettulayev, A., & Kameyama, M. (2024). Geometric Refactoring of Quantum and Reversible Circuits Using Graph Algorithms. *IEICE Transactions on Information and Systems*, *E107D*(8), 930-939.

<https://doi.org/10.1587/transinf.2023LOP0011>

8. Makhmut, E., Imankulov, T. S., & Daribayev, B. S. (2023). PARALLEL IMPLEMENTATION OF MUSKAT-LEVERETT EQUATION USING CUDA. *Journal of Mathematics Mechanics and Computer Science*, *119*(3), 104-116.

<https://doi.org/10.26577/JMMCS2023v119i3a9>

9. Avdonin, S. A., Murzabekova, G. Y., & Nurtazina, K. B. (2017). Source Identification for the Differential Equation with Memory. In P. Dang, M. Ku, T. Qian, & L. G. Rodino (Eds.), *New Trends in Analysis and Interdisciplinary Applications* (pp. 111-120). Springer, Cham.

[https://doi.org/10.1007/978-3-319-48812-7\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-319-48812-7_15)

10. Tosun, U. (2022). A new tool for automated transformation of Quadratic Assignment Problem instances to Quadratic Unconstrained Binary Optimisation models. *Expert Systems with Applications*, *201*, 116953.

<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.116953>

11. Sood, S. K. (2024). Bibliometric Analysis and Visualization of Quantum Engineering Technology. *IEEE Transactions on Engineering Management*, *71*, 10217-10231.

<https://doi.org/10.1109/TEM.2023.3313984>

12. Kumar, A., Hedabou, M., & Pacheco, D. A. D. J. (2024). Quantum calculi and formalisms for system and network security: A bibliographic insights and synoptic review. *IET Quantum Communication*, *5*(4), 486-515.

<https://doi.org/10.1049/qtc2.12102>

13. Garcia-Buendia, N., Munoz-Montoro, A. J., Cortina, R., Maqueira-Marin, J. M., & Moyano-Fuentes, J. (2024). Mapping the Landscape of Quantum Computing and High Performance Computing Research Over the Last Decade. *IEEE Access*, *12*, 106107-106120.

<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3411307>

**УДК 629.331**

Исаканов И.М. (ВКТУ), Муздыбаев М.С. (к.т.н. ВКТУ), Муздыбаева А.С. (к.т.н. ВКТУ), Мырзабекова Д.М. (PhD, ВКТУ)

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ВЕДУЩЕГО  
МОСТА ТРАНСМИССИИ ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ КАМАЗ И  
ПОВЫШЕНИЕ ЕГО РЕСУРСА ПУТЕМ МОДЕРНИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ  
СТУПИЧНОГО УЗЛА**

***Аннотация.** В данной работе отражены результаты исследования по обеспечению работоспособности ведущих мостов грузовых автомобилей КамАЗ. Исследована причина преждевременного выхода из строя деталей ступичного узла. Выполнены замеры твердости на рукаве ведущего моста и на кольце упорном для манжеты ступицы, которая также является упором для ступичных подшипников. Повышена работоспособность ведущего моста путем модернизации конструкции ступичного узла, а именно внедрена распорная втулка между ступичными подшипниками.*

***Ключевые слова:** автомобиль, узел, подшипник, износ, ресурс, распорная втулка.*

В современном мире грузовые автомобили играют ключевую роль в транспортировке различных грузов на средние и дальние расстояния. Одним из широко распространенных представителей данного класса техники является автомобиль КамАЗ. Рассматриваемый в исследовании автомобиль был изготовлен в 2001 году и имеет инвентарный номер №00002. КамАЗ-54115 относится к категории седельных тягачей и предназначен для буксирования полуприцепов в составе автопоезда. Данная модель обладает такими качествами, как универсальность, маневренность, увеличенная грузоподъемность и модульность. [1, стр.4]

Автомобиль КамАЗ-54115 оснащен V-образным 8-цилиндровым дизельным двигателем 740.31-240 с турбонаддувом, мощностью 240 л.с. и промежуточным охлаждением воздуха, что способствует увеличению производительности и снижению расхода топлива. Двигатель соответствует экологическому стандарту Евро-2. Характерной особенностью модели является сочетание прочной конструкции и оптимальных технических характеристик, обеспечивающих надежность и универсальность. [1, стр.5]

Несмотря на свои достоинства, в процессе эксплуатации грузовые автомобили КамАЗ подвержены различным отказам. Проведенный анализ статистической информации по отказам подконтрольного автомобиля КамАЗ-54115 за период эксплуатации показал, что наиболее часто встречающимися являются отказы двигателя (36,9%). В структуре отказов двигателя преобладают неисправности кривошипно-шатунного механизма (7,8%) и системы питания двигателя (16,4%). [2, стр.10]

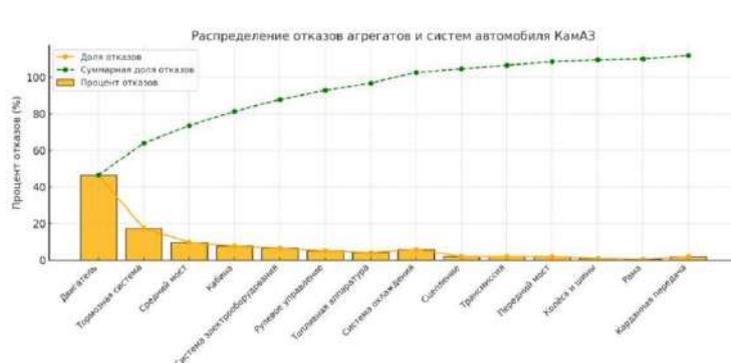


Рисунок 1 - Распределение отказов агрегатов и систем автомобиля КамАЗ

Однако, учитывая, что высокий процент отказов двигателя обусловлен суммарной долей отказов всех его систем, в качестве объекта дальнейшего исследования был выбран ступичный узел ведущего моста. Анализ показал, что отдельно взятый ступичный узел имеет очень высокий процент отказа (19%) по отношению ко всем системам автомобиля в целом. [2, стр.15]

Ступичный узел ведущего моста грузового автомобиля КамАЗ является одним из основных узлов трансмиссии и служит для передачи вращающего момента от дифференциала на колеса автомобиля. Для подобных систем характерно последовательное соединение элементов в смысле надежности, что означает, что отказ любой детали приводит к отказу всей системы. [3, стр.50]

Для анализа надежности конструкции ступичного узла ведущего моста был использован метод Парето, позволяющий выявить доминирующие факторы, влияющие на надежность. Ранжирование элементов по надежности производилось по убыванию удельной доли количества отказов. В качестве исходной информации использовались экспертные оценки наработки до отказа деталей ступичного узла. [3, стр.55]

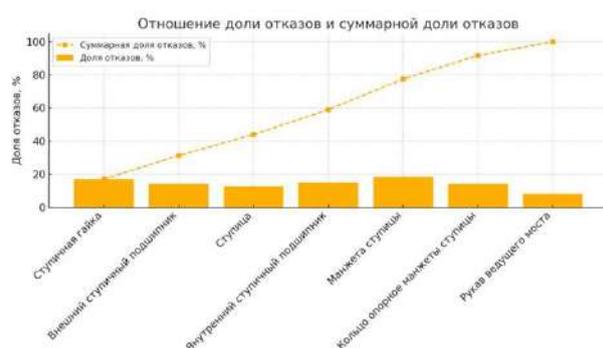


Рисунок 2 - Диаграмма ранжирования деталей ступичного узла ведущего моста автомобиля КамАЗ по долям отказов

Результаты обработки экспертных оценок позволили определить математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение ресурса каждой детали ступичного узла. На основе этих данных были рассчитаны показатели безотказности, включая интенсивность отказов. Наименьший

ресурс и, соответственно, наибольшую интенсивность отказов показали манжета ступицы (100 тыс. км, 0,01 отказ/тыс. км) и ступичная гайка (108 тыс. км, 0,00925 отказ/тыс. км). [4, стр.14]

Анализ долей отказов деталей ступичного узла ведущего моста показал, что наибольшая доля отказов приходится на манжету ступицы (18,452%) и ступичную гайку (17,085%). Применение диаграммы Парето позволило выделить группу элементов, оказывающих преобладающее влияние на безотказность ступичного узла. [4, стр.20]

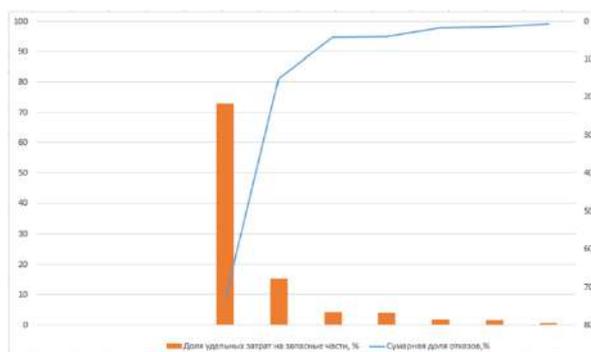


Рисунок 3 – Диаграмма ранжирования деталей ступичного узла ведущего моста автомобиля КамАЗ по удельным затратам на запасные части

Визуальный осмотр наиболее часто отказывающегося узла – ступичного узла – выявил износ посадочной поверхности наружного ступичного подшипника модели 7517 и внутреннего ступичного подшипника 7815. Следы проворачивания подшипников указывают на нарушение условий регулирования подшипникового узла, что приводит к изменению размера посадочного места и появлению люфта. Цвета побежалости металла свидетельствуют о перегреве. Износ также наблюдался на упорном кольце манжеты ступицы. [5, стр.70]

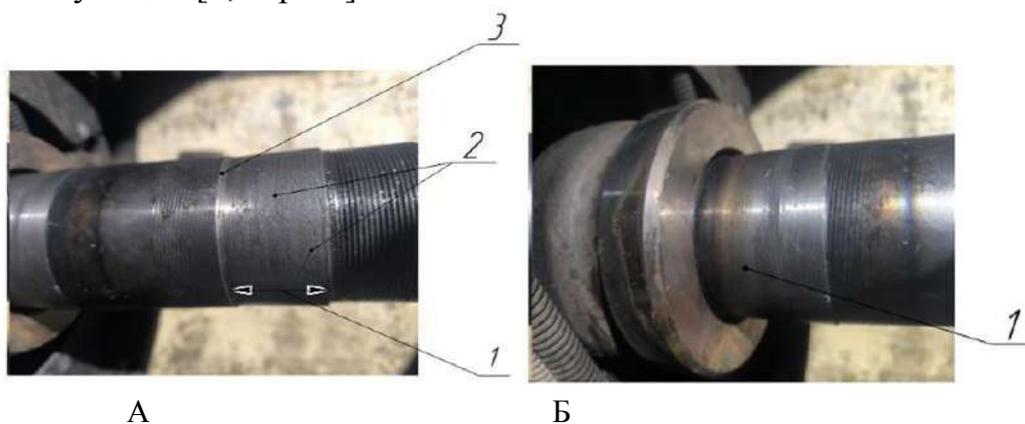


Рисунок 4 - Износ посадочного места внешнего ступичного подшипника 7517 и 7815

А) 1 – посадочное место подшипника 7517; 2 – следы проворачивания подшипника; 3 – осевое смещение подшипника. Б) 1 – посадочное место подшипника 7815

Измерения твердости рабочих поверхностей показали достаточно не высокие значения для посадочных мест ступичных подшипников, что позволяет предположить, что износ произошел из-за недостаточной износостойкости материалов деталей, а также из-за недостаточной затяжки ступичных подшипников. Твердость рабочих поверхностей кольца опорного манжеты ступицы оказалась недостаточно высокой, что указывает на недостаточную прочность и износостойкость материала. Измерения проводились при помощи прибора для измерения твердости «КОНСТАНТА КТ».



Рисунок 5 - Замер твердости посадочных мест ступичных подшипников.



Рисунок 6 - Замер твердостей кольца опорного манжеты ступицы

Для повышения ресурса трансмиссии автомобиля предлагается модернизация конструкции ступичного узла ведущего моста путем установки распорной втулки между внутренним и внешним ступичными подшипниками с набором регулировочных шайб. Данное решение позволит предотвратить преждевременный износ и выход из строя деталей и узлов трансмиссии.

Процесс регулировки подшипников с использованием распорной втулки включает последовательную установку внутреннего подшипника, распорной втулки с регулировочными шайбами, ступицы с внешним подшипником и затяжку ступичной гайки до момента 450-500 Нм с последующей регулировкой люфта путем добавления или удаления шайб. Фиксация гайки

осуществляется с помощью замковой шайбы, стопорной шайбы и контргайки с затяжкой 160 Нм.



Рисунок 7 - Комплект необходимого инструмента и деталей для модернизации ступичного узла

1 - комплект регулировочных шайб «А»; 2 - распорная втулка; 3 – ступичный ключ; 4 – ступичный подшипник 7517; 5 – ступичный подшипник 7815; 6 – манжета ступицы; 7 – контргайка; 8 – стопорная шайба; 9 – замковая шайба; 10 - монтажная лопатка; 11 – ступичная гайка; 12 – штангенциркуль; 13 – микрометр 75-100 мм; 14 - комплект регулировочных шайб «Б»

Внедрение модернизированной конструкции ступичного узла с распорной втулкой, предполагающее снижение риска появления люфта, позволяет снизить совокупные удельные затраты на поддержание надежности до 0,01 тг/км с учетом стоимости изготовления втулки.

Таким образом, экономический эффект от модернизации ступичного узла за весь средний ресурс узла (300000 км) составит: 455700 тг.

Предложенная модернизация ступичного узла ведущего моста автомобиля КАМАЗ является экономически целесообразным решением, позволяющим существенно снизить затраты на поддержание надежности и увеличить срок службы данного узла.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петров П.П. Двигатели КАМАЗ: устройство, ремонт, эксплуатация. – Казань: АвтоМир, 2018.
2. Иванов И.И. Эксплуатация и техническое обслуживание грузовых автомобилей. – М.: Транспорт, 2020.
3. Руководство по эксплуатации КАМАЗ [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.tmufa.ru/upload/iblock/ab8/rukovodstvo.pdf> (дата обращения: [14.03.2025]).
4. Официальный сайт ПАО «КАМАЗ» [Электронный ресурс]. – URL: <https://kamaz.ru> (дата обращения: [14.03.2025]).
5. Техническая документация КАМАЗ. – Москва: КАМАЗ-Пресс, [2007].

**UDC 621.000.**

Ibtasam U. (22- MTM -2 p, EKTU), Akhmadiyev R.B. (24-MTM-2z, EKTU),  
Kombayev K. (PhD, EKTU)

**DIGITAL MEASUREMENTS IN THE DESIGN OF MACHINE PARTS BY  
RIGELSCAN PLUS 3D SCANNING TO INCREASE ACCURACY IN CNC  
MACHINING**

***Abstract:** This article deals with the integration of ZG RigelScan Plus 3D scanner technology in machine part design and manufacturing for CNC machining accuracy enhancement. The article addresses 3D scanning principles, highlighting critical scanner properties and parameters including external noise, object characteristics, and scanner controls.*

*Recommendations are provided to maximize scanning efficiency and minimize environmental and operating problems. The findings emphasize the promise of advanced 3D scanning in modern manufacturing and suggest future studies to further enhance accuracy and efficiency in CNC machining.*

***Keywords:** 3D Scanning; CNC Machining Accuracy; ZG RigelScan Plus Scanner; Precision Engineering; Digital Modeling; Manufacturing Process Accuracy; Scanning Parameters valves.*

### **Introduction**

The development in Kazakhstan is where the enterprises design and manufacture the equipment but also repair these devices used for extraction, refining, and transporting oil and gas. Vertical lathes are used when it is required to machine large or heavy parts which may be either shafts or flanges, rings, or other shut-off valves, etc. High-accuracy part machining performance on the vertical lathes can be enabled by periodic substitution of various instruments. During work on the vertical lathe 1516 [1], it is necessary to regulate the mechanism of changing the tool so that it can return to its usual position.

The tool-changing mechanism of a lathe should serve for the automatic or semi-automatic replacement of the tools involved in work and is the most wear-prone part. Lathe machine is a very important machine tool used in metal industries. There are many varieties of lathe machines, but in modern times in Metal Cutting, automation is done by using CNC, machine [2]. It should be noted that the compensator can only be adjusted by grinding a maximum of five times, as over-adjustment leads to over-tightening of the bearings as indicated in Figure 1 of the tool-changing mechanism. **(Fig 1)** In the event of complete wear or irreversible breakage, the only option will be the replacement of the part with a new one or its restoration. If the given part is supplied only in assembly or it has already been discontinued, then manufacturing of a new part is required.

Traditional universal measurement means cannot measure hard-to-reach areas of a compensator structure of complex form. In such cases, it is possible to use more specialized tools, for example, the RigelScan Plus scanner, since its technology provides the possibility to obtain accurate data in hard-to-reach places [3]. Scanners, which are being designed for various application tasks, need to be able to detect and model a sphere of this size [4]. Research was carried out at the "Smart Engineering" competence center based at D. Serikbayev EKSTU. Development and implementation of smart engineering and reverse engineering technologies allow import substitution in the machine-building and mining-metallurgical industries.



Figure 1 - Tool Change Mechanism Compensator

The RigelScan Plus is a brand-new and superior metrology system from ZG Technology Co., Ltd. It realizes the newest technology in a blue laser 3D scanner on a handheld device for the first time, with an unprecedentedly high accuracy of up to 0.01 mm and certified by the National Institute of Metrology [5]. The RigelScan demonstrates its power with blue laser technology in capturing even the finest details, especially on complicated surfaces like shiny or dark materials.



Figure 2 - ZG RigelScan Plus scanner

The ZG RigelScan Plus (**Fig 2**) Plus handheld blue laser 3D scanner, highlighting its advanced design and functionality. With smart HDR mode, the scanner ensures reliability in data capture irrespective of surface characteristics, while dynamic referencing technology assures consistent accuracy, even when the scanner or the object is in motion. With an ultra-high measurement speed of up to 2,100,000 points per second and a scanning area of up to 600 x 550 mm [3], it greatly raises the level of efficiency in workflow, hence suitable for high-demand industrial applications.

Calibration Kit for SMARTTECH 3D UNIVERSE 3D scanner was used for the precise setup and calibration of the ZG RigelScan Plus, with the view to ensuring high scanning accuracy.

Calibration is a simple method applied to the data analysis [6]. These high-contrast markers enable precise spatial alignment to ensure the capturing of correct shape and dimensions of an object by the scanner. Normally, calibration is performed using a so-called calibration plate (**Fig 3**), as seen in the figure below. This plate contains the pre-defined patterns of positioning targets and is used to optimize the camera system of the scanner. This means that for calibration to be effectively done, the plate should be laid flat on a stable surface.



Figure 3 – Calibration Plate

Calibration plate with pre-defined positioning targets that are used in the process of optimizing scanner accuracy for the fine calibration of a 3D scanning device.

Before 3D scanning, the part was cleaned. Oil films and corrosion are not allowed to be present. This is very important for high accuracy.

After the preparation of the part, the 3D scan starts. The specialist moves the scanner from every possible angle around the part. If the piece is small, then the piece will be placed on a turntable. The end result of this is a polygonal 3D model or a "point cloud", which represents the geometry of the part (Figure 4).

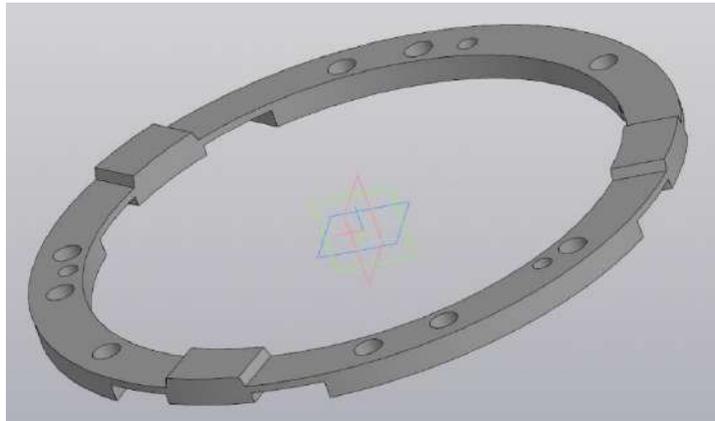


Figure 4 – 3D models of the manufactured part

This model can be used either for measurements or for visual representation. The format of the generated model is either "obj" or "stl." The only possible practical use of a 3D model in this format in production is 3D printing. However, in our case, a solid 3D CAD model is required, which can then be used to create drawings or write programs for CNC machines.

The model obtained this way cannot yet be used directly for developing design documentation. After all, additive manufacturing involves nascent technology that sometimes may lead to unexpected defects [7]. Besides, it requires additional processing and "cleaning" to remove the captured scanning rudiments, close "holes," etc. Eventually, this model provides the complete comprehension of the geometry of the part and eliminates any need for manual measurements. The manual measurements at high precision are impossible to be made due to the geometry and shape of the parts. Once we have the polygonal 3D model of the part, we can develop the 3D CAD model. The solid CAD model is "overlaid" onto the scan using special software-this process is called reverse engineering scanning.

The engineer manually builds the CAD model, with a minimum of automation, and all scanning deviations are kept using special tools within the software. It is the most labor-intensive stage, meaning it requires the highest amount of effort and time from the specialist. With the CAD model already created, the 3D reverse engineering process may be considered complete. 3D object recognition represents a major step forward in the real intelligence of smart computer vision and

finds wide practical applications in such areas as robot navigation and autonomous driving, with augmented reality [8].

RigelScan Plus can export data in the format of "stl," "ply," and "obj," and is compatible with leading software, including SolidWorks, SIEMENS, and FANUC, so it fits very well into any CNC machine.

### Conclusion

1. The course of operation and wear of the compensator of the tool change mechanism in the course of exploitation of 1516 vertical turret lathe is analyzed.
2. The elaboration of the 3D scanning technology of the compensator has been done using a portable device, RigelScan Plus, with accuracy as high as 0.01 mm.
3. A 3D CAD model of the compensator was produced with the aim of integrating it into SIEMENS and FANUC software on CNC machine workflows..

### Funding

This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan. «Creation of a laboratory of design, modeling and engineering analysis to optimize the designs of pipeline fittings of Kazakhstan production»

### REFERENCE

1. Zhang L., Calderon A. D. Research and prospects of CNC lathe //Cogent Engineering. – 2024. – T. 11. – №. 1. – C. 2299043.
2. Patel H., Chauhan I. A. A study on Types of Lathe Machine and Operations //International Journal. – 2020. – T. 8. – №. 4. – C. 286-291.
3. Bazylev A Professional 3D Scanner Solution Provider, <https://www.3d-zg.com/RigelScan-Plus-pl3414012.html>.
4. Boehler W. et al. Investigating laser scanner accuracy //The international archives of photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. – 2003. – T. 34. – №. Part 5. – C. 696-701.
5. Le C. New challenges for China institute of metrology.
6. Forest Collado J. et al. New methods for triangulation-based shape acquisition using laser scanners. – Universitat de Girona, 2004.
7. Maconachie T. et al. SLM lattice structures: Properties, performance, applications and challenges //Materials & Design. – 2019. – T. 183. – C. 108137.
8. Xin Z., Wang H., Zhang J. Snowpoints: Lightweight neural network for point cloud classification //Computers and Electrical Engineering. – 2022. – T. 104. – P. 108463.

**УДК 621.878.2**

Кабдуллина Д.С. (24-DTM-3, ВКТУ), Дудкин М.В. (д.т.н., ВКТУ)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ  
АВТОГРЕЙДЕРА НА ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТЬ В ЭКСПЛУАТАЦИИ**

***Аннотация.** В статье рассматриваются основные параметры автогрейдера, определяющие его производительность и эффективность в дорожном строительстве. Описаны ключевые характеристики: мощность двигателя, эксплуатационная масса, размеры и углы поворота отвала, тип ходовой части, коробка передач, скорость передвижения и радиус поворота. Также затронуты современные технологии и дополнительные опции, улучшающие функциональность техники. Материал предназначен для специалистов в области строительства и эксплуатации дорожно-строительных машин.*

***Ключевые слова:** Эксплуатационная масса, коробка передач, гидравлическая система, рабочие характеристики, управление отвалом, мощность двигателя, радиус поворота.*

Автогрейдеры широко применяются в дорожном строительстве, ландшафтных работах и горнодобывающей отрасли. Эффективность их эксплуатации зависит от ряда технических характеристик, которые определяют производительность, маневренность и экономичность машины. Цель данного исследования – изучить влияние основных параметров автогрейдера на его эксплуатационные качества и разработать рекомендации по их оптимальному выбору. Мощность двигателя автогрейдера влияет на его способность выполнять тяжелые работы, особенно при обработке плотных и твердых грунтов.

- Маломощные модели (100–150 л.с.) подходят для легких грунтовых работ.
- Среднемощные автогрейдеры (150–250 л.с.) универсальны и применяются в большинстве строительных задач.
- Высокомощные модели (более 250 л.с.) эффективны для работы в условиях больших нагрузок, но потребляют больше топлива. Большинство автогрейдеров оснащены простыми и надёжными моторами, которые имеют широкий диапазон мощности, работают в разных условиях. Традиционно силовой агрегат устанавливается сзади, что обеспечивает лучшую устойчивость и удобство эксплуатации, а также это позволяет создать большую нагрузку на рабочий элемент транспорта.

В паре с мотором используется гидромеханическая трансмиссия. Она обеспечивает передачу и преобразование крутящего момента от двигателя к балансирной тележке. Это обеспечивает высокий КПД двигателя и снижает затраты на горюче-смазочные материалы, что делает грейдеры экономичными в использовании. Например, модель LGCE G9190F оснащена многовальновой гидромеханической КПП Hangchi 6WG180 и двигателем Dalian Deutz BF6M1013EC с насос-форсунками.

От КПП крутящий мотор передаётся на главный редуктор балансирной тележки, а от него через полуоси и цепной механизм на колёса автогрейдера, на которых установлены покрышки с рисунком протектора “кляшка”, обеспечивающие высокий уровень сцепления колёс с поверхностью.

Исследования показывают, что чрезмерное увеличение мощности без учета других параметров может привести к перерасходу топлива и снижению экономической эффективности. Масса автогрейдера определяет его сцепление с грунтом и устойчивость при выполнении работ.

- Легкие модели (6–12 тонн) имеют хорошую маневренность, но хуже работают на твердых покрытиях.

- Средние модели (12–18 тонн) обеспечивают баланс между проходимостью и устойчивостью.

- Тяжелые машины (более 18 тонн) применяются на сложных участках, но требуют большего расхода топлива. Отвал – основной рабочий орган автогрейдера, параметры которого определяют производительность машины.

- Длина отвала (3–5 м) влияет на ширину обработки за один проход.

- Высота отвала (500–700 мм) определяет его способность срезать и перемещать большие объемы грунта. Грейдерный отвал с режущими ножами — это главный рабочий элемент техники. Он изготавливается из прочной листовой стали и имеет радиальный изгиб, что обеспечивает прочность при работе с различными типами грунта. Отвал располагается между передними и задними колёсами, фиксируется на передней полураме с помощью тяговой рамы и её подвески. На данной конструкции устанавливается поворотный круг, который позволяет поворачивать грейдерный отвал на 360 градусов, а благодаря уникальной конструкции подвески тяговой рамы грейдерный отвал может профилировать откосы под углом в 90 градусов.

Отвал позволяет перемещать материалы и профилировать поверхности и откосы. Это особенно полезно при укладке грунта или расчистке снега, а также при создании уклонов на дорогах.

Рамная часть чаще всего изготавливается в коробчатом сечении и позволяют использовать дополнительной навесное оборудование, такое как передний бульдозерный отвал, передний кирковщик, центральный кирковщик и задних рыхлитель.

- Угол поворота (до 90° в обе стороны) влияет на точность профилирования поверхности.

Исследования показывают, что для сложных рельефов эффективнее использовать модели с увеличенным углом поворота отвала и возможностью его наклона. Автогрейдеры бывают:

- Колесные – обеспечивают высокую скорость передвижения и хорошую маневренность.

- Гусеничные – имеют лучшую проходимость, но менее мобильны. Коробка передач определяет управляемость и плавность хода:

- Механическая КПП обеспечивает точное управление, но требует высокой квалификации оператора.
- Гидромеханическая КПП облегчает управление, повышая комфорт работы.
- Автоматическая КПП снижает нагрузку на оператора, но увеличивает стоимость техники. Радиус поворота автогрейдера зависит от конструкции рамы и рулевого управления.
- Малый радиус поворота (6–8 м) улучшает маневренность, но снижает устойчивость.
- Большой радиус (10–12 м) делает машину устойчивее, но ограничивает возможности работы в стесненных условиях.

Шарнирно-сочлененные автогрейдеры обладают лучшей маневренностью, что делает их эффективными в городских условиях. Нож автогрейдера является одним из ключевых рабочих элементов машины, непосредственно влияющим на качество и скорость выполнения землеройных и планировочных работ. Его конструкция, материал, угол наклона и износостойкость определяют эффективность работы на различных типах грунта и покрытий. В данной статье рассмотрены основные характеристики ножа автогрейдера и их влияние на производительность машины.

Нож автогрейдера представляет собой сменную металлическую пластину, закрепленную на отвале и предназначенную для срезания, перемещения и разравнивания грунта. Материал ножа играет решающую роль в его износостойкости и эффективности работы. Угол наклона ножа относительно поверхности определяет, насколько эффективно он срезает грунт и насколько плавно проходит по покрытию.

Нож автогрейдера оказывает значительное влияние на его производительность и эксплуатационные характеристики. Правильный выбор материала, угла наклона и типа ножа позволяет снизить энергозатраты, продлить срок службы техники и повысить качество выполняемых работ. Регулярный контроль состояния ножа и своевременная его замена – залог эффективной работы автогрейдера.

Оптимальный выбор массы зависит от условий работы: для асфальтированных дорог лучше использовать средние модели, а для карьеров и тяжелых грунтов – тяжелые автогрейдеры. Строительство автомобильных дорог, интенсификация которого обусловлена требованиями народного хозяйства, связано со значительным объемом земляных работ.

Земляные работы, которые являются наиболее трудоемкими и включают в себя разработку и перемещение грунта, выполняются с помощью землеройно-транспортных машин. В последние годы отчетливо наблюдаются две тенденции развития землеройно-транспортных машин: увеличение массы и мощности машин, позволяющее увеличить объем разрабатываемого грунта, и более полное использование ресурсов существующих типоразмеров машин путем модернизации рабочего оборудования, конструкции машин, улучшения тягово-сцепных свойств двигателей и т.п.

Практически всегда при строительстве автомобильной дороги применяются автогрейдеры. Это обусловлено их универсальностью: автогрейдер способен производить зарезание, продольное и поперечное перемещение, разравнивание грунта, а также отделочные операции. Поэтому инженерная и конструкторская мысль уделяет развитию автогрейдеров большое внимание, благодаря чему практически все операции по управлению рабочим оборудованием выполняются с помощью гидравлических и электрогидравлических устройств, а для профилировочных работ разработан ряд систем автоматического управления рабочим органом. Автоматические устройства применяются также для управления режимом работы двигателя с целью наиболее эффективного использования его мощности.

Кроме автоматизации работы автогрейдера и совершенствованию механизмов управления тяговой рамой и отвалом существенное внимание уделяется развитию конструкций основного рабочего органа отвала. В зависимости от вида выполняемых операций отвалу придаются различные формы и изменяются его параметры.

Значительный ресурс повышения производительности автогрейдеров и других землеройно-транспортных машин - более полное использование мощности двигателя. Здесь многое зависит от выбора трансмиссии. Как у нас в стране, так и за рубежом наметилась тенденция оснащения средних автогрейдеров гидромеханическими трансмиссиями или, по заказу, механическими. Однако почти на всех тяжелых автогрейдерах, где потери мощности из-за низкого КПД гидромеханических трансмиссий более заметны, устанавливают только механические трансмиссии (данные Интернет-сайтов фирм Caterpillar и Komatsu). Развитие последних позволяет переключать передачи под нагрузкой без разрыва потока мощности, а появление расширенного диапазона передач (в том числе «ползучей» передачи) и электронного управления коробкой переключения передач делает использование механических трансмиссий наиболее перспективным.

Использование тяговой мощности машины связано с характеристиками рабочего органа - отвала. Поскольку от размеров, формы и расположения отвала в пространстве зависят рабочие сопротивления, параметры отвала необходимо согласовывать с характеристиками двигателя и трансмиссии. Разработаны системы автоматического управления отвалом, позволяющие поддерживать максимальное значение тяговой мощности.

Таким образом, совершенствование конструкции рабочего органа автогрейдера с целью повышения производительности путем реализации ресурсов машины по тяговой мощности является актуальной научно-технической задачей.

### **Выводы:**

Результаты исследования показывают, что эффективность автогрейдера определяется комплексом параметров. Оптимальный выбор зависит от условий эксплуатации:

Для городских и дорожных работ предпочтительны модели средней мощности с колесным шасси и автоматической КПП.

Для тяжелых условий (карьеры, строительство магистралей) необходимы мощные машины с большой массой и увеличенной длиной отвала.

Для работы на слабых грунтах целесообразно использовать гусеничные модели.

Правильный подбор технических характеристик позволяет повысить производительность, снизить эксплуатационные затраты и улучшить качество выполняемых работ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чичинадзе А.В., Берлинер Э.М., Браун Э.Д. и др. Трение, износ и смазка 1. И., Колесниченко К. А., Маслов В. Т. Элементы гидропривода: Справочник. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - Киев: Техника, 1977.- 320 с.
2. Автогрейдер ДЭ-143 и его модификации: Техническое описание и инструкция по эксплуатации.- Брянск: Брянский завод дор. машин, 1984226 с.
3. Автогрейдер Соловьянинова С. В.: А.с. 1808925 СССР, МКИ Е 02 F 3/76/ Е. В. Злобин, С. В. Соловьянинов и др. (СССР). 4 е.: ил.
4. Автогрейдер: А.с.1074970 СССР, МКИ Е 02 F 3/76/ Л. А. Антипов, Б. А. Бондарович и др. (СССР). 3 е.: ил.
5. Автогрейдер: А.с.1216293 СССР, МКИ Е 02 F 3/76/ Ю. И. Дрозд, В. Ш. Зубков и др. (СССР). 3 е.: ил.
6. Автогрейдер: А.с. 1323668 СССР, МКИ Е 02 F 3/76/ В. Н. Трухин (СССР). 4 е.: ил.
7. Автогрейдер: А.с. 1331966 СССР, МКИ Е 02 F 3/76/ В. Н. Архангельский,
8. А. В. Гульяшкин, В. К. Забегалин (СССР). 3 е.: ил.
9. Автомобильные дороги: Автоматизация производственных процессов в строительстве: Учебник для вузов/ Л. Я. Цикерман, В. И. Марсов, Г. И. Асмолов и др.; Под ред. Л. Я. Цикермана.- 2-е изд., перераб. и доп.,-М.: Транспорт, 1986.-238 с.
10. Агеев Л. Е. Основы расчета оптимальных и допускаемых режимов работы машинно-тракторных агрегатов. М.: Колос, 1978. - 256 с.

**УДК 62.03**

Калибек Ж.С. (24-DTM-3, ВКТУ), Дудкин М.В. (д.т.н., ВКТУ),  
Асангалиев Е.А. (к.с-х.н., ВКТУ)

**МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ  
СОЛЯНЫХ БРИКЕТОВ-ЛИЗУНЦОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИИ**

***Аннотация.** В статье рассматриваются процессы моделирования и оптимизации технологии производства соляных брикетов-лизунцов, используемых в животноводстве, с учетом их значимости в машиностроительной отрасли. Анализируются основные факторы, влияющие на формирование брикетов, включая физико-химические свойства сырья, давление прессования и параметры сушки. Так же в статье рассматривается применение методов искусственного интеллекта для моделирования и оптимизации процесса формирования соляных брикетов. Анализируются возможности машинного обучения и нейросетевых алгоритмов для прогнозирования влияния основных параметров прессования (давления, влажности, гранулометрического состава) на прочность и плотность брикетов.*

***Ключевые слова:** моделирование, оптимизация, соляные брикеты-лизунцы, машиностроение, прессование, физико-химические свойства, автоматизация, искусственный интеллект, машинное обучение, цифровые технологии.*

Соляные брикеты-лизунцы играют важную роль в кормлении сельскохозяйственных животных, обеспечивая поступление необходимых минеральных веществ. Производственный процесс требует строгого контроля параметров, поскольку механическая прочность и растворимость напрямую влияют на эффективность их использования. Важным аспектом в машиностроительной отрасли является совершенствование технологического оборудования и процессов прессования, что способствует повышению качества и экономичности производства. Современные методы моделирования позволяют повысить качество продукции за счёт оптимизации технологических параметров. Одним из перспективных подходов к оптимизации этих процессов является использование методов искусственного интеллекта (ИИ). Развитие технологий машинного обучения позволяет создать цифровые модели, которые прогнозируют влияние различных параметров на конечные свойства брикетов, что способствует повышению качества продукции и снижению производственных затрат.

Теоретические основы формирования соляных брикетов складывается из существующих теорий, которые рассматривали следующие ученые как Чмырь Д.Д., Гаманов Н. И., Дерягин Б.В., Наумович В.М. и т.д. Наиболее достоверной и универсальной следует считать теорию, объясняющую причины сцепления частиц в спрессованном дисперсном материале действием молекулярного притяжения и водородных связей. Кроме указанных сил на связность структуры в брикете также оказывает действие механическое сцепление. Чем сложнее поверхность частицы, тем больше вероятность ее механического сцепления с другой частицей и тем прочнее структура

прессовки [1]. Однако данный вид связи существенно проявляется в случае прессования порошков с анизодиаметрическими частицами. Для таких порошков, как поваренная соль, механическое сцепление играет, видимо, несущественную роль. Так, К. Кегель указывает, что в брикете, изготовленном из высушенной соли, сцепление частиц осуществляется только за счет сил молекулярного взаимодействия.

Водородная связь проявляется тем сильнее, чем больше электроотрицательность атома-партнера и чем меньше его размеры [2]. Поэтому она наиболее сильно проявляется для соединений фтора и кислорода, в меньшей степени для азота и еще в меньшей для хлора и серы. Таким образом, в брикете из поваренной соли кроме молекулярных связей может присутствовать и водородная связь между ионами  $\text{Cl}^-$ , а также группами  $\text{SO}_4$ .

В соответствии с литературными данными качество брикетов из различных сыпучих материалов оказывают влияние многочисленные факторы, которые могут быть объединены в две группы:

1. Факторы, обуславливаемые физико-механическими и химическими свойствами прессуемого материала и условиями прессования: влажность и крупность материала, форма частиц, вид и содержание примесей, пластичность материала, объемная масса материала, давление прессования, величина внешнего трения, температура материала и матрицы и др.

2. Факторы, обуславливаемые конструктивными особенностями пресса: скорость прессования и время выдержки материала под давлением; форма брикета и соотношение его размеров; характер прессования (одно- или двустороннее, статическое, вибрационное, импульсное, непрерывное на кольцевых и валковых прессах и др.).

Наличие влаги в дисперсном материале играет важную роль в процессе его прессования. При определенных давлениях и пористости в прессовке проявляются капиллярные силы, увеличивающие силу сцепления частиц между собой [3]. С другой стороны, влага препятствует тесному контакту между частицами. Существование оптимального значения влажности, которому соответствует наибольшая прочность брикета, подтверждено рядом исследований для различных материалов: М.Г. Акопов, К. Кегель, И.Д. Ремесников. Давление прессования является одним из важных факторов, влияющих на прочность и плотность брикетов. Практически все исследователи в области изучения процессов прессования различных дисперсных материалов отмечают, что с увеличением удельного давления прессования как плотность, так и прочность брикета возрастает. Время прессования делят на составляющие: время подъема давления до максимального (скорость прессования) и время выдержки брикета под давлением. Вопрос влияния времени прессования на плотность и прочность брикета имеет большое значение, так как от него зависит производительность пресса, а следовательно, и себестоимость продукции.

Сушкевич Н.М. [4], изучавший влияние времени прессования на плотность соляных брикетов, получил зависимость, из которой следует, что

существует значение времени прессования, после которого существенного увеличения плотности брикета уже не наблюдается. Это значение равно 4-5 с. Им получена зависимость прочности солебрикетов на сжатие от времени выдержки их под максимальным давлением в процессе прессования. Время выдержки изменялось от 0 до 90 с. Так, например, при давлении прессования 100 МПа прочность брикетов увеличивается при выдержке под максимальным давлением: 5 с - 1,0%; 10 с - 2,0%; 15 с - 3,2%; 30 с - 8,7%; 60 с - 8,7%; 90 с - 9,1%. Таким образом, установлено, что влияние времени прессования свыше 4-5 с на прочность соляных брикетов не существенно.

Повышение температуры прессуемого материала увеличивает его пластичность и подвижность [5]. Наумович В.М. экспериментально показал, что температура прессуемого торфа на прочность брикетов не влияет. На процесс уплотнения и упрочнения брикетов из поваренной соли температура не оказывает существенного влияния. По данным работы [5] плотность полученных при давлении 150 МПа солебрикетов в зависимости от температуры составила: 20°C -  $2,01 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>; 60°C -  $2,05 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>; 150°C -  $2,11 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>.

Факторы, обусловленные конструктивными особенностями прессы, включают:

**Скорость прессования и время выдержки материала под давлением.**

Скорость прессования влияет на степень уплотнения материала, формирование внутренних напряжений и распределение частиц. Оптимальный выбор времени выдержки под давлением позволяет снизить пористость и улучшить механическую прочность брикетов. В машиностроении используются гидравлические и механические прессы с регулируемой скоростью для контроля этих параметров.

- **Форма брикета и соотношение его размеров.** Геометрия брикета влияет на

равномерность распределения давления и устойчивость к механическим нагрузкам. В машиностроении широко применяются пресс-формы с различными профилями (цилиндрические, прямоугольные, многогранные), обеспечивающие оптимальное распределение напряжений и минимизацию внутренних дефектов.

- **Характер прессования.** Различные типы прессования применяются в зависимости от требований к прочности и плотности брикета:

1. **Одностороннее прессование** – применяется в простых прессах, характеризуется неравномерным распределением давления.

2. **Двустороннее прессование** – обеспечивает равномерное распределение нагрузки, снижает вероятность появления внутренних дефектов.

3. **Статическое прессование** – выполняется с постоянной нагрузкой, что важно для обеспечения высокой плотности.

4. **Вибрационное прессование** – улучшает распределение частиц, снижает пористость и повышает механическую прочность.

**5. Импульсное прессование** – применяется для увеличения плотности за счет чередования периодов высокого давления и пауз.

**6. Непрерывное прессование на кольцевых и валковых прессах** – подходит для массового производства, обеспечивает высокую производительность и повторяемость характеристик [3].

Исследования, связанные с публикацией, финансируются Комитетом науки Министерства науки и высшего образования РК (грант AP19678322 «Разработка комплекса машин и технологии для производства минерально-витаминных премиксов-лизунцов для крупного рогатого скота» по договору 321/23-25 от 03.08.2023 г.).

Роль искусственного интеллекта в моделировании процесса формирования брикетов в следующем:

1. Методы машинного обучения для анализа технологических процессов  
Машинное обучение (ML) представляет собой набор алгоритмов, позволяющих выявлять закономерности в данных и прогнозировать поведение системы. В контексте прессования соляных брикетов могут быть применены следующие методы [6]:

- Регрессионный анализ – позволяет предсказывать прочность и плотность брикетов в зависимости от входных параметров.
- Нейронные сети – моделируют сложные нелинейные зависимости между технологическими параметрами.
- Методы оптимизации (генетические алгоритмы, градиентный спуск) – помогают подобрать наилучшие параметры прессования.
- **Глубинные нейронные сети (DNN)** – используются для сложного моделирования зависимостей между переменными, прогнозирования аномалий в процессе производства и определения лучших условий для прессования.
- **Генетические алгоритмы** – оптимизируют параметры прессования путем имитации процессов естественного отбора, что позволяет найти наилучшие комбинации входных данных для достижения максимальной прочности и плотности брикетов.
- **Методы кластеризации (k-means, DBSCAN)** – позволяют анализировать наборы данных, группировать образцы по сходным характеристикам и выявлять оптимальные комбинации параметров для различных типов брикетов.
- **Рекуррентные нейронные сети (RNN) и LSTM** – применяются для предсказания изменений в параметрах прессования на основе временных рядов, что помогает автоматизировать процессы контроля качества [6].

2. Создание цифровых моделей прессования

На основе данных экспериментальных исследований и исторических записей о производственных процессах можно построить цифровую модель прессования. Такая модель учитывает все основные параметры и позволяет прогнозировать выходные характеристики брикетов, снижая потребность в физических экспериментах.

### 3. Оптимизация технологического процесса с использованием ИИ

Применение алгоритмов оптимизации ИИ может быть использован для автоматического подбора оптимальных параметров производства. Применение генетических алгоритмов и методов случайного поиска позволяет определить лучшие условия прессования для максимальной прочности и плотности брикетов.

Автоматизированное управление процессом можно достичь, внедрив искусственный интеллект в систему управления производством, это позволяет оперативно корректировать параметры прессования в зависимости от текущих условий. Это снижает вероятность брака, уменьшает расход сырья и повышает эффективность всего технологического процесса. Использование систем предсказательной аналитики на основе собранных данных можно строить предсказательные модели, позволяющие выявлять аномалии в процессе прессования и предотвращать дефекты брикетов. Такие системы базируются на алгоритмах глубинного обучения и статистического анализа [10].

Моделирование и оптимизация процессов формирования соляных брикетов-лизунцов позволяют повысить их механическую прочность и долговечность. Включение машиностроительных технологий, таких как автоматизированные системы управления процессами прессования и модернизация оборудования, способствует повышению эффективности производства. Использование численных методов и машинного обучения способствует более точному прогнозированию параметров и снижению производственных затрат. Будущие исследования будут направлены на усовершенствование математических моделей с учётом микроструктурных свойств материала и развитие роботизированных систем контроля качества.

Использование искусственного интеллекта способствует не только повышению эффективности технологических процессов, но и созданию новых методов мониторинга качества, прогнозирования неисправностей и автоматизации принятия решений. Таким образом, цифровизация и применение ИИ становятся ключевыми факторами в модернизации отрасли и достижении новых стандартов качества продукции [11].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Smith J. Powder Compaction Processes in Engineering. – Cambridge: Springer, 2018. – P. 102-145.
2. Кузнецов П.И. Оптимизация технологических процессов в машиностроении. – СПб.: Политех, 2020. – С. 210-256.
3. Иванов А.С. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. – М.: Техносфера, 2021. – С. 88-132.
4. Петров В.Н. Основы порошковой металлургии. – Екатеринбург: УрО РАН, 2017. – С. 59-112.
5. Brown T. Advanced Powder Metallurgy Technologies. – London: Elsevier, 2019. – P. 160-205.

6. Мельников А.В. Современные методы компьютерного моделирования в машиностроении. – Новосибирск: НГТУ, 2022. – С. 34-98.

7. Zhang Y. Numerical Methods in Engineering Simulations. – Berlin: Springer, 2020. – P. 75-130.

8. Орлов С.И. Инновационные технологии прессования порошковых материалов. – Казань: КНИТУ, 2021. – С. 115-190.

9. Бишоп К. М. Распознавание образов и машинное обучение. – Springer, 2006. (с. 45-78)

10. Митчелл Т. М. Машинное обучение. – McGraw-Hill, 1997. (с. 67-98)

11. Вапник В. Теория статистического обучения. – Springer, 1995. (с. 34-76)

12. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. – Pearson, 2020. (с. 203-250)

УДК 621.646.5

Килымбеков Н.К (24-МТМ-2т, ВКТУ), Габдысалық Р. (PhD, ВКТУ)

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ШИБЕРОВ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ

***Аннотация.** В статье рассматриваются проблемы износа трущихся поверхностей шиберных задвижек, особенно узла шибер-седло, работающего в условиях высоких нагрузок. Рассматриваются ключевые механизмы износа, включая абразивное, коррозионное, усталостное и адгезионное воздействие. Обоснована необходимость применения наплавки для восстановления изношенных поверхностей, а также рассмотрены различные методы и материалы, включая MIG/MAG наплавку с использованием наплавочного материал Stoodite 6M, ПрНл-3В14К и НП-65Г. Ожидаемые результаты направлены на увеличение долговечности и эксплуатационной надежности шиберов, снижение затрат на их замену и продление срока службы запорной арматуры.*

***Ключевые слова:** шиберная задвижка, шпindelь, износ, наплавка, восстановление.*

Шиберные задвижки широко применяются в нефтегазовой, химической и других отраслях промышленности для перекрытия потока рабочей среды. Они используются в трубопроводных системах и относятся к запорной арматуре, предназначенной для работы в условиях высокого давления и агрессивных сред. Особенно это актуально для объектов нефтегазовой отрасли, где предъявляются высокие требования к надежности и стойкости к износу.

В зависимости от конструкции различают следующие типы шиберных задвижек:

- с одинарным шибером – используются в относительно простых системах с умеренными нагрузками;
- с двойным шибером и уплотнением – обеспечивают лучшую герметичность за счёт прижима шиберов к седлу;
- маслonaполненные фланцевые задвижки – применяются в тяжелых эксплуатационных условиях, требуют качественного уплотнения шпинделя.

АО «Усть-Каменогорский завод промышленной арматуры» (УЗПА) с 2022 года переходит на международные стандарты API 6A и API 6D, что требует адаптацию конструкций задвижек к условиям эксплуатации при высоких температурах. В таких условиях значительно возрастают нагрузки на ключевые узлы задвижки, в частности на шибер и шпindelь, что приводит к ускоренному износу их трущихся поверхностей. Это обостряет проблему долговечности деталей и требует более эффективных методов восстановления, включая оптимальный подбор материалов и технологий наплавки.

В процессе работы задвижки подвергаются механическим, температурным и химическим воздействиям, что приводит к следующим видам износа:

- **Абразивный износ** - возникает из-за твердых частиц в рабочей среде, приводя к разрушению контактных поверхностей. Например, в нефтегазовой отрасли частицы песка и парафина значительно ускоряют износ. Согласно требованиям API 6A [1], арматура, работающая в средах с твердыми включениями, должна иметь повышенную стойкость к износу, что требует применения специальных износостойких материалов и покрытий.

- **Коррозионный износ** – вызван агрессивными средами, разрушающими металл. Особенно актуально для задвижек, работающих в средах с высоким содержанием сероводорода ( $H_2 S$ ) [1].

- **Усталостный износ** – результат многократных циклов нагрузки и снятия нагрузки, что ведет к появлению трещин и разрушению металла. Это заметно в задвижках, работающих в системах с резкими перепадами давления.

- **Адгезионный износ** – обусловлен высоким трением между сопряженными деталями, что приводит к задирам и схватыванию поверхностей. Это часто случается в задвижках, работающих в условиях недостаточной смазки.

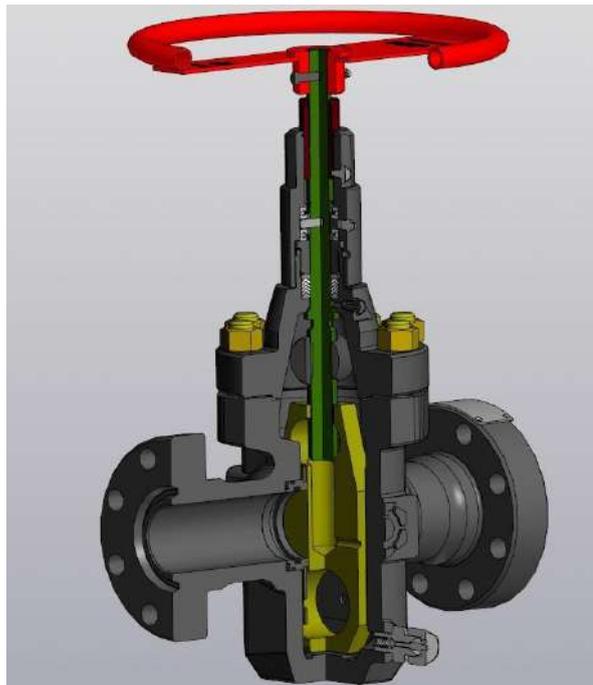


Рисунок 1 - Шиберная задвижка

При проведении анализа поступивших на АО «УЗПА» шиберных задвижек после эксплуатации, выявляется значительный износ шпинделя в зоне контакта с уплотнением. Это приводит к утечкам рабочей среды и необходимости замены детали. Однако полная замена шпинделя требует значительных затрат на изготовление новой детали, вызывает простой оборудования и сопряжена со сложностью демонтажа.

На рисунке 1 представлена конструкция шиберной задвижки, где наглядно показан узел шибера, подвергающийся наибольшим нагрузкам [2]. В

процессе эксплуатации данный элемент испытывает значительное механическое воздействие, что приводит к износу его рабочих поверхностей, снижению герметичности и возможному появлению задиров. Для решения данной проблемы применяется метод наплавки, позволяющий восстановить изношенную поверхность шибера и существенно продлить срок его службы, снижая эксплуатационные расходы. Наплавка является более экономичным и технологически оправданным решением по сравнению с заменой, так как позволяет восстановить рабочие поверхности без необходимости изготовления новой детали [3].

В зависимости от условий эксплуатации используются различные наплавочные материалы, такие как нержавеющая сталь, стеллит и карбид вольфрама, которые обеспечивают повышенную износостойкость и стойкость к агрессивным средам [4]. А также применяются различные методы наплавки:

- Дуговая наплавка (MIG/MAG, TIG) – обеспечивает хороший контроль качества и высокую производительность.
- Плазменная наплавка (РТА – Plasma Transferred Arc) – позволяет получать прецизионные покрытия с минимальным термическим влиянием.
- Лазерная наплавка – формирует плотный и прочный слой, повышая ресурс детали.
- Газопламенная наплавка – используется для нанесения тонких защитных покрытий с высокой стойкостью к износу.

Выбор метода наплавки зависит от требований к прочности, твердости и коррозионной стойкости восстановленного слоя [5].



Рисунок 2 – Пример износа шибера

На рисунке 2 представлены примеры износа шибера после эксплуатации, демонстрирующие основные типичные повреждения и зоны наибольшего износа.

В рамках магистерской диссертации планируется исследовать процесс наплавки рабочих поверхностей шибера задвижки с целью повышения его износостойкости и увеличения срока службы. Данное исследование проводится в соответствии с производственными задачами АО «Усть-Каменогорского завода промышленной арматуры».

Шибер на предприятии изготавливается из стали 20Х13 или 30Х13, получают методом поковки 4-й группы, что обеспечивает высокую прочность и коррозионную стойкость. Однако в условиях эксплуатации наблюдается значительный износ рабочих поверхностей, особенно при контакте с седлом задвижки. Для восстановления изношенных зон запланированы эксперименты с применением следующих наплавочных материалов:

- ПрНл-3В14К (ГОСТ 21449-75) – наплавочный пруток диаметром 5 мм, используемый для защиты деталей, работающих в условиях высоких ударных нагрузок, абразивного воздействия и высоких температур [6].

- Stoodite 6М (ESAB, Ø1.6 мм) – широко распространенный кобальтовый сплав с высоким содержанием хрома, вольфрама и других легирующих элементов, обеспечивающий отличную стойкость к износу и эрозионному разрушению.

- НП-65Г (ГОСТ 10543-98) – наплавочная стальная проволока с высоким содержанием углерода и марганца, обеспечивающая повышенную твердость восстановленного слоя [7].

Для максимальной объективности в исследовании планируется применение трех вида наплавочных материалов, что позволит провести сравнительный анализ их эксплуатационных характеристик.

Для наплавки шибера используется метод дуговой наплавки в среде защитных газов (MIG/MAG, GMAW). Этот процесс будет выполнен с использованием оборудования Rilon MIG 500 и EWM Taurus 451 на АО «УЗПА», что обеспечивает стабильность процесса и высокую производительность.

Метод наплавки MIG/MAG позволяет:

- Контролировать глубину проплавления и форму наплавленного слоя, что важно для восстановления рабочих поверхностей шибера [8].

- Обеспечить высокую производительность и равномерность наплавки, что снижает время обработки детали.

- Использовать разные типы наплавочных материалов, включая Stoodite 6М, ПрНл-3В14К и НП-65Г, что позволяет варьировать характеристики восстановленного слоя.

После наплавки будут проведены металлографические исследования в лабораториях нашего университета и проведены испытания на механические свойства на производстве.

Восстановление шибера методом наплавки является экономически выгодной альтернативой полной замене деталей. Применение наплавки позволяет сократить затраты на изготовление новых шибера, уменьшить время простоя оборудования и повысить срок службы задвижек. Кроме того,

за счет использования износостойких материалов повышается эксплуатационная надежность запорной арматуры.

Дополнительным преимуществом наплавки является возможность персонализированного подбора наплавочного материала в зависимости от условий эксплуатации. Например, для сред с высокой абразивной нагрузкой применяются твердые кобальтовые сплавы, такие как Stoodite 6M, обладающие высокой устойчивостью к износу. В случае интенсивного воздействия коррозионных факторов рекомендуется использование нержавеющей наплавочных материалов, таких как ПрНл-3В14К, обладающих повышенной стойкостью к химическим средам.

Кроме того, наплавка позволяет модифицировать структуру рабочей поверхности шибера, улучшая его механические характеристики. Регулирование параметров наплавки, таких как скорость подачи проволоки, напряжение дуги и тип защитного газа, позволяет оптимизировать процесс и добиться максимального ресурса восстановленной детали.

В рамках данного исследования будут рассмотрены также влияние режимов наплавки на микроструктуру наплавленного слоя, величину остаточных напряжений и коэффициент трения восстановленного покрытия. Результаты позволят определить наилучшие параметры технологического процесса, обеспечивающие долговечность и надежность задвижек в условиях реальной эксплуатации.

Таким образом, проведение исследования и применение его результатов в производство позволит повысить эффективность эксплуатации шиберных задвижек, снизить затраты на их обслуживание и продлить срок службы запорной арматуры в условиях высоких нагрузок.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. API 6A. Specification for Wellhead and Christmas Tree Equipment. 21st Edition. American Petroleum Institute, 2018. – 352 с.
2. API SPECIFICATION 6D Specification for Valves TWENTY-FIFTH EDITION, NOVEMBER 2021. - 161 с.
3. Справочник по сварке и наплавке / Под ред. В. И. Балакшина. – М.: Машиностроение, 2010. – 448 с.
4. Технология сварки и наплавки / Г. А. Никитин, Ю. В. Пичугин. – СПб.: Питер, 2012. – 320 с.
5. Современные методы наплавки и их применение в машиностроении // Журнал «Сварка и диагностика», №3, 2020. – С. 90-105.
6. ГОСТ 21449-75. Материалы наплавочные. Общие технические требования. – М.: Изд-во стандартов, 1975. – 7 с.
7. ГОСТ 10543-98. Проволока стальная наплавочная. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1998. – 10 с.
8. Курс лекций по сварке и наплавке / Н. П. Колесников. – Екатеринбург: УрФУ, 2018. – 278 с.

УДК 669.053.4.

Корнилович А.М. (24-ММТ-2т, ВКТУ), Абдулина С.А.(PhD, ВКТУ)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОБРАЗОВАНИЕ ОСАДКОВ РАФИНАТОВ УРАНА В ТРУБОПРОВОДАХ ЭКСТРАКЦИОННОЙ ЛИНИИ УРАНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

***Аннотация.** В данной статье рассмотрен процесс экстракции урана и способ его оптимизации методом предотвращения образования осадков рафинатов внутри трубопроводов экстракционной линии с помощью использования ультразвуковых излучателей. Проведен анализ исходных данных. Рассмотрены актуальные проблемы процесса, порядок подготовки к исследованиям, применяемое оборудование, и порядок проведения работ.*

***Ключевые слова:** уран, экстракция, ультразвуковое излучение, трубопроводы, рафинаты, гидрометаллургия, осадки, искусственный интеллект.*

Уран - стратегически важный металл, используемый в атомной, космической, военной и машиностроительной промышленности. Он является радиоактивным элементом, и в большинстве случаев его применение связано именно с этим фактором. Казахстан – мировой лидер по добыче и производству урана, поэтому стоит развивать и совершенствовать данную отрасль на постоянной основе. В настоящее время на урановом производстве АО «УМЗ» существует проблема зарастания трубопроводов линии транспортировки растворов технологии ХКПУ, которая требует эффективного и экономически обоснованного решения. Это связано с тем, что в рафинатных растворах высокая концентрация солей.

На сегодняшний день интенсивность зарастания внутренней поверхности трубопроводов настолько высокая, что не реже двух раз в год приходится останавливать производство на технологическую паузу для проведения очистки.

Применяемая водная промывка, даже при повышенных температурах не позволяет перевести отложения в растворенное состояние, для этого требуется фторосодержащая среда, так как отложения содержат цирконий, кремний и фосфор, в большом количестве присутствуют железо и хром. Поэтому для промывки используют плавиковую кислоту или фторид аммония. Однако использование этих реагентов увеличивает коррозионную нагрузку на материал трубопроводов и сопровождается дополнительными затратами.

Таким образом, требуется разработка новой технологии для предотвращения образования твердого осадка на трубопроводах линии транспортировки растворов технологии ХКПУ, которая позволит существенно снизить его объем или исключить полностью.

Наиболее эффективным и универсальным из без реагентных физических методов для решения проблемы по предотвращению образования твердых осадков в трубопроводах является ультразвуковой метод. По сравнению с другими способами он экономичен, экологически чист, безопасен для оборудования и персонала. Принцип ультразвуковой технологии основан на передаче высокочастотных продольных и поперечных механических колебаний, препятствующих процессу кристаллизации твердого осадка и его отложения на стенках трубопровода.

Поэтому в работе планируется исследовать воздействие направленных ультразвуковых колебаний на стенки трубопровода, провести лабораторные исследования для разработки схемы наложения ультразвуковых колебаний, обеспечивающей оптимальное воздействие с учетом конструктивных параметров трубопровода. Разработать опытно-промышленный комплект оборудования и провести опытно-промышленные испытания на линии транспортировки рафинатных растворов технологии ЖКПУ.

## 2. Влияние ультразвукового воздействия на предотвращение образования отложения в трубопроводах и оборудовании

В настоящее время известно множество способов, снижающих образование отложений (механические, химические, магнитные, вибрационные и импульсные). К сожалению, до настоящего времени некоторые способы показывают недостаточно высокую эффективность, другие связаны с большими затратами и сложностью выполнения работ, что свидетельствует о возможности и необходимости совершенствования разработанного для этих целей оборудования.

По сравнению с другими способами борьбы с отложениями, ультразвуковой способ является более универсальным, поскольку позволяет предотвращать отложения всех видов.

Методы, выбираемые для проведения мероприятий против отложений, должны определяться продолжительностью срока эксплуатации производственных трубопроводных систем, технологичностью и экологичностью. Механизм ультразвукового воздействия на трубопроводные системы имеет сложный многофакторный характер и включает в себя механические высокочастотные колебания поверхности, образование кавитационных пузырьков, создание акустических потоков в жидкости и других процессов. При использовании ультразвукового оборудования процессы предупреждения образования и удаления отложений в трубопроводных системах происходят одновременно.

Поэтому разделение на оборудование для предупреждения образования и очистки можно провести по режиму работы устройств. Если устройства включаются после значимого образования отложений и работают, короткий промежуток времени, затем отключаются на продолжительный период до следующего использования, то эти устройства относятся к оборудованию для

очистки отложений. Очистка имеет ряд недостатков по сравнению с предупреждением образования отложений. Во-первых, происходит постепенное увеличение гидродинамического сопротивления в процессе цикла накопления поверхностных отложений и нагрузка на циркуляционные насосы. Во-вторых, создается повышение риска частичного или полного засорения части оборудования или труб небольшого диаметра при одновременном поступлении в систему значительного количества сколотых частиц отложений различного размера. В-третьих, выше риск вредного воздействия на здоровье персонала и материалы, оборудование и производственные конструкции ввиду значительно более высокой мощности ультразвукового излучения.

Наибольшая эффективность ультразвукового воздействия достигается при применении контактного метода, когда ультразвуковые колебания создаются в изделии в результате акустического контакта между преобразователем и объектом. Объект становится вторичным излучателем, и очистка поверхности происходит не только за счет специфических эффектов, возникающих в жидкости при распространении звуковой волны, но и за счет изгибных колебаний самой детали, способствующих отслоению пленки загрязнений с их поверхности.

### 3. Результаты опытно-промышленных испытаний

По окончании 1 этапа (1 месяц 20 дней) была остановлена линия трубопровода, демонтированы все выбранные секции на напорном и безнапорном участках.

Состояние внутренней поверхности опытных секций представлены на рисунке 1. Как можно видеть, на секциях, оснащенных ультразвуком, за время проведения испытаний отложения отсутствуют. А на секциях без УЗИ появились отложения. Следует отметить, что на 1 и 3 секциях напорного участка трубопровода и 2 секции безнапорного участка трубопровода толщина отложений меняется – увеличивается по мере удаления от секций, оснащенных излучателями, так как ультразвуковые колебания затухают при прохождении через фланцевые соединения с фторопластовыми прокладками. Поверхность слоя отложений не гладкая – с волнами.

Испытания показали, что 5 излучателей обеспечили положительный эффект при работе в циклическом режиме - 4 часа работы через 4 часа паузы. При этом в процессе проведения 1 этапа испытаний были вынужденные технологические остановки производства ЗОУ продолжительностью 10 дней. Все это время раствор находился в трубопроводах, а ультразвук не работал.

Тем не менее, по окончании 1 этапа, в секциях, оснащенных УЗИ, отложения отсутствовали. Следует отметить, что по окончании 1 этапа звук трубопроводов значительно снизился. Вероятно, этот эффект связан с тем, что на внутренних поверхностях трубопроводов, не оснащенных ультразвуком, образовался осадок и ультразвуковые колебания стали распространяться менее интенсивно. В связи с этим было принято решение внести корректировку и на 2 этапе запустить в работу все 9 УЗИ на напорном участке трубопровода.

Режим работы УЗИ остался прежним. После завершения 2 этапа опытно-промышленных испытаний была остановлена линия трубопроводов, демонтированы все выбранные секции на напорном и безнапорном участках трубопровода. Полученные данные представлены на рисунке 2. Обследование трубопроводов показало, что секции, оснащенные ультразвуком, так и остались чистыми, а на секциях 1, 3 на напорном участке и 2, 3 на безнапорном участке картина такая же, как и на первом этапе – увеличение толщины отложений по мере удаления от секций, оснащенных ультразвуком.

Таким образом, по результатам двух этапов видно, что отложений на секциях оснащенных ультразвуком не образовывается. На основании 1 этапа можно сказать, что на секцию длиной 2,69 метра 5 ультразвуковых излучателей работающих в режиме: 4 часа во включенном состоянии с паузой на 4 часа достаточно для предотвращения образования отложений. В результате проведенных испытаний опытно-промышленного оборудования НО-720 было продемонстрировано, что ультразвук обеспечивает предотвращение образования отложений на трубопроводах, как в напорном, так и безнапорном режиме.

Для эффективной работы достаточно 1 – 2 ультразвуковых излучателя на 1 метр трубопровода. При этом допускаются периодический режим работы ультразвука, например 4 часа работы, 4 часа паузы.

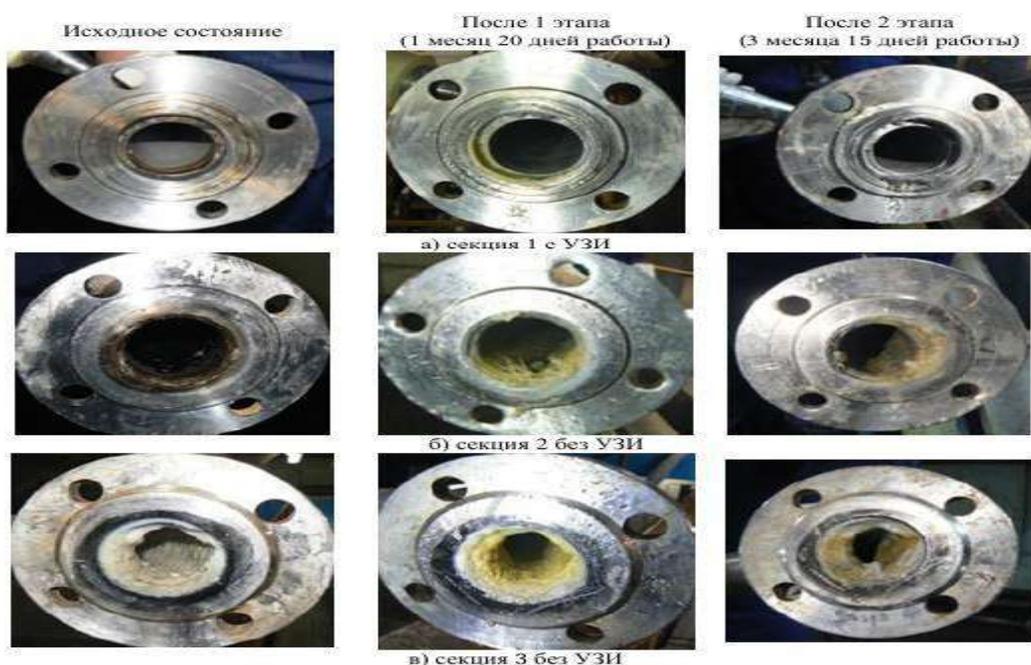


Рисунок 1 - Состояние внутренней поверхности безнапорного участка трубопровода

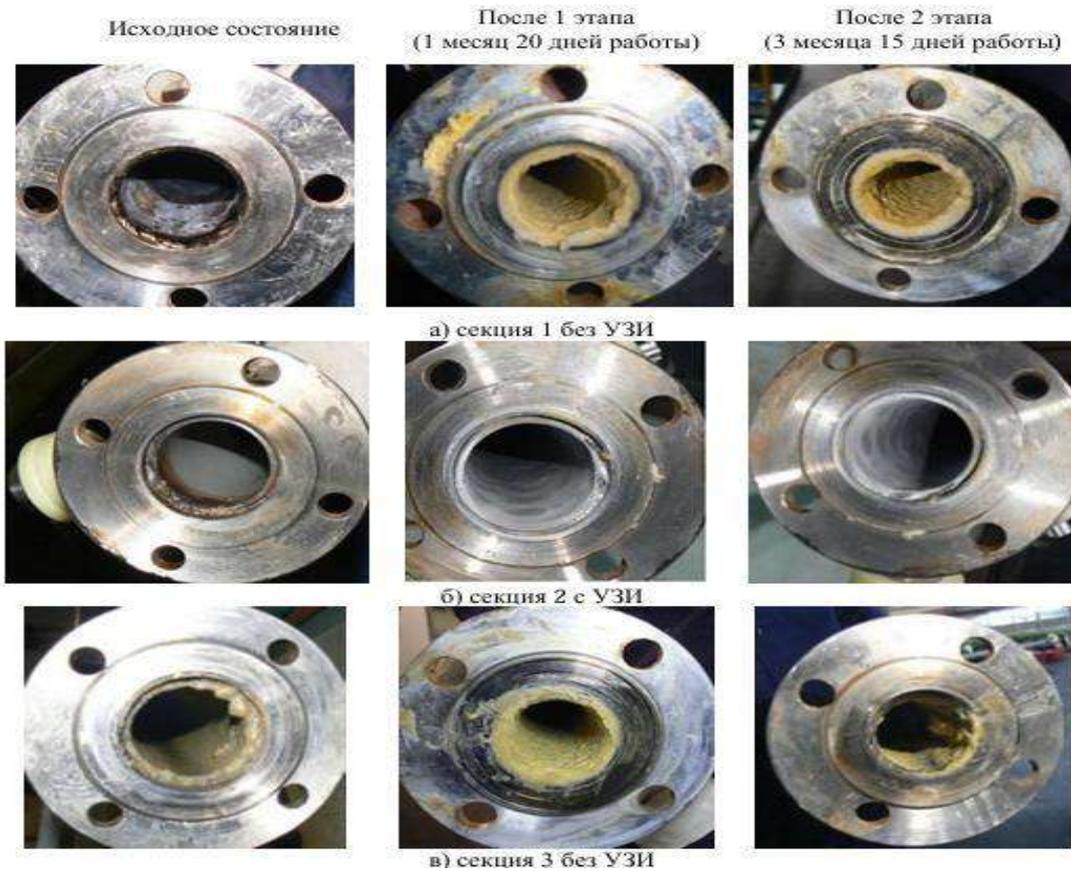


Рисунок 2 - Состояние внутренней поверхности напорного участка трубопровода

4. Возможность применения искусственного интеллекта при выполнении данной работы:

В данный момент во всем мире повсеместно получает широкое применение искусственный интеллект. Данная процедура дает возможность сэкономить ресурсы на обработку, анализ, структуризацию всех полученных данных. Так же появляется возможность оптимизации и автоматизации многих процессов.

Применение искусственного интеллекта (ИИ) в процессе анализа и контроля:

- Оптимизация процесса ультразвуковой обработки
- Мониторинг состояния трубопроводов
- Автоматизация контроля данных
- Предиктивная аналитика
- Таким образом, использование ИИ в рамках работы может повысить эффективность ультразвуковой обработки, автоматизировать контроль над состоянием системы и снизить затраты на обслуживание.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье рассмотрена реальная проблема уранового производства, в качестве решения которой предлагается разрушение осадков рафинатов в трубопроводах экстракции воздействием ультразвука.

Рассмотрены цели и задачи данной работы, анализ исходных данных, применяемое оборудование, краткое описание работы и промежуточные результаты.

Однако точные результаты работы можно будет сделать только после полноценного проведения всех исследований и непосредственно внедрения в технологию производства для практической демонстрации в промышленных условиях, как реального влияния ультразвука на осадки рафинатов, так и технико-экономическое обоснование работы. Выводы об эффективности проведенной работы можно будет сделать после полного анализа полученных данных всех этапов.

Так же стоит обратить особое внимание на возможность внедрения ИИ для проведения данных работ, и если это возможно, применить в производстве.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кошелев Ф.П. Технологии ЯТЦ и экология, Томск, 2008.
2. Шиманский А.Ф. Лекции физическая химия композиционных и керамических материалов, 2007.
3. В.О. Мусихин «Механизм воздействия ультразвукового излучения на процессы бактериально-химического выщелачивания», Москва, 2015.
4. Дюндик А.С. Технологические процессы экстракционного извлечения урана, 2019.
5. Технологическая документация АО «УМЗ».
6. Данные лабораторных исследований АО «УМЗ».

**УДК 681.3**

Котельникова А.Ю. (22-МК-1), Мукашева Р.У. (к.т.н., ВКТУ)

**МЕТОД МОНТЕ-КАРЛО**

***Аннотация.** Метод Монте-Карло представляет собой группу численных методов, основанных на статистическом моделировании случайных процессов. Этот метод применяется для решения сложных математических и физических задач, где аналитические решения затруднены или невозможны. Основная идея заключается в моделировании большого количества случайных событий и усреднении результатов для получения приближённого решения. Рассмотрена задача прохождения нейтронов через пластину с помощью метода Монте-Карло, для решения данной задачи построена блок-схема, составлена программа на языке программирования MATLAB.*

***Ключевые слова:** Метод Монте-Карло, статистическое моделирование, случайные процессы, численные методы, имитация, случайные величины, вероятностные модели.*

Метод Монте-Карло (Monte Carlo) - это численный метод, который широко применяется для решения различных прикладных задач. Он основан на статистическом моделировании случайных процессов, что делает его полезным при работе с системами, где невозможно точно предсказать исходы или вычисления затруднены из-за сложности задачи.

Главная идея метода заключается в создании случайной модели исследуемого процесса и анализе её поведения с использованием большого количества случайных выборок. Это позволяет находить ответы там, где традиционные методы бессильны, например, при работе с многомерными системами или сложными интегралами.

Метод Монте-Карло может быть применён к большому спектру проблем, которые трудно или невозможно решить аналитически. Метод позволяет получить интуитивное понимание сложных вероятностных процессов. Иногда это помогает лучше разобраться в других областях, где используется похожая механика. В настоящее время существует множество программ и готовых библиотек, которые сильно упрощают реализацию метода Монте-Карло. Таким образом, можно говорить о методе Монте Карло, как об универсальном методе решения математических задач.

Суть метода заключается в генерации большого количества случайных сценариев, каждый из которых представляет собой возможный исход изучаемого процесса. Анализируя статистическое распределение этих сценариев, можно получить вероятностную оценку результата самой величины.

Идея метода статистических испытаний известна давно, например, с 1873 г. известен способ вычисления числа  $\pi$  с помощью случайных бросаний иглы на разграфленную параллельными линиями бумагу [2].

Метод Монте-Карло для вычисления числа  $\pi$  основан на вероятностном

моделировании. Идея заключается в том, чтобы использовать случайные точки, расположенные внутри квадрата, и подсчитать, сколько из них попадает в круг, вписанный в этот квадрат.

Представим квадрат со стороной 2, в который вписан круг радиуса 1 (рисунок 1).

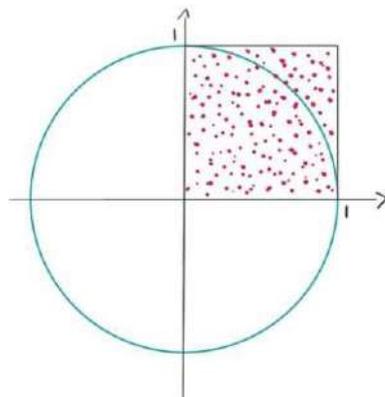


Рис.1. Геометрическая иллюстрация к задаче

Если случайным образом рассыпать точки по этому квадрату, то доля точек, попавших внутрь круга, будет приблизительно равна отношению площадей круга и квадрата:  $\frac{N_{\text{внутри}}}{N_{\text{всего}}} \approx \frac{\pi r^2}{4r^2} = \frac{\pi}{4}$

Умножив на 4, получаем оценку числа  $\pi$ :

$$\pi \approx 4 \times \frac{N_{\text{внутри}}}{N_{\text{всего}}} \approx 4 \times \frac{N_{\text{внутри}}}{N_{\text{всего}}}$$

Чем больше случайных точек мы сгенерируем, тем точнее будет оценка.

Считается, что систематически метод Монте-Карло стал изучаться, начиная с работы Метрополиса и Улама [3].

Первоначально метод Монте-Карло использовался в основном для решения задач нейтронной физики (где традиционные численные методы оказались малоприменимыми).

Рассмотрим задачу прохождения нейтронов через пластину с помощью метода Монте-Карло.

Постановка задачи. Пусть на однородную бесконечную пластинку  $0 \times h$  падает поток нейтронов с энергией  $E_0$ . Угол падения  $90^\circ$ . При столкновении с атомами вещества, из которого состоит пластинка, нейтроны могут упруго рассеиваться или поглощаться. Предположим для простоты, что энергия нейтрона при рассеянии не меняется и любое направление «отскока» нейтрона от атома одинаково вероятно (последнее иногда справедливо в веществах с тяжелыми атомами).

Предположим, что нейтроны движутся перпендикулярно пластинке, и взаимодействие с материалом подчиняется законам рассеяния и поглощения (рисунок 2). Для каждого нейтрона моделируется случайный путь на основе вероятностей рассеяния, поглощения и прохождения через пластинку. Требуется вычислить вероятность прохождения нейтрона сквозь пластинку  $p^*$ ,

вероятность отражения нейтрона пластинкой  $p$ - и вероятность поглощения нейтрона в пластинке  $p$ .

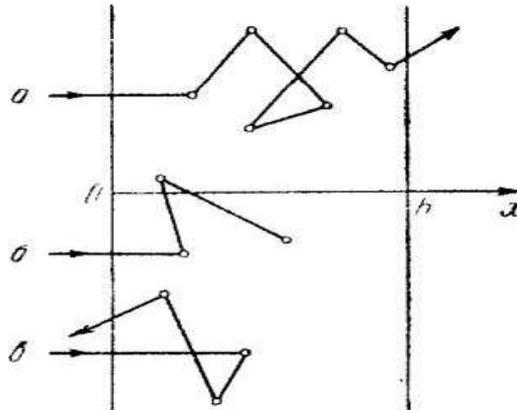


Рис. 2. Движение нейтронов

Взаимодействие нейтронов с веществом характеризуется в рассматриваемом случае двумя постоянными  $\Sigma_c$  и  $\Sigma_s$ , которые называются сечением поглощения и сечением рассеяния. Индексы  $c$  и  $s$  — это первые буквы английских слов capture (захват) и scattering (рассеяние).

Сумма этих сечений называется полным сечением (1):

$$\Sigma = \Sigma_c + \Sigma_s \quad (1)$$

Физический смысл сечений следующий: при столкновении нейтрона с атомом вещества вероятность поглощения равна  $(\Sigma_c/\Sigma)$ , а вероятность рассеяния равна  $(\Sigma_s/\Sigma)$ .

Длина свободного пробега нейтрона ( $\lambda$ ) (то есть длина пути от столкновения до столкновения) — это случайная величина. Она может принимать любые положительные значения с плотностью вероятности:

$$p(x) = \Sigma e^{-\Sigma x} \quad (2)$$

Нетрудно заметить, что эта плотность величины ( $\lambda$ ) совпадает с плотностью (26) случайной величины ( $\tau$ ) для простейшего потока заявок. По аналогии с п. 5.2 мы можем сразу написать выражение для \*средней длины свободного пробега:

$$M\lambda = \frac{1}{\Sigma} \quad (3)$$

и формулу (4) для разыгрывания  $\lambda$ :

$$\lambda = -\frac{1}{\Sigma} \ln v \quad (4)$$

Остается еще выяснить, как выбирать случайное направление нейтрона после рассеяния. Так как задача симметрична относительно оси  $x$ , то направление вполне определяется одним углом  $\phi$  между направлением

скорости нейтрона и осью  $Ox$ . Можно доказать, что требование равной вероятности любого направления в этом случае равносильно требованию, чтобы косинус этого угла  $\mu = \cos\varphi$  был равномерно распределен в интервале. Из формулы (4) при  $a=-1$ ,  $b=1$  следует формула для разыгрывания:

$$p = 2\mu - 1 \quad (5)$$

Существует 2 метода: 1) метод моделирования истинных траекторий нейтронов; 2) метод расчёта с использованием весов, заменяющих поглощение.

В первом случае, при каждом столкновении рассчитывается длина свободного пробега, определяется новая координата столкновения и проверяется, прошёл ли нейтрон через пластинку или отразился. Если он остался внутри, моделируется следующее столкновение.

Метод расчёта с использованием весов, в отличие от первого подхода, позволяет учитывать вклад всех возможных траекторий без их явного моделирования, что делает расчёты более эффективными при учёте поглощения.

Приведем пример решения задачи с помощью 2) способа.

Блок-схема программы для реализации такого расчета приведена на рис.3.

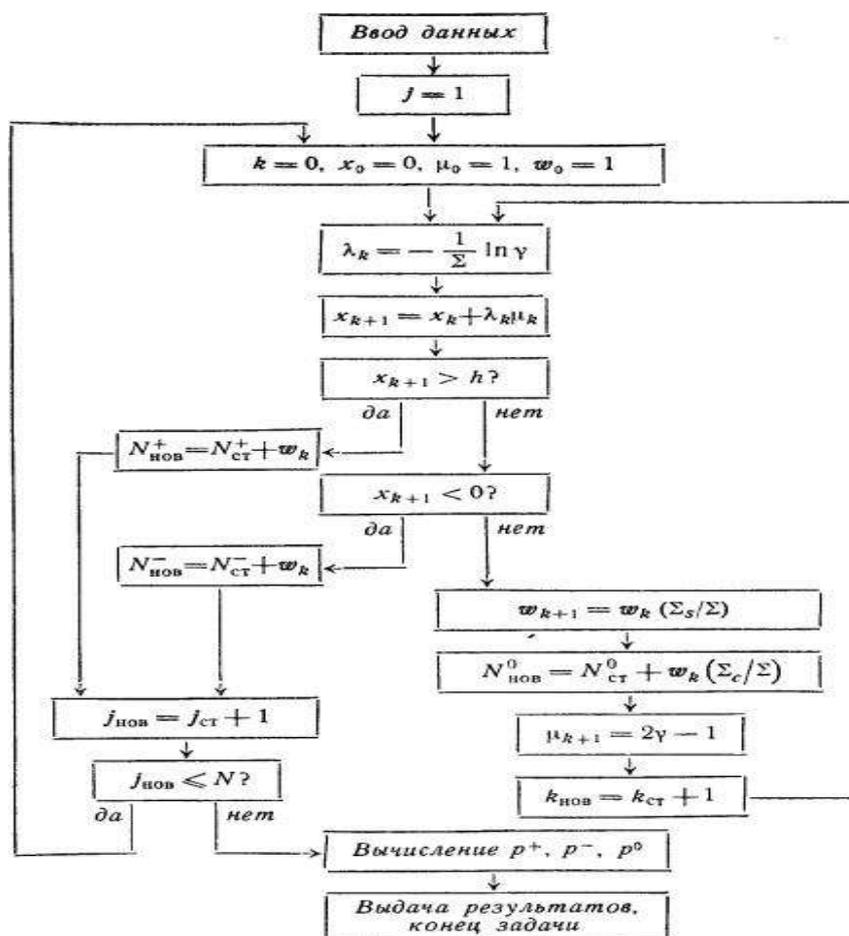


Рис. 3 -Блок-схема программы

## Решение задачи с помощью MATLAB:

```

clc; clear; close all;
% Входные параметры
N = 10000; % Число моделируемых нейтронов
h = 10; % Толщина пластины
Sigma = 1; % Макроскопическое сечение (для генерации пробегов)
Sigma_s = 0.8; % Сечение рассеяния (Sigma_s < Sigma)
c = Sigma_s / Sigma; % Доля рассеяния
% Счетчики
N_plus = 0; % Число прошедших вперед
N_minus = 0; % Число отраженных
N_zero = 0; % Число поглощенных
for j = 1:N
    % Инициализация параметров нейтрона
    x = 0; % Начальная координата
    mu = 1; % Начальное направление движения
    w = 1; % Начальный вес нейтрона
    while true
        % Генерация случайного пробега по экспоненциальному закону
        lambda = -log(rand) / Sigma;

        % Обновление координаты
        x = x + lambda * mu;

        % Проверка выхода из пластины
        if x > h
            N_plus = N_plus + w; % Нейтрон прошел пластину
            break;
        elseif x < 0
            N_minus = N_minus + w; % Нейтрон отразился
            break;
        end
        % Определение типа взаимодействия
        if rand > c
            N_zero = N_zero + w; % Нейтрон поглощен
            break;
        else
            % Рассеяние: изменение направления и веса
            w = w * c;
            mu = 2 * rand - 1; % Новое случайное направление
        end
    end
end
% Вычисление вероятностей
p_plus = N_plus / N;
p_minus = N_minus / N;
p_zero = N_zero / N;
% Вывод результатов
fprintf('Вероятность прохождения: p+ = %.4f\n', p_plus);
fprintf('Вероятность отражения: p- = %.4f\n', p_minus);
fprintf('Вероятность поглощения: p0 = %.4f\n', p_zero);

```

Рис. 4-Код программы

Результат: p+=0,0003, p-=0,1702, p0=0,4637

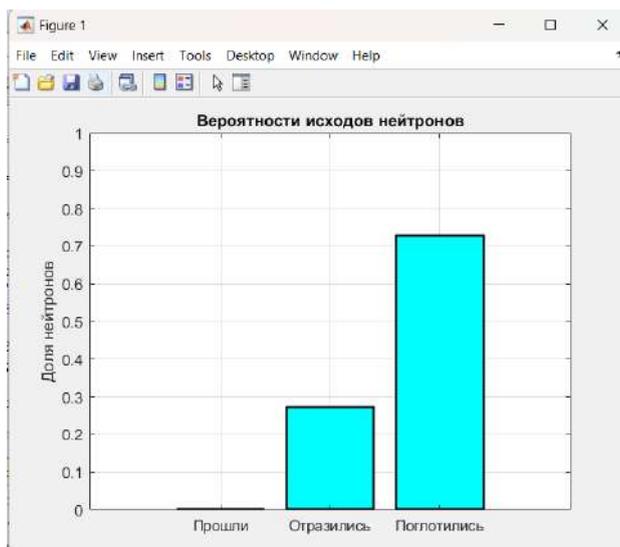


Рис. 5- Вероятности исходов нейтронов

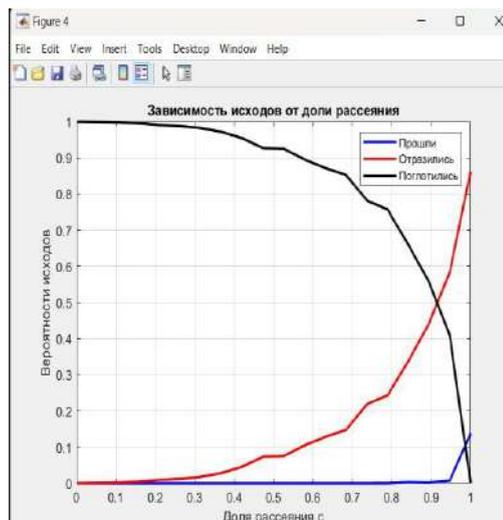


Рис. 6. Зависимость исходов от доли рассеяния

Достоинствами метода Монте-Карло являются: Простота реализации, универсальность, его можно применять к широкому спектру задач: от моделирования физических процессов до оценки финансовых рисков. Этот метод идеально подходит для параллельных вычислений, что значительно ускоряет процесс обработки данных на современных многопроцессорных системах.

К недостаткам относится: медленная сходимость, поскольку ошибка оценки убывает как  $O(1/\sqrt{N})$ . Это означает, что для уменьшения ошибки в 10 раз нужно увеличить количество итераций в 100 раз; зависимость от генерации случайных чисел и качества модели.

Метод Монте-Карло - это мощный инструмент численного моделирования, позволяющий решать широкий спектр задач в физике, математике, инженерии и экономике. Его универсальность и простота реализации делают его незаменимым для моделирования сложных систем, особенно в многомерных пространствах.

Перспективы метода Монте-Карло включают ускорение вычислений благодаря квантовым и параллельным вычислениям. Это улучшит точность и скорость моделирования, а также расширит его применение. Улучшение алгоритмов выборки и уменьшение ошибок также сделает метод более эффективным в решении сложных задач.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жданов Э.Р., Маликов Р.Ф., Хисматуллин Р.К. Компьютерное моделирование физических явлений и процессов методом Монте-Карло: Учебно-метод. пособие. – Уфа: Изд-во БГПУ, 2005. – 124с.

2. Ермаков С.М. *Методы Монте-Карло и смежные вопросы математической статистики*. М.: Наука, 1975.

**УДК: 628.971.8**

Қуатов А.Қ.(24-ММТ-2з, ВКТУ ), Рамазанова Р.А. (PhD, ВКТУ)

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ СРОКА СЛУЖБЫ ФУТЕРОВКИ КОНВЕРТЕРА МЕДНОГО ПРОИЗВОДСТВА

***Аннотация.** Исследования, направленные на повышение срока службы футеровки конвертора в медном производстве, играют важную роль в обеспечении эффективности и непрерывности процесса переработки меди. Медь является стратегическим тяжелым цветным металлом. Масштабы потребления меди значительны, а структура потребления очень широка. Для современной металлургии получение меди характерна пирометаллургическая схема, которая предусматривает обязательное использование следующих металлургических процессов: плавка на штейн, конвертирование медного штейна, огневое и электролитическое рафинирование. Конвертерный передел в этой схеме наиболее интенсивный. Задачей процесса конвертирования является окисление сопутствующих меди компонентов с получением черновой меди.*

***Ключевые слова:** Конвертер, флюсы, штейн, белый матт, черновая медь, температурный режим, термические напряжения.*

Конверторное производство меди представляет собой сложный технологический процесс, в котором происходит плавление и окисление медного концентрата для получения чистой меди. Одной из ключевых составляющих этого процесса является футеровка конвертора - материал, который защищает конструкцию устройства от воздействия высоких температур, химически агрессивных веществ и механических нагрузок. Однако, футеровка со временем подвергается интенсивному износу, что требует постоянных исследований и разработки новых материалов для её улучшения и увеличения срока службы.

В медном производстве, для конвертирования медных штейнов используется конвертер Peirce-Smith фирмы «Оутокимри».

С конструкторской точки зрения конвертер представляет собой горизонтальный цилиндр, снабжённые пружинами для восприятия температурного расширения футеровки. С обеих сторон конвертер имеет крышки. Корпус изготовлен из стали толщиной 40мм и футерован изнутри огнеупорным кирпичом. Футеровка состоит из хромомagneзитовых кирпичей, которые изолированы от корпуса для тепловой изоляции слоем шамотных кирпичей. На цилиндре установлены два кольца, из которых одно соединено через зубчатую передачу с двигательным устройством, что дает возможность поворачивать конвертер вокруг горизонтальной оси. Двигательное устройство снабжено электродвигателем. В случае отключения электроэнергии для перевода конвертера в рабочее положение предусмотрена аккумуляторная батарея. Для заливки и слива расплава и вывода отходящих газов на корпусе предусмотрено отверстие.

Это загрузочное отверстие выполнено из жаропрочной стали с

возможностью замены стальных плит. Для обеспечения большей герметичности конвертер снабжён сдвоенным напыльником: внутренний и внешний.

Основными проблемами футеровки является физические повреждения от падения предметов и из-за происходящих внутри печи химических процессов. Основными местами, где наблюдается большее давление, являются - горловина фурм и противоположная фурме зона. Из-за постоянной подачи воздуха в данном месте температура превышает, и реакции проходят быстрее, что приводит к более быстрому разрушению футеровки. Рабочий пределная температура для конвертора 1250°C.

Износ огнеупорных футеровок в высокотемпературных металлургических агрегатах периодического действия при службе происходит в основном путем скалывания вследствие возникающих в футеровке термических напряжений. При пуске конвертеров без предварительного разогрева футеровки размеры скола кладки от первичного термоудара достигают 150 мм. Традиционная кладка футеровки в высоко температурных агрегатах периодического действия цветной металлургии с использованием в швах сухих огнеупорных порошков неэффективна, так как не обладает соответствующими механическими свойствами.

При эксплуатации сухие порошки всплывают вследствие малой плотности и отсутствия адгезии с футеровкой, в оголенные швы проникают реагенты плавки. При остывании шлако-штейновый расплав, который заменил сухие порошки при их всплытии, из-за большого температурного коэффициента линейного расширения увеличивается в объеме, вызывая внутренние напряжения в кладке. Такие многократные циклические напряжения приводят к быстрому разрушению футеровки при каждом цикле. Одновременно с заполнением кладочных швов шлако-штейновым расплавом рабочая поверхность футеровки пропитывается расплавом на глубину 30-100 мм, в результате чего в огнеупоре образуются зоны. При нагреве и остывании кладки на границе этих зон возникают термические напряжения в ряде случаев превышающие прочность огнеупора, что также приводит к скалыванию пропитанного слоя. Проведенные исследования стойкости футеровки показали огромное влияние термического удара на сопротивление огнеупорных изделий химической агрессии перерабатываемого продукта. Шлакоустойчивость (динамическая) огнеупорных образцов, подверженных предварительному воздействию термического удара, в несколько раз меньше, чем у образцов, медленно разогретых до испытания.

Структура периклазохромитовых образцов, не подвергавшихся термическому удару, после испытания на шлакоустойчивость на контакте со шлаком плотная; наблюдается четкая граница химического взаимодействия огнеупорных составляющих с реагентами плавки. Периклазохромитовые образцы, подвергавшиеся предварительному воздействию термического удара, имеют пористую структуру, огнеупорные составляющие значительно разобщены, образующееся пространство заполнено силикатами. При этом

эрозийные процессы разрушения преобладают над коррозионными, что, соответственно, увеличивает скорость износа огнеупоров.

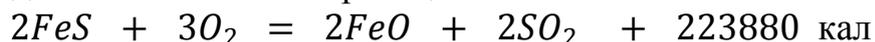
Исследования показали так же, что нарушение первоначальной сплошности огнеупоров зависит от геометрических размеров, теплофизических и упругомеханических свойств изделий. Кроме того, влияет интенсивность изменения температурного поля. В агрегатах периодического действия, в которых наблюдаются быстрые нагрев и охлаждение футеровки, необходимо в зависимости от условий службы элементов кладки применять различные кладочные растворы, защитные обмазки (торкрет массы и набивные массы), резко снижая тем самым величину термических напряжений. Разогрев футеровки при пуске агрегатов необходимо производить в зависимости от теплофизических свойств огнеупорного материала кладки и ее объема с допустимой скоростью нагрева. Увеличение скорости нагрева плавящихся огнеупоров периклазохромитового состава влияет на повышение модуля упругости при определенных температурах, приводя к разрушению изделий.

Поэтому изделия на основе плавящихся материалов наиболее чувствительны к термоударам и футеровки из этих материалов следует разогревать до температуры службы с меньшей скоростью, чем из спеченных, или обрабатывать их защитными обмазками, которые резко снижают термические напряжения, возникающие при пуске агрегата.

Анализ службы футеровок показал, что при быстром нагреве футеровки поверхностные слои кладки, обращенные в рабочее пространство конвертера, испытывают напряжения сжатия. При быстром охлаждении поверхностные слои находятся под воздействием растягивающих напряжений. При прочих равных условиях для огнеупорной футеровки более опасно быстрое охлаждение, чем быстрый нагрев, вследствие плохой сопротивляемости огнеупоров растяжению и хорошей - сжатию.

В практике часто встречаются случаи разрушения футеровки в результате недостаточного предварительного разогрева кладки или отсутствия его. Соблюдение этих условий позволит повысить стойкость футеровки на 25-30 %.[2]

Конвертирование штейнов - это окислительный процесс, состоящий из двух периодов. В первом периоде происходит интенсивное окисление сернистого железа до закиси железа по реакции:

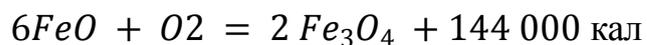


Закись железа шлакуется кремнеземом, добавляемым в конвертер:

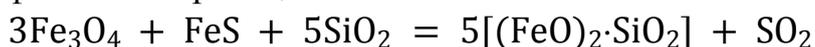


Масса в конвертере постепенно обогащается медью, Штейн и шлак из-за разницы в удельных весах и ограниченной растворимости при остановке конвертера расслаиваются, и шлак периодически сливают. Штейн добавляют в конвертер до определенного объема. Следует отметить, что реакция окисления сернистого железа при конвертировании протекает легко и быстро, а реакция с образованием шлака медленно, а при температуре ниже 1230°C - очень

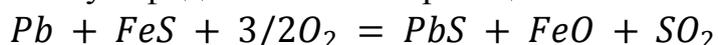
медленно. Поэтому в начале процесса продувки штейна в конвертере, когда температура процесса еще низка, будет образовываться магнитная окись железа ( $Fe_3O_4$ ):



При этом выделяется значительное количество тепла, которое поднимает температуру выше  $1230^\circ C$ . Это в свою очередь способствует взаимодействию магнетита с сернистым железом и кремнеземом с образованием фаялита по реакции:



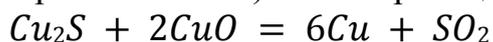
При конвертировании медно-свинцового штейна в первом периоде имеющаяся в штейнах часть металлического свинца окисляется по реакции, а часть - сульфидируется сульфидом железа по реакции:



В течение первого периода конвертирования, т.е. до тех пор, пока в расплаве имеется сульфидное железо ( $FeS$ ), основная масса свинца остается в конвертере в виде сульфида  $PbS$ . Скорость образования сульфида свинца в конвертере тем больше, чем выше содержание в массе железа и серы, поэтому степень отгонки свинца за первый период невелика [1].

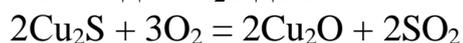
Первый период продувки продолжается до получения обогащенного штейна, содержащего не менее 75% меди. Чтобы определить конец первого периода, из конвертера сливают последнюю порцию шлака, затем берут пробу и наблюдают за поведением штейна в ложке. Если штейн в ложке находится в виде жидкой спокойной массы, медленно покрывающейся корочкой, первый период закончен (в штейне еще содержится железо). В этом случае необходимо загрузить в конвертер порцию кварца, снова продуть массу, снова слить шлак и отобрать пробу.

Когда в штейне почти не осталось железа, то проба в ложке кипит (происходит выделение сернистого газа) за счет реакции:



Во время второго периода конвертирования (продувка на медь), образовавшийся к концу первого периода белый матт ( $Cu_2S$ ), взаимодействует с кислородом дутья с образованием черновой меди. При продувке протекают две основные реакции:

-окисление полусернистой меди  $Cu_2S$  до закиси:



-взаимодействие получившейся закиси меди  $Cu_2O$  с остальной массой полусернистой меди:



Реакции протекают быстро и до конца. В этом периоде температура в конвертере повышается, и тепла реакции второго периода достаточно для работы конвертера и даже необходимо добавлять чистый медный скрап для охлаждения (возвратный материал из отливки анодов и электролиза, который составляет почти 20% от потока меди. Для более глубокого очищения готовой черновой меди от примесей, преимущественно от свинца, а также для

снижения времени рафинирования на анодных печах проводят «передув» расплава дополнительно в течение 2 минут.[1]

Состав черновой меди, %: Cu >97, Zn <0,06, S <0,2, Pb <0,3, As <0,6, Fe <0,06.

Из-за влажности флюса при подачи в первом периоде негативно влияет на футеровку конвертера, одним из решением является установка сушильная двухленточная камера Smart от производителя Floradry (Мюнхен, ФРГ) отличается привлекательным в сравнении с подобными ленточными сушилками соотношением «цена -мощность» и высокой степенью эффективности. Она может работать как непрерывно при определенном температурном режиме (что позволяет экономить энергию и снижать себестоимость конечной продукции), так и в разных режимах с разной температурой. При определенном температурном режиме происходит процесс гигиенизации сырья.

Высокая энергетическая эффективность камеры достигается за счет низкой рабочей температуры (60-100°C), при которой сырье сушится медленно и равномерно, и особой технологии процесса сушки.[3]

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.П. Жуков, Г.В. Скопов, С.И. Холод, Пирометаллургия меди 2016, ст:365-366.

2. Патент SU1349422 A1,2015, Чунаев В.В, Гомоюнов Л.М, Максимов В.С, Словиковский В.В, Козубенко А.А, Футеровка фурменного пояса конвертера.

3. Патент SU 901189 A1,2019, Немченко А.А, Саплинов Л.К, Гнедова Е.М, Устройство для сушки ленты конвейера.

УДК 622.343.2

Кусаинов Т.К. (23-ММТ-2, ШҚТУ), Саденова М.А. (х.ғ.к., ШҚТУ)

## ҚҰРАМЫНДА ФТОРЫ БАР ШИКІЗАТТЫ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЯЛЫҚ ӨҢДЕУ КЕЗІНДЕ КОМПОЗИЦИЯЛЫҚ МАТЕРИАЛДАРДЫ АЛУ МҮМКІНДІГІН ЗЕРТТЕУ

*Аңдатпа.* Зерттеу тақырыбы" құрамында фтор бар шикізатты гидрометаллургиялық өңдеу кезінде Композициялық материалдарды алу мүмкіндігін зерттеу " гидрометаллургиялық әдістерді пайдалана отырып, құрамында фтор бар минералды ресурстардан құнды компоненттерді алуға бағытталған процестерді әзірлеуге және оңтайландыруға арналған. Жұмыс барысында шаймалау, Тұндыру және электролизді қоса алғанда, өңдеудің әртүрлі технологиялары, сондай-ақ олардың алынған композициялық материалдардың сапасы мен қасиеттеріне әсері қарастырылады.

Зерттеудің мақсаты құрылыс, электроника және экология сияқты әртүрлі салаларда қолдануға болатын жоғары сапалы композиттерді алу үшін гидрометаллургиялық процестердің тиімділігін бағалау болып табылады. Құрамында фтор бар қосылыстардың басқа компоненттермен өзара әрекеттесуін зерттеуге, сондай-ақ экологиялық әсерді азайту әдістерін жасауға ерекше назар аударылады.

Зерттеу нәтижелері фторлы шикізатты өңдеу технологияларын жақсартуға және табиғи ресурстарды тұрақты дамыту мен ұтымды пайдалану үшін маңызды болып табылатын бірегей қасиеттері бар жаңа материалдарды жасауға ықпал етуі мүмкін.

**Түйін сөздер:** Композиттік материал, гидрометаллургиялық өңдеу, еріту реакциясы, соңғы өнімді қалыптастыру.

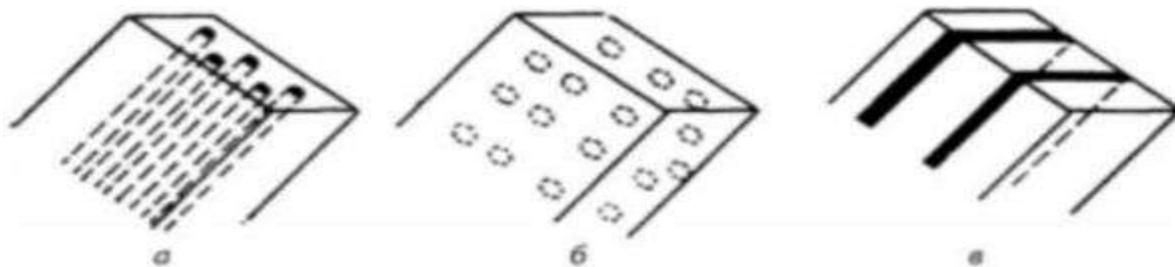
Композиттік материалдардың жіктелуі

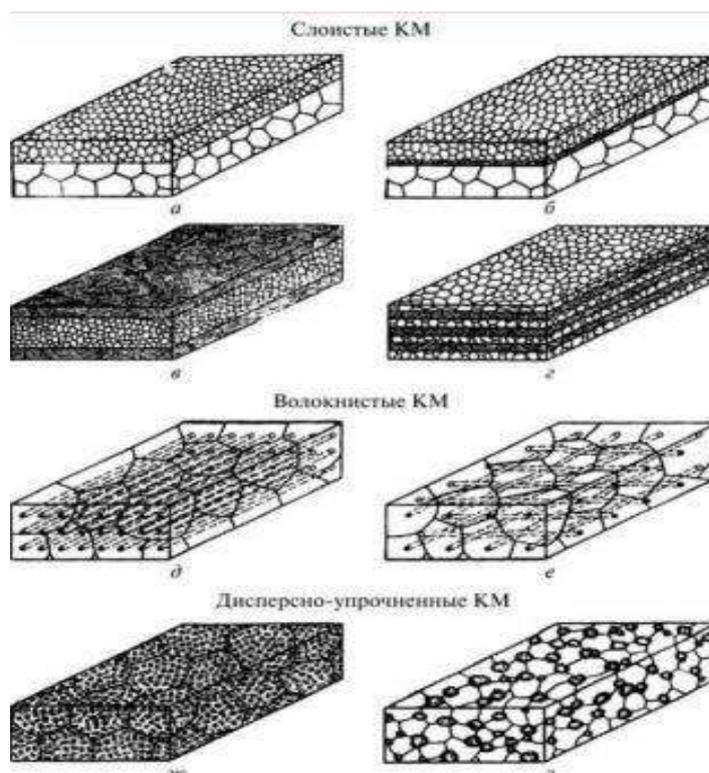
Құрылымдық белгілері бойынша композиттер үш негізгі топқа бөлінеді:

**Талшықты** құрылымдық материалдар басқа компонентте (матрицада) таралған бір компоненттің талшықтарынан тұрады.

Матрицада таралған бір немесе одан да көп компоненттердің бөлшектерінен тұратын және механикалық қоспаны құрайтын **дисперсті** құрылымдық материалдар.

Әр түрлі компоненттердің екі немесе одан да көп қабаттарынан тұратын **қабатты** композициялық материалдар. Оларға биметалдар да жатады.





Құрамында фторы бар шикізатты гидрометаллургиялық өңдеу әр түрлі салаларда қолдануға болатын Композициялық материалдарды алу әдістерінің бірі болып табылады. Бұл процесс алынған материалдың құрылымы мен қасиеттеріне әсер ететін бірқатар дәйекті кезеңдерді қамтиды. Процестің бірінші кезеңі-шикізатты дайындау. Құрамында фтор бар шикізат ұсақталып, жеткілікті ұсақ күйге дейін ұсақталады. Бұл шикізаттың беткі қабатын ұлғайтуға және оның еріткішпен байланысын жақсартуға мүмкіндік береді. Содан кейін шикізатты еріту кезеңі жүреді. Құрамында фтор бар шикізат реакторға орналастырылады, онда еріткішпен әрекеттесу жүреді. Еріткіш қышқыл, сілтілік немесе басқа химиялық заттар болуы мүмкін. Құрамында фтор бар шикізаттың еру реакциясы экзотермиялық болуы мүмкін, яғни жылу шығарумен бірге жүреді. Содан кейін алынған ерітінді тазартылады. Бұл кезеңде қоспалар мен ерітіндінің жеке компоненттерін сүзу, тұндыру немесе басқа әдістермен жою жүзеге асырылады. Құрамында фтор және басқа еріген компоненттер бар таза ерітінді келесі кезеңге өтеді. Процестің соңғы кезеңінде композициялық материалдар қалыптасады. Ерітінді арнайы өңдеу кезеңдерінен өтеді, мысалы, тұндыру, булану, кристалдану және т.б. осы процестердің нәтижесінде ерітіндінің кейбір компоненттері композициялық материалдың негізін құрайтын жаңа құрылымдық элементтерді құрайды. Бұл жағдайда қасиеттерді жақсарту немесе алынған материалға арнайы сипаттамалар беру үшін басқа материалдарды қосуға болады. Құрамында фтор бар шикізатты гидрометаллургиялық өңдеу нәтижесінде алынған композициялық материалдардың түпкілікті қасиеттері процесс жағдайларына, шикізат құрамы мен қосылатын компоненттерге, сондай-ақ алынған материалды кейіннен өңдеуге және өңдеуге байланысты. Сондықтан процестің

әр кезеңін талдау және оңтайландыру алынған композициялық материалдардың сапасы мен тиімділігін арттыруға бағытталған маңызды міндеттер болып табылады.

Құрамында фтор бар шикізатты гидрометаллургиялық өңдеу кезінде әртүрлі композиттер алынуы мүмкін. Олардың кейбір қасиеттеріне мыналар жатады:

1. Жоғары ыстыққа төзімділік: құрамында фтор бар шикізатты гидрометаллургиялық өңдеуден алынған композиттер әдетте жоғары температурада қолдануға мүмкіндік беретін жоғары ыстыққа төзімділікке ие.

2. Химиялық төзімділік: композиттер қышқылдар, сілтілер және еріткіштер сияқты қатты химиялық заттарға төзімді болуы мүмкін.

3. Электрлік қасиеттері: құрамында фтор бар шикізатты гидрометаллургиялық өңдеуден алынған кейбір композиттер жоғары электр өткізгіштік немесе диэлектрлік беріктік сияқты жақсы электрлік қасиеттерге ие болуы мүмкін.

4. Механикалық беріктік: композиттер жоғары механикалық беріктікке ие болуы мүмкін, бұл оларды жоғары беріктік пен механикалық жүктемелерге төзімділікті қажет ететін әртүрлі салаларда қолдануға мүмкіндік береді.

5. Төмен тығыздық: фторлы шикізатты гидрометаллургиялық өңдеуден алынған кейбір Композиттердің тығыздығы төмен болуы мүмкін, бұл оларды жеңіл және қолдануға ыңғайлы етеді.

6. Термоэлектрлік қасиеттер: кейбір композиттер жылу энергиясын электр энергиясына айналдыруға мүмкіндік беретін термоэлектрлік қасиеттерге ие болуы мүмкін.

7. Магниттік қасиеттері: кейбір Композиттердің магниттік қасиеттері болуы мүмкін, бұл оларды магнитоэлектрлік құрылғыларда немесе магниттік материалдарда қолдануға мүмкіндік береді.

Бұл құрамында фтор бар шикізатты гидрометаллургиялық өңдеуден алынған Композиттердің қасиеттерінің бірнеше мысалдары ғана. Нақты қасиеттер шикізат түріне, пайдаланылатын өңдеу процесіне және оның ішінде өндіріс жағдайларына байланысты болады.

Құрамында фторы бар шикізатты гидрометаллургиялық өңдеу өнеркәсіптің әртүрлі салалары үшін құрамында фторы бар материалдарға қажеттіліктің өсуіне байланысты өзекті және перспективалы міндет болып табылады. Құрамында фтор бар шикізаттан композициялық материалдар алу оларды қолдану аясын едәуір кеңейтуге, сондай-ақ өндіріс құнын төмендетуге мүмкіндік береді. Осыған байланысты, осы зерттеуді жүргізу: құрамында фтор бар элементтерді шикізаттан алудың тиімді әдістерін жасауға мүмкіндік береді. Жақсартылған физика-механикалық қасиеттері бар композициялық материалдарды алыңыз. Композициялық материалдарды қолданудың перспективалық бағыттарын анықтаңыз. Ұсынылған шешімдердің экономикалық тиімділігін бағалау. Қазіргі уақытта шикізаттан фторлы элементтерді алу үшін сілтілеу, экстракция, сорбция және тұндыру сияқты әртүрлі гидрометаллургия әдістері қолданылады. Бұл әдістердің

әрқайсысының артықшылықтары мен кемшіліктері бар, ал оңтайлы әдісті таңдау шикізат түріне, фтордың құрамына және соңғы өнімнің қажетті тазалығына байланысты. Шаймалау: әдіс құрамында фтор бар элементтерді еріткіштерде ерітуге негізделген.

Бұл әдіс кендерден, концентраттардан және қалдықтардан фторидті алу үшін кеңінен қолданылады. Экстракция: әдіс құрамында фтор бар элементтерді екі араласпайтын фаза - органикалық және су арасында қайта бөлуге негізделген. Экстракция құрамында фтор бар элементтерді концентрацияланған ерітінділер түрінде алуға мүмкіндік береді. Сорбция: әдіс құрамында фтор бар элементтерді қатты сорбентпен сіңіруге негізделген. Сорбция фтор ерітінділерін тазарту үшін, сондай-ақ құрамында фтор бар элементтерді оқшаулау және концентрациялау үшін қолданылады. Тұндыру: әдіс ерімейтін қосылыстар ретінде ерітіндіден фторлы элементтерді оқшаулауға негізделген. Тұндыру құрамында фтор бар тұздар немесе оксидтер алу үшін қолданылады. Бұл әдістердің әрқайсысының өзіндік ерекшеліктері, артықшылықтары мен кемшіліктері бар, ал оңтайлы әдісті таңдау нақты жағдайларға байланысты.

#### **Мақалаға қосқан үлесі**

Мақалада ұсынылған ақпарат, схемалар, технологиялар интернет-ресурстардан алынды, түзетілді және жұмыстың мәнін дәйекті түрде игеру үшін белгілі бір тәртіппен орналастырылды.

#### **ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ**

1. Сизяков В.М., Власов А.А., Бажин В.Ю. Стратегические задачи металлургического комплекса России // Цветные металлы. 2016. № 1. С. 32–37.
2. Горланов Е.С. Особенности применения твердых электродов для электролиза криолитоглиноземных расплавов // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2019. Т. 23. № 2. С. 356–366.
3. Манн В.Х., Пингин В.В., Архипов Г.В., Жердев А.С., Прошкин А.В., Авдеев Ю.О. [и др.] Ресурсосберегающие технологии ОК РУСАЛ // Цветные металлы и минералы-2019: сборник докл. Одиннадцатого международного конгресса (г. Красноярск, 16–20 сентября 2019 г.). Красноярск: ООО «Научно-инновационный центр», 2019. С. 225–230.
4. Бажин В.Ю., Смольников А.Д., Петров П.А. Концепция энергоэффективного производства алюминия «Электролиз 600+» // Международный научноисследовательский журнал. 2016. № 5. Ч. 3. С. 37–40. <https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.47.113>

**УДК 51-7**

Қадылбекова Д. Б. (23-ММА-2т, ШҚТУ), Рахметуллина Ж.Т. (ф.-м.ғ.к, ШҚТУ)

**ШЕКСІЗ ШАМАЛАРДЫҢ ҚАСИЕТТЕРІН ВИЗУАЛИЗАЦИЯЛАУ**

*Аңдатпа.* Бұл мақалада санау аспектілерінен гөрі санның өлшеу қасиеттерін экстраполяциялайтын шексіздік ұғымы сипатталған. Шексіз өлшем сандары шексіз үлкен және шексіз кіші шамаларды қоса алғанда, нақты сандарды кеңейтетін дәйекті сандық жүйенің бөлігі болып табылады.

Бұл жұмыста шексіз шамалардың математикалық қасиеттері қарастырылып, олардың визуализациялау жолдары ұсынылады. Зерттеу барысында абстрактылы ұғымдарды түсінуді жеңілдететін графикалық тәсілдер мен модельдер пайдаланылды. Визуалды әдістер шексіз шамаларды оқытуда тиімді құрал ретінде ұсынылады. Жұмыс білім беру үдерісінде қолдануға бағытталған және практикалық маңызға ие.

**Түйін сөздер:** шексіз шамалар, визуализация, математикалық модель.

Шексіздік ұғымы антик замандардан бастап философиялық және математикалық тұрғыда терең зерттеліп келе жатыр. Архимед, Эвклид, кейінірек Ньютон мен Лейбництің еңбектерінде шексіз шамалармен жұмыс істеудің алғашқы тәсілдері ұсынылған. XX ғасырда Б.Риман, Г.Кантор, А.Н.Колмогоров сынды ғалымдар шексіздікке байланысты теориялық негіздерді қалыптастырып, математикалық анализ бен жиындар теориясының дамуына үлес қосты. Қазақстандық зерттеушілердің де бұл бағытта еңбектері бар, алайда шексіз шамаларды визуализациялау арқылы түсіндіру әдістемесі әлі де толық зерттеліп болмаған, сондықтан осы тақырып өзектілігін жоғалтпайды.

Шексіздік ұғымы — математиканың іргелі категорияларының бірі ретінде философияда, логикада және математикада ежелгі дәуірден бастап зерттеліп келе жатқан күрделі абстракция. Ежелгі грек философтары Пифагор мен Зеноннан бастап, Аристотельдің «актуалды» және «потенциалды» шексіздік туралы көзқарастары кейінгі ғасырларда ғылым мен философияда кеңінен талқыланды. Бұл мәселе орта ғасырларда теологиялық тұрғыда қарастырылып, ал Қайта өрлеу дәуірінде математикалық ойлаудың жандануымен жаңа деңгейге көтерілді.

XVII ғасырда И.Ньютон мен Г.Лейбництің шексіз аз шамалар негізінде математикалық анализді қалыптастыруы шексіздікке ғылыми сипаттағы тәсілді енгізді. Олар шексіз шамаларды нақты есептеулердің бір бөлігі ретінде қарастырып, дифференциалдық және интегралдық есептеулердің негізін қалады. XVIII-XIX ғасырларда Лагранж, Коши, Вейерштрасс, Дирихле сынды ғалымдар анализді қатаң негізде қайта құруға тырысты.

Шексіз жиындар теориясының негізін қалаған Георг Кантор алғаш рет шексіз жиындарды салыстырудың нақты әдістерін ұсынды. Ол потенциалды және актуалды шексіздік арасындағы айырмашылықты математикалық тұрғыда негіздеп, кардинал сандар мен ординал сандар теориясын енгізді.

Кантордың теориясы бастапқыда қарсылыққа ұшыраса да, кейінірек математиканың маңызды бөліміне айналды.

КСРО кезеңінде шексіз шамалар мен шектер теориясы кеңестік математиктердің еңбектерінде терең зерттелді. А.Н.Колмогоров, С.В.Фомин, Н.Лузин, А.Н.Тихонов сынды ғалымдардың еңбектерінде математикалық анализдің негіздері, оның ішінде шексіз шамалардың қасиеттері мен қолдану аясы кеңінен қарастырылды. Қазақстандық математика ғылымында да бұл тақырыпқа қатысты бірқатар зерттеулер жүргізілді. Әсіресе орта мектеп пен ЖОО деңгейінде шексіздік ұғымын оқыту әдістемесіне байланысты еңбектер кездеседі.

Алайда, бүгінгі таңда білім беру процесінде визуализация әдістерін қолдану, яғни абстрактілі ұғымдарды нақты әрі көрнекі түрде түсіндіру қажеттігі артып келеді. Шексіз шамаларды визуалды тәсілдермен оқыту мәселесі заманауи педагогикалық технологиялар тұрғысынан әлі де терең зерттеуді қажет етеді. Оқушылардың қабылдауына оң әсер ететін тиімді визуал құралдар мен әдістемелердің аз зерттелгені — осы ғылыми жұмыстың өзектілігін айқындай түседі.

Шексіз шамалар математикада маңызды роль атқарады, себебі олар математикалық талдаудың негізін құрайтын ұғымдардың қалыптасуына ықпал етеді. Туынды мен интегралдың ұғымдары шексіз кішкентай немесе шексіз үлкен мәндерді анықтамайынша мүмкін болмайды. Дегенмен, Архимедтің аксиомасы шексіз шамалармен байланысты мәселелерді шешуде қиындықтар тудыруы мүмкін. Бұл аксиома нақты сандар теориясында шексіз шамаларды қабылдамайды. Осылайша, классикалық математикалық талдауда шексіз шамалар көбінесе шек арқылы анықталады, және бұл тәсіл шексіздікпен жұмыс істеу кезінде нақты сандарды қарастыруға мүмкіндік береді.

### 1. Шексіз шамалар мен шек ұғымы

Классикалық талдауда шексіз шамалар функциялар мен тізбектердің шек мәндеріне сәйкес келеді. Шек ұғымы арқылы шексіз кіші және шексіз үлкен шамалар анықталады. Бұл әдіс шексіз шамаларды тікелей қолданбай, нақты сандарды қарастыруға мүмкіндік береді. Мысалы, функция немесе реттілік белгілі бір мәнге ұмтылса, олар шексіз кіші немесе шексіз үлкен мәндерге жетуі мүмкін.

### 2. Кеңейтілген сандық сызық

Нақты сандар жиынның кеңейтілген нұсқасы арқылы шексіз элементтерді енгізуге болады. Кеңейтілген сандық сызықта нақты сандар жиынына шексіз кіші және шексіз үлкен мәндер қосылады. Бұл кеңейтілген сызықтағы элементтер нақты сандардан басқа, шексіздікке жақын мәндерді де қамтиды. Бірақ бұл кеңейтілген сызықта арифметикалық операциялар барлық элементтер үшін анықталмаған, әсіресе шексіз элементтер үшін.

### 3. Дуалдық сандар және гипернақты сандар

Дуалдық сандар — бұл нақты сандардың гиперкомплекссті жүйесінде орын алатын сандар. Дуалдық сандар арқылы туынды функцияны анықтауға мүмкіндік береді. Бұл сандар жиыны қосу және көбейту операцияларымен

жабық болады, бірақ өріс болып табылмайды, себебі оларда нөлге бөлуді қамтитын операциялар бар.

Гипернақты сандар, керісінше, нақты сандарды кеңейту арқылы шексіз аз және шексіз үлкен сандарды қамтитын өріс түзеді. Бұл жүйе математикалық талдау үшін өте пайдалы, себебі ол шексіздікпен жұмыс істеуге мүмкіндік береді және белгілі бір тұжырымдарды қарастыру кезінде шексіздікпен өзара әрекеттесуді жеңілдетеді.

#### 4. Фракталдар және шексіздік

Фракталдар — шексіз қайталанатын геометриялық құрылымдар, олар өзіне-өзі ұқсас. Фракталдық геометрияда шексіздік маңызды рөл атқарады, өйткені фракталдардың құрылымы кез келген масштабта өзгермейді және олар шексіз процесс ретінде сипатталады. Мандельброт жиыны, мысалы, шексіздікпен тығыз байланысты және оны зерттеу шексіз шамалар мен шексіз процестерді сипаттауға мүмкіндік береді.

#### 5. Шексіз шамалар мен математикалық талдау

Шексіз шамаларды қолдану математикалық талдауда функциялардың туындыларын есептеуді жеңілдетуге мүмкіндік береді. Мысалы, дуалдық сандар жиынын қолдану арқылы нақты нүктедегі функцияның туындысын табу жеңілдейді. Гипернақты сандар мен шексіз элементтерді енгізу аналитикалық функцияларды зерттеуде қолданылатын маңызды құрал болып табылады.

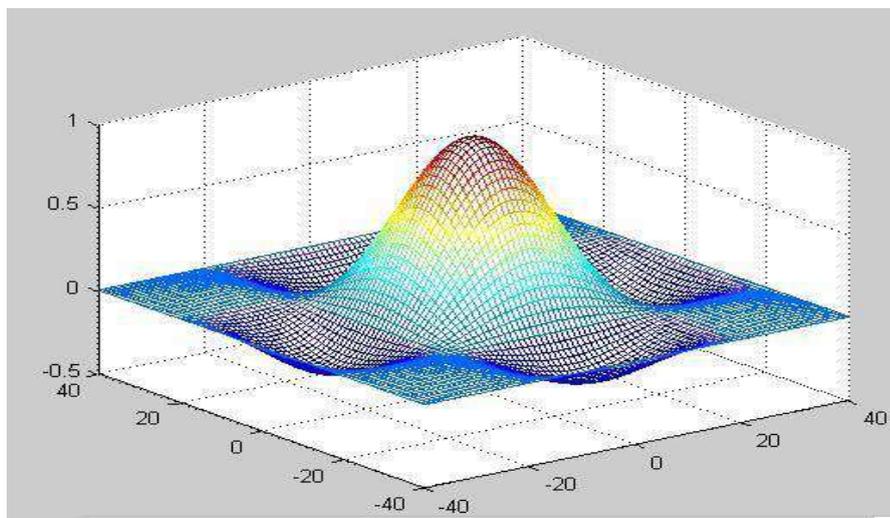
Қорытындылай келе, шексіз шамалар математикалық талдауда маңызды рөл атқарады, оларды қолдану арқылы жаңа көзқарастар мен әдістер пайда болды. Дуалдық сандар мен гипернақты сандар жүйелері шексіз шамаларды зерттеуде маңызды рөл атқарады. Сонымен қатар, шексіздік ұғымы математиканың әр түрлі салаларында, мысалы, фракталдар мен ықтималдық теориясында қолданылады. Математикалық талдауда шексіз шамаларды қолдану шексіздіктің шекараларын зерттеуге мүмкіндік беріп, көптеген теориялық және қолданбалы мәселелерді шешуге ықпал етеді.

Қазіргі таңда визуализациялау үлкен қолданысқа ие. Бұл әдіс MATLAB секілді бағдарламалық құралдар арқылы жүзеге асырылады. MATLAB — ғылыми және инженерлік есептеулерді орындауға арналған жоғары деңгейлі бағдарламалау ортасы болып табылады. MATLAB жүйесі арқылы деректерді визуализациялау, математикалық модельдерді құру және олардың нәтижелерін көрнекі түрде көрсету мүмкіндігі бар.

MATLAB-тың визуализациялау құралдары өте көп. Оның ішінде слайс жазықтықтары, контурлық кескіндер, изобеттер және үшөлшемді бет графиктері (surface plot) сияқты әдістер бар. Бұл әдістер арқылы күрделі есептеулердің нәтижелерін түсінуді жеңілдетуге болады. Мысалы, үшөлшемді бет графиктері арқылы шексіз шамалар немесе күрделі функциялар графиктерін көрсетуге болады.

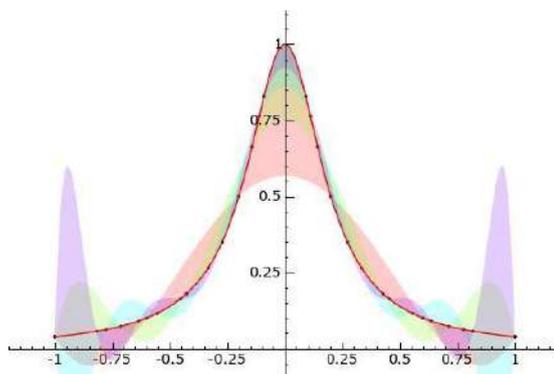
Математикалық пакеттер әлемінде әртүрлі математикалық есептерді талдауға, визуализациялауға және шешуге арналған көптеген қолданбалар мен құралдар бар. Олардың кейбіреулері мыналарды қамтиды: *MATLAB* – бұл

сандық есептеулерге, деректерді визуализациялауға және математикалық есептерді шешуге арналған қуатты бағдарламалау тілі және ортасы (сурет 1).



Сурет 1. *MATLAB* арқылы визуализацияланған график

*SageMath* – символдық және сандық есептеулер үшін ортаны қамтамасыз ететін математикалық пакеттер мен компьютерлік алгебра жүйелерін біріктіруге арналған ашық бастапқы бағдарламалық құрал (сурет 2). Бұл бағдарламалар қарапайым есептеулерден бастап күрделі символдық манипуляция мен сандық әдістерге дейін математикалық функциялармен жұмыс істеуге арналған әртүрлі құралдарды ұсынады [1, с. 148]. Бағдарламаны таңдау пайдаланушының нақты қажеттіліктеріне және шешілетін тапсырмалардың сипатына байланысты жүзеге асады.



Сурет 2. *SageMath* визуализацияланған график

Шексіз шамалар математика мен физикада өте маңызды ұғым болып табылады. Олар көптеген теориялар мен есептеулерде қолданылады, сондықтан олардың қасиеттерін түсіну маңызды. Әсіресе, шексіз шамаларды визуализациялау — абстрактілі ойлау мен математикалық ұғымдарды нақты

түсінуге көмектесетін тиімді әдіс. Осы мақалада шексіз шамалардың кейбір негізгі қасиеттерін визуализациялаудың тәсілдері қарастырылды [2, с. 384].

Шексіздіктің әртүрлі түрлері бар, шексіз үлкендік және шексіз кішідік. Математикада нақты шексіздік түрлерін көрсету үшін «кардинал сандар» немесе «асимптотикалық» ұғымдар пайдаланылады. Бұл түрлердің визуализациясы үшін әртүрлі кеңістіктер мен графиктер қолданылады.

Шексіздік шекарасы бар жиындар үшін, жиындардың көлемін немесе мөлшерін визуализациялау өте қызықты. «натурал сандар» мен «негізгі рационал сандар» жиындары шексіз, бірақ натурал сандар жиыны (1, 2, 3, ...) кішірек сияқты көрінуі мүмкін, өйткені олардың арасында ұштастырылған рационал сандар көп [3, с. 768].

Шексіз шамалардың қасиеттерін визуализациялау — бұл тек математикалық ұғымдарды түсіну үшін ғана емес, сонымен қатар шексіздікпен жұмыс істеудің әртүрлі әдістерін меңгеруге көмектесетін маңызды әдіс. Графиктер, функциялар және шекке ұмтылу ұғымдары шексіздікті бейнелеуде үлкен рөл атқарады. Осылайша, шексіз шамалармен жұмыс істеу кезінде абстрактілі ойлау мен көрнекі бейнелеу әдістері қатар қолданылады, бұл білімді тереңдетуге және оны практикалық тұрғыда түсінуге мүмкіндік береді [4, с. 39].

Технологияларды басқаруды автоматтандыру, әсіресе математикалық және компьютерлік модельдеулер арқылы жүзеге асырылатын болса, ол өндірістің тиімділігін арттыруға, ресурстарды үнемдеуге және жүйенің жұмысын оңтайландыруға мүмкіндік береді. MATLAB жүйесі қазіргі уақытта ғылыми зерттеулер мен инженерлік жобаларда кеңінен қолданылып, күрделі есептерді шешуге мүмкіндік береді. Сондықтан MATLAB-тың визуализациялау құралдары мен математикалық модельдеулерді қолдану технологияларды басқаруды автоматтандыруда маңызды рөл атқарады.

## ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Фишбейн, Э.: 1978, «Интуиция и математическое образование», Оснабрюкер Шрифтен.zür Mathematik , 1, - С. 148-176.
2. Чичкарёв, Е.А. Компьютерная математика с Maxima руководство для школьников и студентов / Е.А. Чичкарёв. – М.: ALT Linux, 2012. – 384 с.
3. Дьяконов, В.П. MATLAB. Полный самоучитель / В.П. Дьяконов. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 768 с.
4. Alves, F. R. V. (2014). Visualizing with dynamic system Geogebra: the Fundamental Theorem of Algebra - TFA and its applications. GGIJRO - Geogebra International Journal of Romania, p. 39- 50. Available in:

**УДК 621.9.047.7**

Қазимуллаев Ж.М. (23-МТМ-2т, ШҚТУ), Комбаев К. К. (т.ғ.к., ШҚТУ)

**ТІЗБЕКТІ КОНВЕЙЕРДІҢ БӨЛШЕКТЕРІН ЭЛЕКТРОЛИТТІК  
ПЛАЗМАЛЫҚ ӨНДЕУДІ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП ТІСТІ  
ЖҰЛДЫЗШАЛАРДЫҢ БЕРІКТІГІН АРТТЫРУ**

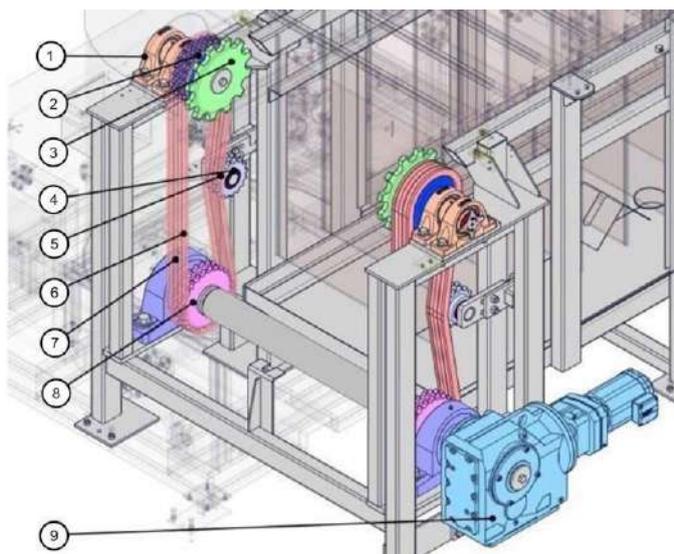
*Аңдатпа.* Қазіргі заманғы инфрақұрылымда, көлікте, коммуникацияда және электр энергиясын өндіруге және беруге арналған Өндірістік жабдықтар өндірісінде мыс үлкен рөл атқарады. Мыс негізінен машина жасау саласында, электр қозғалтқыштарында және басқа да энергетикалық қондырғыларда қолданылады. Қазақстан әлемдегі ең ірі мыс өндірушілердің бірі болып табылады. Байыту фабрикаларында оксидті кеннен катодты мыс өндіру жабдыққа сервистік қызмет көрсетуден басқа, қарқынды жүктелген бөлшектерді күшейтуді, қалпына келтіруді және ауыстыруды талап етеді. Мақалада конвейер жетегінің жоғары жүктемелі жұлдызшасының электролиттік-плазмалық беріктігін зерттеу нәтижелері келтірілген.

*Түйін сөздер:* жұлдызшаны қатайту, түсіру конвейері, электролитті-плазмалық қатайту.

Мысты өңдеу және өндіру бірнеше кезеңдерді қамтиды: кен өндіру, оны байыту, содан кейін таза мыс алу үшін балқыту және тазалау. Мыс және басқа да пайдалы қазбаларды өндірумен айналысатын тау-кен және байыту фабрикасы пайдалы қазбаларды өндіру және өңдеу үшін заманауи технологиялар мен жабдықтарды белсенді пайдаланады. Байыту фабрикаларында жабдықтың тоқтап қалуын және қымбат жөндеуін болдырмау үшін жабдықтың бөлшектері мен тораптарына техникалық қызмет көрсету қажет, бұл оның шамадан тыс жүктелу немесе сыну мүмкіндігін азайтады. Экологиялық тұрақтылыққа және қоршаған ортаға әсерді азайтуға ерекше назар аударылады.

Байыту өндірісінде тасымалдаудың экономикалық тиімділігін арттыру үшін автоматтандырылған конвейерлер қолданылады. Технологиялық процестің мониторингі көрсеткендей, конвейердің моторлы жетегінің жұлдызшалары, 1-сурет мүмкіндігінше жүктеліп, өз мүмкіндіктерінің шегінде жұмыс істей бастайды. Олар катодтарды конвейерден, өңдеу мен ораудың келесі кезеңіне дәл және тиімді түсіру үшін реттеліп орнатылады.

Конвейерді пайдалану кезінде жұлдызшалар механикалық тозуға ұшырайды - жұлдызша тістері мен шынжыр арасындағы тозу, абразивті тозу - тасымалданатын жүктің жанасуынан, коррозиялық тозу-металдың қоршаған ортамен химиялық реакциясынан және т.б. Бұл тозудың жоғарылауына немесе тіпті сынуына және бүкіл конвейердің бұзылуына әкелуі мүмкін [1].



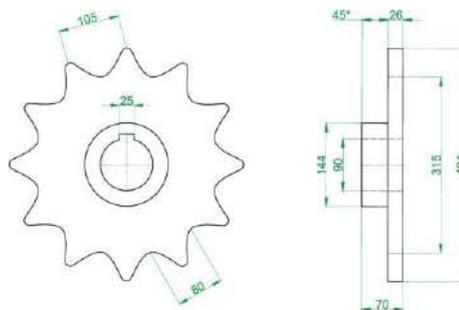
1- жетек мойынтіректерінің корпусы; 2- жетекші жұлдызша; 3- жұлдызша; 4- кергіш мойынтірегі; 5 – кергіш жұлдызшасы; 6 – жетек тізбегі; 7- мойынтірек жетегінің корпусы; 8- жетек жұлдызшасы 9- редукторлы мотор.

Сурет 1 – Конвейер қозғалтқышының жинағы

Мыс өндірісіндегі катодты мысты матрицадан бөліп алу машинасының жұлдызшасы, 2-сурет, бұл-мыс катодтары сияқты материалдардың қозғалысын реттеуге және оларды тазалау немесе өңдеу процесінде түсіруге қызмет ететін механизм элементтері болып табылады. Бұл жұлдызшалар конвейерлік жүйелерде мыс өндірісінің әр түрлі сатысында катодтарды тасымалдау үшін қолданылады.



а) Конвейер жұлдызшасы



б) Өндіріп шығаруға арналған эскиз

Сурет 2- Түсіру конвейерінің жұлдызшасы

Жетек пен кергіштің жұлдызшалары шынжырмен бірге, конвейердің сызықтық қозғалысын қамтамасыз етеді, катодты мысты белгіленген бағыт бойынша жылжытады.

Зерттеудің мақсаты жөндеу шығындарын, өндірістің тоқтап қалуын азайту және жабдықтың күтпеген бұзылуын болдырмау үшін конвейер жұлдызшасының тозуға төзімділігін арттыру болып табылады.

Катодты орау машинасының түсіру конвейерінің жұлдызшасын электролиттік-плазмалық шынықтыру (бұдан әрі-ЭПШ) бөлшектің қызмет ету мерзімін едәуір арттырып, жоғары жүктемелерге, абразивті тозуға және химиялық әсерлерге ұшыраған кезде оның тозуға төзімділігін қамтамасыз ете алады.

Электролитті-плазмалық қатайту-жоғары плазмалық температураның термиялық әсерінің үйлесуіне және электролит иондарының модификациясына негізделген, материалдарды беттік өңдеу әдісі [2]. Бұл процесс қаттылық, тозуға төзімділік және коррозияға төзімділік сияқты металл бөлшектердің өнімділігін жақсарту үшін қолданылады.

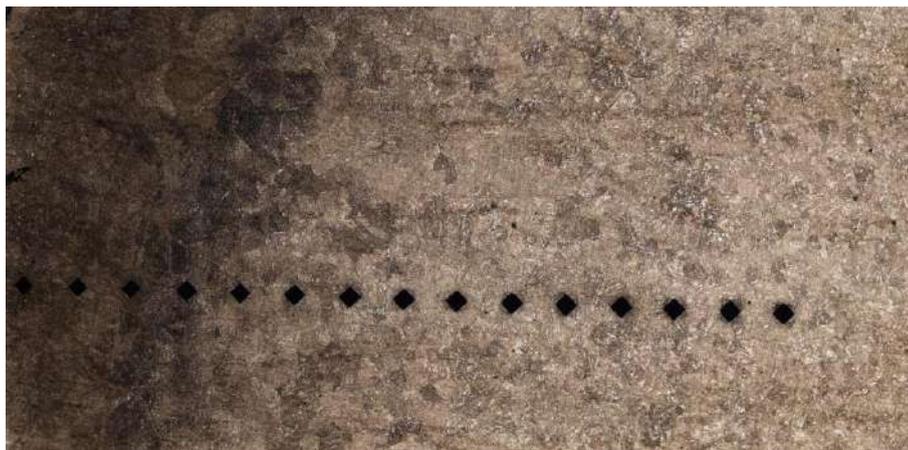
Жұмыс істеу принципі келесідей:

1. **Бетті дайындау:** жақсы жылу өткізгіштік пен материалдың жаңа қабатының модификациясын қамтамасыз ету үшін жұлдызша ластанудан, тоттан және қақтан тазартылады.

2. **Электролитті-плазмалық қатайту:** бөлшек электролитке ішінара батырылады, онда электр тогының көзінен плазмалық разряд қозғалады. Плазмалық разряд температураны болаттың құрылымдық-фазалық түрленуіне дейін арттырады. Электролит ағынындағы циклдік қатаю тістерді жергілікті түрде қатайтады, бұл беткі өнімділікті, соның ішінде тозуға төзімділікті жақсартады.

3. **Қатайтылған қабаттың қалыптасуы:** өңдеу кезінде жұлдызшаның бетінде тозуға төзімді, қаттылығы жоғарылаған модификацияланған қабат пайда болады. Бұл жағдайда өзек соққы жүктемелерін демпферлейтін бастапқы күйінде қалады [3].

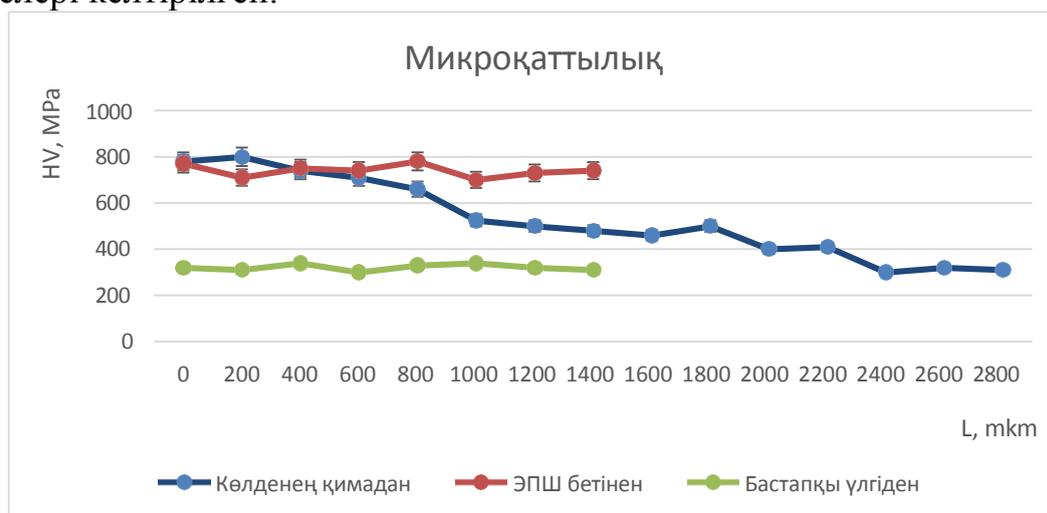
Бұл қатайту әдісі бөлшектерді жиі ауыстыру қажеттілігін азайтуға, олардың сенімділігін арттыруға және техникалық қызмет көрсету шығындарын азайтуға көмектеседі. Болат жұлдызшаның бетінде көміртегі концентрациясының градиентін құрайтын жоғары концентрацияланған плазмалық температура пайда болады. 3-суретте ЭПШ өңдеуден кейінгі микроқаттылықтың өзгеруі зерттелген типтік бет көрсетілген. Электролит ағынындағы циклдік қатаю Болаттың микроқұрылымына термиялық әсер етеді, бұл фазалық түрленуге және ұсақ ине тәрізді мартенситтің пайда болуына әкеледі. Кесулер арасында нақты анықталған шекаралардың болмауына қарамастан, қатайтылған қабаттың жалпы тереңдігі 2 мм-ге дейін жетеді, біртіндеп бастапқы перлит-феррит құрылымына ауысады үлгінің кішігірім мөлшері мен нәзіктігін ескере отырып, берілген кернеудің өзгеруі катодтың (дайындаманың) температурасын 400-ден 1100 °C-қа дейін дәл бақылауға мүмкіндік береді [27]. Бұл температура қолданылатын кернеуге сызықтық тәуелділікті көрсетеді [28]. Плазманың электролиттік қызуының жоғары жылдамдығы мақсатты температураға жету уақытын қысқартып қана қоймайды, сонымен қатар процестің белгілі бір қадамдарына оң әсер ететін диффузиялық қабаттардың түзілуін тездетеді. Баяу қыздыру астықтың өсуіне ықпал етсе, жылдам қыздыру температураны тезірек көтеруі мүмкін, осылайша диффузияны тездетеді [4].



Сурет 3 – ЭПШ-дан кейінгі жұлдызша үлгісінің көлденең қимасының микроқұрылымы

840-860°C температурада 10% кальциленген сода бар электролитте ЭПШ көмегімен құрылымдық болаттарды катодты циклдік қатайту материалдың қаттылығын небәрі 4 минуттық өңдеуде екі есе арттыруға мүмкіндік береді, бұл қатты карбюратордағы дәстүрлі карбюризацияға қарағанда айтарлықтай жылдамырақ, содан кейін қатайтылады. Сонымен қатар, бұл әдіс термиялық өңдеу уақытының ықтимал қысқаруын көрсетеді, бұл өз кезегінде өнеркәсіптік пештерді жылыту үшін энергия шығынын азайтады және ақырында бөлшектерді өндірудің жалпы құнын төмендетеді [5].

4-суретте ЭПШ кезінде қатайтылған қабаттың тереңдігін анықтау үшін үлгінің көлденең қимасынан 200 мкм аралықпен микроқаттылықты өлшеу нәтижелері келтірілген.



Сурет 4- Үлгінің микроқаттылығының өзгеруі

Бұл өлшемдер шамамен HV 3000 бастапқы мәнінен шамамен HV 7500-ге дейін көтерілген беттік қаттылықтың айтарлықтай өскенін көрсетті. Бұл өсім

көміртектің максималды жиынтық концентрациясына байланысты, ол қанығу температурасында аустенитте қатаюдан кейін мартенситке айналатын қаныққан ерітінді түзеді [6].

Потенциалды кальциленудің алдын алу және сынғыштықты арттыру үшін ЭПШ параметрлерін, соның ішінде электролит ағынының циклдік қатаюын эмпирикалық түрде анықтау және экспериментті жоспарлау шеңберіндегі есептеулер арқылы растау ұсынылады.

Салыстырмалы түрде жаңа ЭПШ технологиясын енгізу электролиттік-плазмалық сөндіру принциптеріне жаңа көзқараспен қарауға мүмкіндік береді. Практикалық тұрғыдан алғанда, ЭПШ механизмін түсіну электролиттерді өңдеу режимдері мен құрамдары туралы негізделген шешімдер қабылдау үшін, сондай-ақ қажетті жабдықты жобалау үшін өте маңызды.

### ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Қазимуллаев Ж.М., Комбаев К. К., Сыпайнова Г.С. Катодты мысты матрицадан бөліп алу машинасының түсіру конвейерінің жұлдызшасын электролиттік плазмалық шынықтыру//Творчество молодых – инновационному развитию Казахстана: Материалы X Международной научно-технической конференции студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых, 11, 12 апреля 2024 г. – Өскемен: ШҚТУ, 248 – 252 б. ISBN 978-601-208-836-6 (I б.)
2. K. Kombayev, F. Khoshnaw, G. Uazyrkhanova and G. Moldabayeva, *Experimental and mathematical modelling investigation of plasma electrolytic oxidation (PEO) for surface hardening of 20Cr steel*, MDPI AG, 2024.
3. K. Kombayev, A. Kim, G. Sypainova, D. Yelemanov. Improving wear resistance by electrolyte-plasma hardening of corrosion-resistant steel of the tip // *Istraživanja i projektovanja za privredu* ISSN 1451-4117 DOI:10.5937/jaes0-42291 [www.engineeringscience.rs/](http://www.engineeringscience.rs/) Journal of Applied Engineering Science Vol. 21, No. 3, 2023 Original Scientific Paper. 21(2023)3, 1122, Paper number: 810-819.
4. K. Kombayev, M. Muzdybayev, A. Muzdybayeva, D. Myrzabekova, W. Wieleba, T. Leśniewski, (2022). Functional Surface Layer Strengthening and Wear Resistance Increasing of a Low Carbon Steel by Electrolytic-Plasma Processing. *Strojniški vestnik-Journal of Mechanical Engineering*, 68(9), 542-551. DOI:10.5545/sv-jme.2022.147.
5. [Kombayev, K.](#), [Kim, A.](#), [Yelemanov, D.](#), [Sypainova, G.](#) Strengthening of Low-Carbon Alloy Steel by Electrolytic-Plasma Hardening//[International Review of Mechanical Engineering](#)[this link is disabled](#), 2022, 16(2), pp. 84–91. DOI 10.15866/ireme.v16i2.
6. [Doudkin, M.](#), [Kim, A.](#), [Kombayev, K.](#), [Azamatov, B.](#), [Azamatova, Z.](#) Research of cutting temperature reducing of titanium alloy grade 5 below polymorphic transformation depending on calculation of cutting modes//*International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 2020, 10(2), pp. 747–758. DOI10.24247/ijmperdapr202074.

УДК (622.7)

Маданият Н. М (24-МОП-2з ВКТУ), Әділқанова М.Ә. ( PhD, ВКТУ)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА И ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ РУДЫ КИНГАШСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

***Аннотация.** Статья посвящена исследованию технологий обогащения медно-никелевых руд Кингашского месторождения, расположенного в Красноярском крае России. Рассматриваются особенности вещественного состава руд, включая основные рудные минералы ( пентландит, халькопирит, пирротин и сопутствующие минералы (кобальт и плаиноиды). Подбор оптимального флотационного режима и степени измельчения для обогащения руд Кингашского месторождения является ключевым этапом в разработке эффективной технологии переработки. Особое внимание уделено оптимизации технологических процессов для повышения извлечения никеля, меди и платиноидов. Результаты исследований могут быть полезны для горнодобывающих предприятий, занимающихся разработкой медно-никелевых месторождений.*

***Ключевые слова:** Кингашское месторождение, медно-никелевые руды, флотация, обогащение руд, депрессор.*

Кингашского месторождения характеризуется сложными геологическими условиями и высоким содержанием ценных металлов.

Анализ ценности металлов, извлекаемых из руд рассматриваемого месторождения при заданном уровне цен на мировом рынке, показал, что на долю никеля приходится более 80% от общей стоимости получаемого продукта.

Для обогащения руд Кингашского месторождения разработана флотационная схема с получением коллективного медно-никелевого концентрата. Флотация позволяет эффективно разделить сульфидные минералы от пустой породы и других примесей.

Изучение вещественного состава Кингашской руды является важным этапом для разработки эффективной технологии её переработки.

На минералогическое изучение поступила проба месторождения Кингашское, вещественный состав которой изучался обычными оптическими и прецизионными методами в аншлифах, изготовленных из кренового материала. Основными полезными компонентами в сульфидного медно-никелевого месторождения является никель, медь, кобальт; попутными – платина, палладий, золото, серебро, селен, теллур; к вредным примесям относятся – свинец, цинк, висмут, мышьяк, фтор.

Промышленно-ценными металлами Кингашского месторождения являются никель и медь, содержания которых в пробе составляют 0,47 и 0,37 % соответственно. Минералами-носителями никеля являются в первую очередь сульфиды – пентландит, пирротин, гидросульфид меди – валлериит, незначительная доля ценного компонента приходится на силикаты – серпентин, хлорит. Минералами-носителями меди являются валлериит и

халькопирит. Преобладающими породообразующими минералами являются серпентин (53,48 %), оливин (9,28 %), амфиболы (8,85 %), хлорит (8,75 %), слюды (5,82 %). Минеральный состав пробы с учетом данных химического и локального рентгеноспектрального анализов приведен в таблице 1.

Таблица – 1 Минеральный состав пробы

Минерал	Содержание, %
Серпентин	53,48
Оливин	9,28
Амфиболы	8,85
Биотит, флогопит, мусковит	5,82
Хлорит	8,75
Полевые шпаты	2,08
Тальк	0,20
Карбонаты	0,70
Пентландит	1,69
Макинавит	0,10
Пирротин	1,11
Халькопирит	0,33
Валлериит	3,32
Платино-палладиевые минералы	Зн.
Магнетит	3,76
Хромшпинелиды	0,30
Сфалерит	Зн.
Апатит	0,11
Рутил, сфен	0,12
Сумма	100,00

Руда относится к труднообогатимой по следующим факторам:

- повсеместное присутствие магнетита в виде вкрапленности в породообразующих минералах значительно затрудняет магнитную сепарацию;
- закрытые сростки сульфидов с магнетитом, сростания валлериита по сульфидам, тонкое переслаивание валлериита с серпентином значительно затрудняют флотацию;
- неизвлекаемая микроскопическая сульфидная вкрапленность сульфидов в серпентинитах приводит к потерям ценных компонентов в хвостах обогащения.

Кинетика измельчения пробы руды Кингашского месторождения.

Измельчение руды проводили в лабораторной шаровой мельнице на навеске пробы 1 кг, при отношении Т:Ж:Ш = 1:0,5:6. В ходе лабораторных опытов была изучена кинетика измельчения. Для этого была проведена серия опытов с одной операцией флотации.

Произведено сопоставление показателей флотации при разном времени измельчения и, соответственно, крупности исходного продукта флотации. Время измельчения изменялось с 30 до 60 минут, крупность питания флотации с 65 до 90 % содержания готового класса минус 74 мкм.

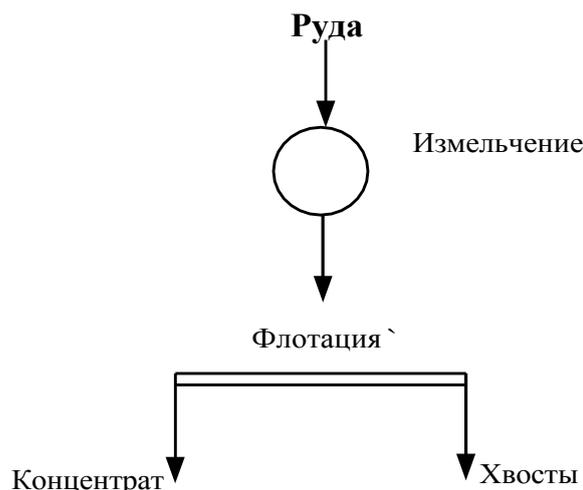


Рисунок – 1 Принципиальная схема разделения флотационных опытов изучения кинетики измельчения

В таблице 2 приведены результаты флотационных опытов при разном времени измельчения.

Таблица 2 – Влияние времени измельчения

Продукт	Выход, %	Массовая доля, %		Извлечение, %		Время измельчения, мин
		Медь	Никель	Медь	Никель	
Концентрат	5,60	0,66	3,35	17,08	35,55	30` (65,4% кл 74мкм)
Концентрат	11,73	0,46	2,08	25,35	46,34	40` (81,7% кл 74мкм)
Концентрат	14,06	0,39	1,41	21,63	44,95	50` (88,1% кл 74мкм)
Концентрат	8,84	0,51	2,95	17,16	50,44	60` (89,4% кл 74мкм)

Наблюдается возрастание извлечения никеля с 35,6 до 50,44 %. При этом извлечение меди в зависимости от тонины помола носит экстремальный характер, с максимум при 81 % класса минус 74 мкм в питании флотации. Это можно объяснить преимущественной флотацией валлерита в виде сростков, по мере раскрытия которых извлечение валлерита уменьшается. Далее опыты по изучении флотации проводились с измельчением 50 минут содержанием 88 % готового класса минус 0,074 мм.

Флотация медно-никелевой руды Кингашского месторождения сталкивается с рядом актуальных проблем, влияющих на эффективность извлечения ценных металлов. Одна из проблем — это депрессия пустой породы в виде силикатов. Будучи природно-гидрофобными силикаты в процессе пенной флотации легко переходят в концентрат, тем самым снижая качество концентрата и увеличивая затраты на дальнейшую переработку. Поэтому депрессия силикатов, а также талька является предметом многих исследований[3]. Важной задачей является поиск и разработка эффективных

легкодоступных и недорогих депрессоров для селективного флотационного разделения рудных минералов и порообразующих силикатов.

Изучение флотационного процесса проводится на предварительно измельченной пробе минерального сырья. Флотацию проводят на лабораторной флотомашине ФМ с объемом камеры – 3 л.

В качестве флотационных реагентов используется: собиратели (0,1 % водные растворы); активатор – медный купорос (1 % водный раствор); регулятор среды – натрий углекислый (10 % раствор), подавитель – жидкое стекло и КМЦ (1-2 % раствор). Так, в качестве депрессоров при флотации медно-никелевых руд широко используется карбоксиметилцеллюза (КМЦ) различной модификацией. В таблице 3 результаты опытов влияния различных депрессоров при флотации в качестве собирателя ксантогената.

Таблица 3 – Влияние жидкого стекла и КМЦ при использовании ксантогената в качестве собирателя

Вид депрессора	Продукт	Выход, %	Массовая доля, %		Извлечение, %		Время измельчения, мин
			Медь	Никель	Медь	Никель	
Ж.с	Концентрат	14,06	0,39	1,41	21,63	44,95	50
КМЦ <sub>L1</sub>	Концентрат	7,98	0,63	3,72	20,06	61,72	50
КМЦ <sub>L7</sub>	Концентрат	8,41	0,67	4,16	21,48	65,98	50

Сопоставление различных видов депрессоров силикатов при флотации ксантогенатом показывает существенные преимущества КМЦ перед жидким стеклом (таблица 3). Опыты состояли из одной операции флотации. Переход от жидкого стекла к КМЦ обеспечивает рост извлечения никеля на 15-20 % при снижении выхода пенного продукта на 5.5 – 6 %.

Жидкое стекло – важный депрессор в обогащении медно-никелевых руд, улучшающий селективность флотации, но имеет чувствительность к дозировке при избытке может подавить ценные минералы.

КМЦ – эффективный депрессор в отличие от жидкого стекла, ее применение позволяет повысить сорность концентрата, уменьшить пенообразование и улучшить селективность разделения.

Руда Кингашского месторождения характеризуется полиминеральным составом с доминированием сульфидов железа (пирротин), никеля (пентландит) и меди (халькопирит). Высокое содержание серы и железа, а также тесное срастание минералов создают сложности при обогащении, что требует тщательного подбора реагентов (депрессоров) и оптимизации технологических параметров флотации.

При изучении кинетики измельчения был подобран оптимальный режим для получения готового класса 85 – 90 % минус 0,074мм.

Исследование условий флотации для подавления порообразующих минералов показало, что лучшие результаты достигают с применением КМЦ вместо жидкого стекла.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Э.В. Адамов. «Технология руд цветных металлов». Москва: Издательство «Учеба», 2007 г.
2. Т.Н. Александрова, А.В. Афанасова, В.В. Кузнецов, В.А. Абурова. Выбор параметров флотации сульфидных медно-никелевых руд на основе анализа распределения компонентов по флотируемости.
3. И. А. Блатов Обогащение медно-никелевых руд. М: Издательский дом «Руда и металлы», 1998. – 224 с.
4. О.М. Глазунов, Т.Л. Глазунова, Т.А. Радомская. Геолого-геохимическая модель Кингашского рудного поля в Саянской никель-платиноносной провинции // Месторождения природного и техногенного сырья: геология, геохимия, геохимические и геофизические методы поиска, экологическая геология. Материалы Международной конференции. Воронеж: Изд-во Воро-нежпечать, 2008. С. 65-68
5. Е.А. Красавцева, А.А. Горячев. Обзор способов депрессии талька при флотации медно-никелевых руд.
6. В.И. Максимов, Е.В. Королева, С.М. Козырев, О.А. Кравцова, А.А. Клемятов. Совершенствование технологии обогащения Cu-Ni руд, перерабатываемых на обогатительных фабриках ОАО «ГМК «Норильский никель». Цветные металлы, №9, 2009 г.
7. В.И. Мелик-Гайкозян, А.А. Абрамов Методы исследования флотационного процесса. М.: Недра, 1990 г.
8. С.И. Митрофанов, Л.А. Барский, В.Д. Самыгин. М. Исследование полезных ископаемых на обогатимость: Недра, 1974 г.
9. Fu Y., Zhu Z., Yao J., Han H., Yin W., Yang B. Improved depression on talc in chalcopyrite flotation using a novel depressant combination of calcium ions and sodium lignosulfonate // Colloids and Surfaces A. 2018. No. 558. P. 88-94.
10. Leung A., Wiltshire J., Blencowe A., Fu Q., Solomon D., Qiao G. The effect of acrylamide-co-vinylpyrrolidinone copolymer on the depression of talc in mixed nickel mineral flotation // Minerals Engineering. 2011. No. 24. P.449-454.
11. Lui C., Zhang W., Song S., Li H. A novel method to improve carboxymethyl cellulose performance in the flotation of talc // Minerals Engineering. 2019. No. 131. P. 23-27/
12. Zhao K.L., Gu G.H., Wang C.L., Rao X., Wang X., Xiong X. The effect of a new polysaccharide on the depression of talc and the flotation of a nickel-copper sulfide ore // Minerals Engineering. 2015. No. 77. P. 99-106.
13. Zhou B., Wang Y., Li B., Li J., Lv G., Mei T., Fan J.S. Preparation and characterization of Kojac glucomannan-based cation exchange resin // Carbohydrate Polymers. 2012. No. 87. P. 1877-1880.

**ӘӨЖ 519.852**

Мейірбол Э. (9-сынып, Дарынды балаларға арналған Жамбыл атындағы облыстық мамандандырылған мектеп-гимназия-интернаты), Қайырбаева Н.М. (математика пәні мұғалімі), Мукашева Р.У. (т.ғ.к., ШҚТУ)

## СЫЗЫҚТЫҚ БАҒДАРЛАМАЛАУ ӘДІСТЕРІ АРҚЫЛЫ ПАЙДАНЫ ОҢТАЙЛАНДЫРУ

***Аңдатпа.** Сызықтық бағдарламалау экономика, бизнес және логистикадағы маңызды құрал болып табылады. Қазіргі әлемде компаниялар математикалық әдістерді қолдана отырып, шығындарды азайтуға және пайданы көбейтуге тырысады. Сызықтық бағдарламалауды қолдану оқушыларға аналитикалық ойлауды дамытуға және нақты экономикалық процестерді түсінуге көмектеседі. Жұмыста оңтайландыру мәселесін шешу үшін графикалық әдіс пен кестелік процессор (Excel) қолданылады. Бұл оқушыларға Деректерді талдаудың және бизнес-процестерді модельдеудің заманауи құралдарын игеруге мүмкіндік береді.*

***Түйін сөздер:** Сызықтық бағдарламалау, мақсатты функция, пайданы оңтайландыру есептері, графикалық әдіс, шектеулер жүйе.*

Нарықтық экономика жағдайында бизнесті сәтті жүргізу кәсіпкерлердің ресурстарды тиімді басқару, шығындарды азайту және пайданы ұлғайту қабілетіне байланысты. Мұндай есептерді шешудің қуатты құралдарының бірі – сызықтық бағдарламалау-шектеулер болған кезде оңтайлы шешімдерді табуға мүмкіндік беретін математикалық бағдарламалау бөлімі.

Бұл жұмыс сатудан түскен пайданы оңтайландыру үшін сызықтық бағдарламалауды қолдануды қарастырады. Ол үшін екі әдіспен шешілген есептің математикалық моделі тұжырымдалды: графикалық әдіс және Microsoft Excel көмегімен. Графикалық әдіс көптеген қолайлы шешімдерді көрнекі түрде ұсынуға және оңтайлы шешімдерді анықтауға мүмкіндік береді, ал Excel бағдарламасын пайдалану есептеу процесін ыңғайлы және автоматтандырады.

Келесі мысалды қарастырайық: Автокөліктерді құрастыратын екі шағын зауытта жүк көліктері мен шағын автобустар шығарылады. Бірінші зауытта бір жүк көлігін құрастыруға жұмсалатын шығындар 6 адам-күн, ал бір шағын автобусты құрастыруға-3 адам – күн. Екінші зауытта осындай шығындар жүк көлігі мен шағын автобуска 3 адам-күн құрайды. Зауыттардың қуаты шектеулі және бірінші үшін-су аптасына 180 адам-күн, екіншісі үшін – 120. Әрбір жүк көлігінің құны 3000\$, шағын автобус – 2000 \$. Апта сайынғы өнім сатудан түсетін табыс барынша жоғары болуы үшін жүк көліктері мен шағын автобустарды қанша шығару керектігін анықтау қажет.

Осы есептің математикалық моделін құру үшін келесі кестені ( Кесте 1) есептің берілуі бойынша толтырайық

Кесте 1- Есептің берілуі

	жүк көліктері	шағын автобустар	Шығындар, адам-күн аптасында
	$x_1$	$x_2$	
1 зауыт	5	2	180
1 зауыт	3	3	120
Құны, \$	3000	2000	

$x_1, x_2$  деп жүк көліктері мен шағын автобустардың санын белгілейміз.

Келесі түрде математикалық моделін аламыз

$$\begin{cases}
 f(x_1, x_2) = 3000x_1 + 2000x_2 \rightarrow \max \\
 6x_1 + 4x_2 \leq 180 \\
 3x_1 + 3x_2 \leq 120 \\
 x_1 \geq 0, x_2 \geq 0
 \end{cases} \quad (1)$$

Бұл есепті графикалық әдіспен және Excel кестелік редакторын қолданып шешеміз.

### 1. Графикалық әдіс.

Есептің шешімін жазықтықта қараймыз. (1) шектеулер жүйесінің әрбір теңсіздігі шекаралы түзумен жарты жазықтықты анықтайды. Сол себептен (1) шектеулер жүйесіне сәйкес

$$\begin{cases}
 6x_1 + 4x_2 = 180 \\
 3x_1 + 3x_2 = 120
 \end{cases}$$

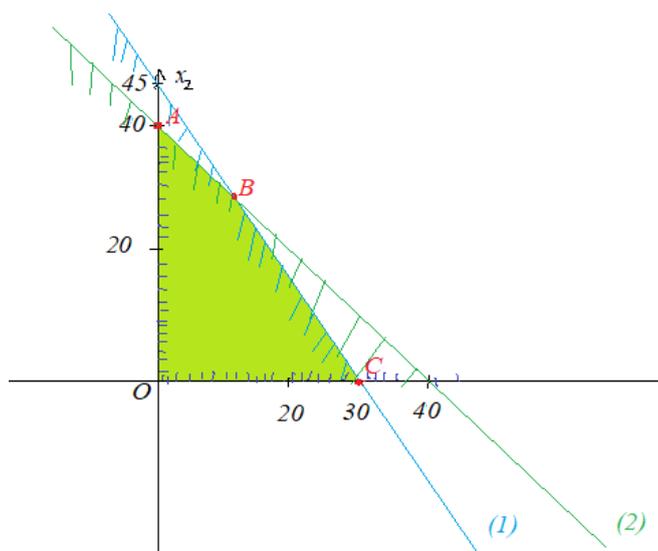
шекаралық түзулерді сызып, осы түзуге сәйкес теңсіздік арқылы жарты жазықтықтарды анықтаймыз.

Теріс еместіктің шарттары  $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0$  шекаралық түзулермен сәйкес жарты жазықтықтарды анықтайды, олардың қиылысуы бізге  $x_1 O x_2$  координат жүйесінің бірінші ширегін береді.

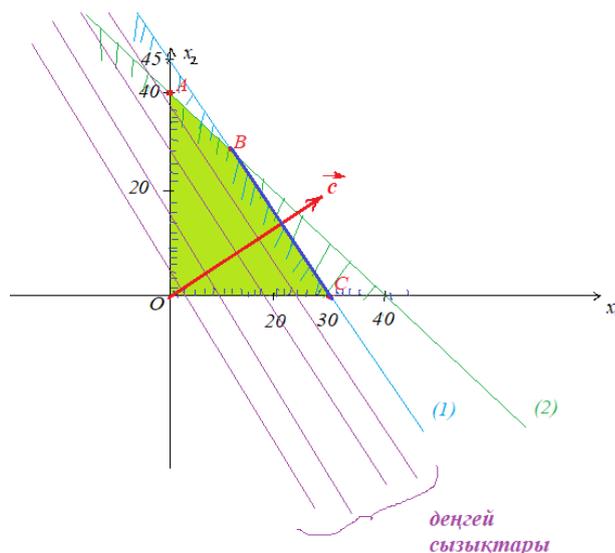
Егер жүйе үйлеспелі болса, онда жарты жазықтықтар қиылыстырып дөңес жиыны болып табылатын жалпы бөлікті туындайды және өзімен нүктелердің жиынтығын ұсынады; бұл нүктелердің әр координаттары осы жүйенің шешімі болып табылады. Осы нүктелердің жиынтығын шешімдердің көпбұрышы деп атайды. Ол көпбұрышпен шектелген және шектелмеген нүкте, кесінді, сәуле бола алады.

Мүмкін болатын шешімдер облысы (МШО) таптық, ол OABC көпбұрышы болады (сурет 1).

Есептің шешімі суреттегі A, B, C немесе O нүктелерінде болады. Оны анықтау үшін басы  $O(0;0)$  нүктесінен басталатын мақсатты функцияның вектор-градиенті құрылады: (а – тұрақты шама) деңгей сызығы вектор-градиентіне перпендикуляр түзу мақсатты функцияның барынша максималдану жағдайында, МШО аумағынан шыққанша, вектор-градиент бағытында жылжиды (сурет 2).



Сурет 1- сызықтық программалау есебін графикалық әдісімен шығару



Сурет 2- Графикалық әдіспен функцияның максимумын табу (үлкен масштабта)

$B$  нүктесінің координаталарын табу керек.  $B$  нүктесі суреттегі (1) және (2) түзулердің қиылысуы болғандықтан келесі жүйені шығару қажет

$$\begin{cases} 6x_1 + 4x_2 = 180 \\ 3x_1 + 2x_2 = 90 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = 10, x = 30 \\ x_1 = 10, x_2 = 30 \end{cases} \Rightarrow B(10, 30).$$

$$\begin{cases} 3x_1 + 3x_2 = 120 \\ x_1 + x_2 = 40 \end{cases}$$

(2) түзуді тұрғызғанда  $C(30, 0)$  нүктесімен қолданғамыз.

Осы нүктедегі функцияның мәні  $f(x_1, x_2) = 3000 \cdot 30 + 2000 \cdot 0 = 90000$

Екі нүктеде функцияның мәні бірдей болып шықты, себебі  $BC$  кесіндісі деңгей сызықтықтарға параллель.  $BC$  кесіндісінің кез-келген нүктесі мақсат функцияның оңтайлы шешімі болады. Есептің шешімі 30 жүк көліктері мен 0 шағын автобустарды шығарса апта сайынғы өнім сатудан түсетін табыс ең жоғары болады,  $f(x_1, x_2) = 90000$  \$.

Қорытынды: Егер деңгей сызығына тиісті түзу өзінің қозғалысы кезінде МШО шықпайтын болса, онда  $f(x_1, x_2)$  функциясының минимумы (максимумы) жоқ.

Егер мақсатты функция деңгейінің сызығы өзінің қозғалысы кезінде МШО шеткі нүктесінен өтсе, онда ол  $f(x_1, x_2)$  функцияның максимум нүктесі болып табылады.

Егер мақсатты функция деңгейінің сызығы мақсат функцияның оңтайлы шешімі табылатын есептің шектеуіне параллель болса, онда мақсат функцияның оңтайлы шешімі екі оңтайлы бұрыштық нүктелердің арасында жатқан сол шектеудің кез-келген нүктесінде табылады, және тиісінше сол нүктелердің кез-келгені сызықтық бағдарламалау есебінің оңтайлы шешімі болып табылады.

2. Берілген есепті MS Excel көмегімен шешу.

$$f(x_1, x_2) = 3000x_1 + 2000x_2 \rightarrow \max \quad (1)$$

$$\begin{cases} 6x_1 + 4x_2 \leq 180 \\ 3x_1 + 3x_2 \leq 120 \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0 \end{cases} \quad (1) \quad (2)$$

Excel-де берілген сандық мәліметтерді енгіземіз (сурет 3):

	A	B	C	D	E	F	G	M	I	J	K	L	M	N	O
1															
2		Жүк көшкірлері	Шығын автобустар		Максат функциясы										
3		z, y мәндері													
4		Максат функциясының коэффициенттері	3000	2000											
5															
6															
7					Шектеулер										
8					сол жақ	оң жақ									
9	I ауырт	0	4	0	180										
10	II ауырт	3	3	0	120										
11															

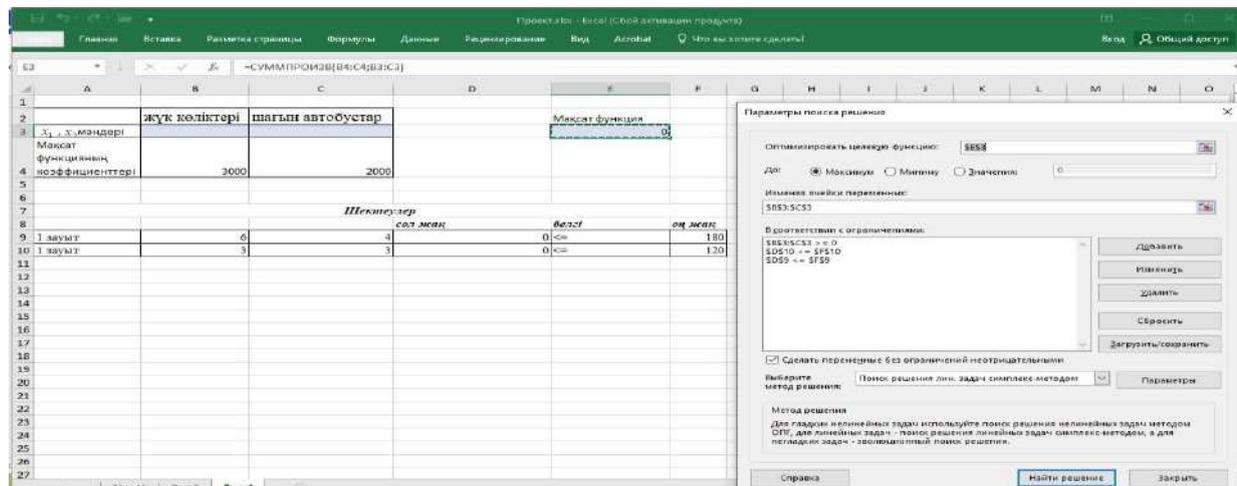
Сурет 3-Бастапқы кесте

Қызыл түспен белгіленген бос ұяшықтарға (E3) мақсатты функцияның мәндері және (D9-D10) (2) теңсіздіктер жүйесінің сол жақ бөліктері) сандар арасындағы байланыстар мен қатынастарды көрсететін формулаларды енгізу қажет. B3-C3 ұяшықтарын өзгерту арқылы (біздің модельде бұл өзгертілетін айнымалылар) MS Excel "шешімді іздеу-Поиск решения" қондырмасының көмегімен мақсатты функцияның оңтайлы мәні табылады. E3 және D9-D10 ұяшықтарына «СУММПРОИЗВ» функциясы арқылы (1) мақсатты функцияның оң жағына және (2) шектеулер жүйесінің сол жағына сәйкес формулалар енгізіледі. E3 ұяшығына көбейтілетін векторлардың адрестері ретінде біз B4-C4 нысаналы функциясының коэффициенттер жолының адресін және B3-C3 айнымалыларының мәндерінің адресін, ал D9 ұяшығында көбейтілетін векторлардың адрестері ретінде B9-C9 (2) шектеу жүйесінің бірінші теңсіздігінің коэффициенттер жолының адресін және B3-C3 айнымалыларының мәндерінің адресін енгіземіз. C9 ұяшығында, сол сияқты, (2) шектеу жүйесінің екінші теңсіздік коэффициенттерінің жол адресі B10-C10 және B3-C3 айнымалыларының мәндерінің адресі енгізілінеді (Сурет-4).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1															
2		Жүк көшкірлері	Шығын автобустар		Максат функциясы										
3		z, y мәндері													
4		Максат функциясының коэффициенттері	3000	2000											
5															
6															
7					Шектеулер										
8					сол жақ	оң жақ									
9	I ауырт	0	4	0	180										
10	II ауырт	3	3	0	120										
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															

Сурет 4- Шектеулерді есептеу формуласын енгізу терезесі

Содан кейін " Сервис "мәзірінен " Поиск решения " тармағын таңдап, шыққан терезені толтырғаннан кейін, бұл терезе келесідей болады(сурет. 5)



Сурет 5- «Шешімді іздеу-Поиск решения» терезесі

«Найти решение» батырмасы басылады, сосын шешімдердің нәтижесі терезесі шығады, одан «ОК» батырмасы басылады, нәтижесінде есептің шешімі алынды.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2		жүк көліктері	шағын автобустар		Мақсат функция					
3	$x_1, x_2$ мәндері	30	0		90000					
4	Мақсат функцияның коэффициенттері	3000	2000							
5										
6										
7										
8				Шектеулер						
				сол жақ	белгі	оң жақ				
9	1 зауыт	6	4	180	<=	180				
10	1 зауыт	3	3	90	<=	120				

Сурет 5- Есептің шешімі

B3:C3 ұяшықтарында шыққан сандар  $x_1, x_2$  белгісідердің мәндері болады  $f(x_1, x_2) = 90000$ , графикалық әдіспен шығарғандағы есептің жауабы алынды.

### ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Богданова Е.Л. Оптимизация в проектном менеджменте: линейное программирование: учебное пособие / Е.Л. Богданова, К.А. Соловейчик, К.Г. Аркина. – СПб.: Университет ИТМО, 2017 – 165 с.
2. Костин, В.Н. К 72 Методы оптимизации в примерах и задачах: учебное пособие / В.Н. Костин, А.Н. Калинин. – Оренбург: ОГУ, 2008. – 153 с.

**УДК 625.76.08:625.768.5**

Молдаханов Б.А. (PhD, ВКТУ), Дудкин В.М. (аспирант 1 курса, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара РФ)

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТЬ НОВОЙ КОММУНАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ**

***Аннотация.** В статье, на основе анализа рабочего процесса фрезерно-роторного снегоочистителя определены оптимальные условия транспортировки снега, позволяющие минимизировать энергоемкость процесса разгона снега метательным аппаратом. При оценке технического уровня разработанного снегоочистителя проведен сравнительный анализ наиболее весомых параметров, характеризующих процесс работы машины. Критериями для оценки эффективности служили следующие показатели: энергоемкость процесса снегоочистки, как показатель рациональности использования мощности силовой установки снегоочистителя; материалоемкость машины, как показатель рациональности конструктивной схемы снегоочистителя; обобщенный показатель PNG, позволяющий оценить повышение эффективности системы.*

***Ключевые слова:** экономическая эффективность, математическое моделирование, снегоочиститель, лопастной метатель, материалоемкость машины, энергозатраты, энергоемкость, производительность.*

Безопасности и удобству зимнего движения на автомагистралях в достаточной степени может способствовать оснащенность дорожно-эксплуатационных организаций машинами и новым оборудованием для зимней очистки дорог и магистралей от снега, а также способность этих машин к высокопроизводительной работе в экстренных и аномальных ситуациях. Предугадать заранее погодные катаклизмы очень трудно и зачастую дорожные службы стараются выправить ситуацию за счет имеющейся собственной техники, которая, к сожалению, не всегда справляется с объемами выпавшего снега и работает с большими энергозатратами.

Таким образом, фрезерно-роторные снегоочистители более универсальны по сравнению с другими видами снегоочистительных машин, а изучение фрезерного винтового питателя (далее винтового питателя) и его рабочего процесса с целью создания рациональных конструкций снегоочистителей такого типа в настоящее время является актуальной задачей.

Расчет ожидаемой технико-экономической эффективности внедрения в промышленность винтового питателя фрезерно-роторного снегоочистителя, оборудованного ускорителем лопастного типа, проведен с использованием основных положений по определению экономической эффективности системы «наука — производство».

В качестве базовой техники при технико-экономических расчетах принимаем характеристики имеющегося в наличии на предприятии «Өскемен-Тазалық» и поэтому удобного для предметно-действительных расчетов фрезерно-роторного снегоочистителя Амкодор 9211 (СНФ-200) традиционной конструкции на базе трактора МТЗ-82.1.

Эксплуатационная производительность за год находится по зависимости:

$$V_{ГЭ} = V_{ЭГ} \cdot T_{Г} \cdot K_{пр}, \quad \text{т}, \quad (1)$$

где  $V_{ЭГ}$  – производительность эксплуатационная за час, т/ч;

$T_{Г}$  – фактическое рабочее время техники, маш-ч.;

$K_{пр}$  – поправка на учет простоев,  $K_{пр}=0,75$ .

Часовая производительность

$$b_{Эч} = K_{Г} \cdot b_{Тч}, \quad (2)$$

где  $b_{Тч}$  – часовая техническая производительность, т/ч;

$K_{Г}$  – переходный коэффициент,  $K_{Г}=0,5$ .

В соответствии с протоколом замера производительности снегоочистителя СНФ-200 средняя техническая производительность  $b'_{Тч}=1130$  т/ч.

Согласно экспериментальным исследованиям:

$$V''_{Тч} = V'_{Тч} \cdot \beta''_0 \quad (3)$$

$$V'''_{Тч} = V'_{Тч} \cdot \beta'''_0$$

где  $\beta''_0$  – коэффициент изменения производительности при изменении угла подъема винтовой линии питателя ФРС;

$\beta'''_0$  – коэффициент изменения производительности при установке лопастного ускорителя питателя ФРС.

При расчете экономического эффекта определим приведенные затраты:

$$Z = U + Z_{К} \cdot (P + E_{Н}) + E_{Н} \cdot K_{Э}, \quad \text{тг/год}, \quad (4)$$

где  $U$  – годовые текущие затраты, тг;

$Z_{К}$  – капитальные затраты, тг;

$P$  – доля отчислений на реновацию от капитальных затрат,

$P_1=0,081\%$ ;  $P_2=0,11\%$ .

$E_{Н}$  – нормативный коэффициент эффективности,  $E_{Н}=0,15$ ;

$K_{Э}$  – сопутствующие капитальные вложения,  $K_{Э}=0$ .

Удельные приведенные затраты

$$Z_y = \frac{Z}{V_{ГЭ}} \cdot 100 \quad \text{тг/год}, \quad (5)$$

Экономический эффект за срок службы НТ

$$\mathcal{E}_{НХ} = (Z'_y - Z''_y) \cdot V'' \cdot F \cdot A'' \quad (6)$$

где  $F$  – коэффициент суммирования эффектов за срок службы техники;

$A''$  - выпуск машин на второй год производства, шт.

Экономический эффект от применения одной машины в течение года

$$\mathcal{E}_r = (Z_y'' - Z_y') \cdot B'' \quad (7)$$

Для сравнения с другими снегоочистителями данного типоразмера по приведенной выше методике были определены удельные приведенные затраты и сравнительный экономический эффект для снегоочистителей с различными конструкциями питателей. Результаты расчетов приведены в таблице 1. На рисунке 1 представлены зависимости удельных приведенных затрат и технической производительности с различными конструктивными исполнениями винтовых питателей.

Из приведенных графиков видно, что  $Z_{уд}^{28} > Z_{уд}^{18} > Z_{уд}^{18+пит}$ , т.е. при фиксированной высоте разрабатываемого снега наиболее экономичным является снегоочиститель с питателем, снабженным лопастным ускорителем, так как рост производительности данного снегоочистителя весомее на 10-20%, чем капитальные затраты (~ 5%) при эксплуатации снегоочистителей с винтовым питателем без каких-либо ускорителей. Причем  $Z_{уд}^{18}$  также ниже  $Z_{уд}^{28}$ , так как при прочих равных показателях его производительность выше, чем у снегоочистителя с питателем, имеющем угол подъема винтовой линии  $\alpha = 28^\circ$ .

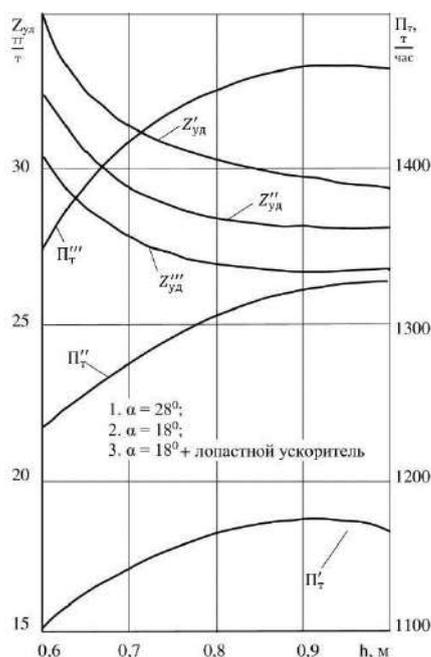


Рисунок 1 – Зависимость удельных приведенных затрат  $Z_{уд}$  и производительности  $\Pi_t$  от высоты разрабатываемого материала  $h$  при различных конструкциях питателя

По мере увеличения высоты разрабатываемого снега наблюдается повышение технической производительности  $\Pi_t$ , вследствие того, что на винтовой питатель в единицу времени поступает больше снежной массы, но при  $h > 0,9$  м

наблюдается падение  $\Pi_T^{28}$  за счет перебрасывающей способности нерациональной конструкции питателя, а для снегоочистителя с питателем, оборудованным лопастным ускорителем, наблюдается некоторое снижение производительности  $\Pi_T^{18+\text{уск}}$ , так как уменьшается на 4-5% рабочая скорость при тех же условиях работы за счет увеличения лопастным ускорителем грузочной способности ротора-метателя.

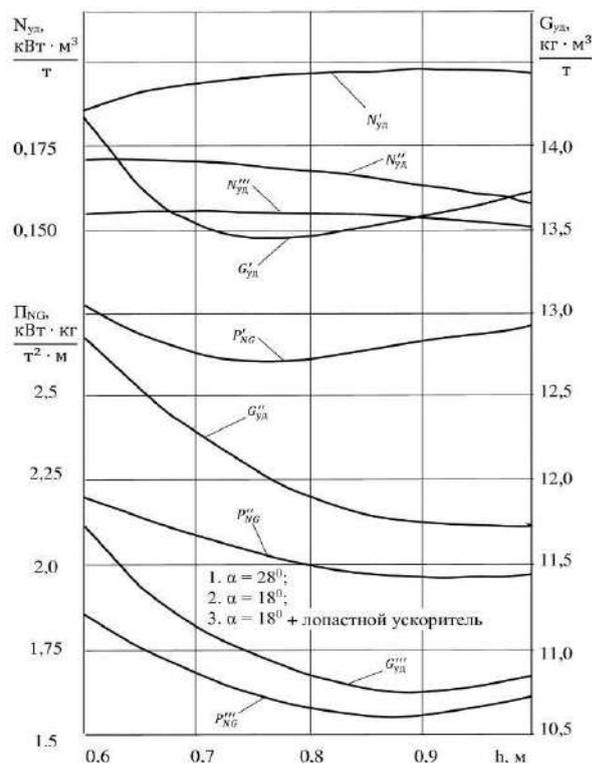


Рисунок 2 – Зависимость удельных энергоемкости  $N_{уд}$ , материалоемкости  $G_{уд}$  от высоты разрабатываемого материала при различных конструкциях питателя

При оценке технического уровня разработанного снегоочистителя целесообразно провести сравнительный анализ наиболее весомых параметров, характеризующих процесс работы данной машины.

Критериями для оценки эффективности служили следующие показатели:

- энергоемкость процесса снегоочистки, как показатель рациональности использования мощности силовой установки снегоочистителя, имеющего ту или иную конструкцию питателя;
- материалоемкость машины, как показатель рациональности конструктивной схемы снегоочистителя;
- обобщенный показатель  $\Pi_{NG}$  (по Баловневу В.И.), позволяющий оценить повышение эффективности системы.

Графическая интерпретация результатов расчета зависимости удельных энергоемкости  $N_{уд}$ , материалоемкости  $G_{уд}$  и обобщенного показателя  $\Pi_{NG}$  от высоты разрабатываемого снега при различных конструкциях питателей приведена на рисунке 2.

Таблица 1 – Результаты расчета технико-экономической эффективности внедрения в промышленность фрезерно-роторного снегоочистителя на базе К-703МА-ОС-2 с различными конструкциями питателей

№ п/п	Наименование показателя	Условн. обозн.	Един. изм.	Значение показателей		
				ОС-2'	ОСМ-2''	ОС-2'''
1	Капитальные затраты	Э <sub>к</sub>	тенге	270574	270574	284094
2	Годовая эксплуатационная производительность	В	т	444090	494290	535353
3	Годовые текущие затраты	И	тенге	48670	49232	50112
4	Экономический эффект от применения одной машины в течение года	Э <sub>г</sub>	тенге	-	13164	19410
5	Производственный экономический эффект за срок службы новой техники	Э <sub>произ.</sub>	тенге	-	1331249	2053628
6	Годовая экономия по затратам труда	ΔR	чел.	-	0,085	0.12
7	Годовая экономия по затратам материалов	ΔG	кг	-	277	498

**Заключение:** Результаты расчета показывает, что исследуемая конструкция снегоочистителя с лопастным ускорителем винтового питателя обладает существенными техническими преимуществами, обуславливающими экономическую эффективность использования данной машины, а, следовательно, у результатов работы есть большой потенциал для их возможной коммерциализации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. M. Doudkin, A. Kim, B. Moldakhanov, G. Kustarev, N. Andryukhov, V. Rogovsky, Y. Doudkina. Experimental Studies of the Physical Model of the Milling-Rotary Snow Cleaner. International Review of Mechanical Engineering, Vol. 15, N. 9, 2021. 453-463. <https://doi.org/10.15866/ireme.v15i9.20952>
2. M. Doudkin, A. Kim, B. Moldakhanov. Determination of Forces in the Working Unit of the Milling-Rotary Snow Cleaner. International Review of Mechanical Engineering (I.R.E.M.E.), Vol. 15, N.2, 2021. 96-105. <https://doi.org/10.15866/ireme.v15i2.20859>
3. Bekbolat Moldakhanov, Mikhail Doudkin, Alina Kim, Valery Rogovsky, Nikita Andryukhov. Experimental study of the snow removal process by helical blade of the milling feeder. Journal of Applied Engineering Science, Vol. 20, No. 4, 2022.
4. Егоров А.Л., Федотов В.В., Федотова Е.А. Обоснование рабочих параметров снегоуборочной машины с уплотняющим рабочим органом. Современные проблемы науки и образования. 2013, №1, С.103.

**УДК 629.113:620.17**

Муканов Т.О. (24-DГТТ-3, ВКТУ), Муздыбаева А.С. (к.т.н., профессор ВКТУ),  
M.Kot (PhD, профессор AGH University of Krakow)

**ИССЛЕДОВАНИЕ АСПЕКТОВ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ  
ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ**

***Аннотация.** В процессе торможения машины участвуют многочисленные факторы. В данном случае исследование сосредоточено на роли, которую играют тормозные механизмы, осуществляющие процесс замедления машины, ее компонентов и составных элементов. Исследование посвящено изучению вопросов износостойкости таких элементов, которые неразрывно зависят от реальных условий эксплуатации транспортной техники. Авторами проведены выбор объекта исследования, изучение особенностей конструкции, анализ изменения характера рабочих поверхностей тормозного барабана, выполнен анализ элементного состава материала объекта исследования.*

***Ключевые слова:** грузовой автомобиль КамАЗ 65117; тормозные механизмы; тормозной барабан; износостойкость; изнашивание; тормозная система*

Тормоза играют важную роль в обеспечении безопасности движения автомобиля. Тормозные механизмы служат для принудительного замедления и остановки указанных составных частей некоторой динамической системы. Принцип работы барабанных тормозных механизмов основан на силах трения, которые возникают при контакте барабанов (шкивов) с активными элементами. В ходе диссертационного исследования был собран первичный материал о показателях работоспособности объекта транспортной техники на примере грузового автомобиля (рисунок 1): КАМАЗ 65117 (термобудка), гос номер 582СВ16, пробег 557747 км. Наблюдения проводились на базе ТОО «Эмиль». Количество объектов наблюдения - 7 автомобилей данной марки, модели. Что удовлетворяет требованиям достоверности по условиям выборки.



Рисунок 1 – Внешний вид исследуемого грузового автомобиля КамАЗ 65117

КамАЗ-65117 — передовой 3-осный большегрузный бортовой автомобиль, производимый Камским автомобильным заводом. Вне зависимости от модификации КамАЗ-65117 оборудован антиблокировочной системой и имеет колесную формулу шесть на четыре. Узлы, механизмы и детали модели КамАЗа-65117 созданы из резинометаллических материалов с высокой надежностью крепления и износостойкостью. Грузовик получил систему ABS, обеспечившую дополнительную защиту. Тормозные камеры автомобиля увеличились, а стандартные суппорты были заменены литыми аналогами. Тормозная система КамАЗ-65117 осталась практически без изменений: Привод — пневматический, 14-сантиметровые колодки с площадью в 6300 кв.см; 40-сантиметровые тормозные барабаны; пневматический привод.

В ходе анализа особое внимание было уделено показателям работоспособности элементов тормозной системы. Барабанные колодочные тормозные механизмы используют на грузовых автомобилях, независимо от их грузоподъемности [1-2]. Любой грузовой автомобиль обязательно имеет тормозную систему, в которой главными узлами являются колодки. Они контактируют с дисками или тормозными барабанами. Последние крепятся на ступице (рисунок 2). Все геометрические размеры зависят от требуемого коэффициента трения, поэтому всегда надо учитывать шероховатость барабана, материал колодок или других технологические характеристики так, чтобы это значение было стабильным, кроме того, пара должна обеспечить достаточную прочность, термостойкость и износостойкость и, конечно, все эти меры будут стремиться к экономической целесообразности.

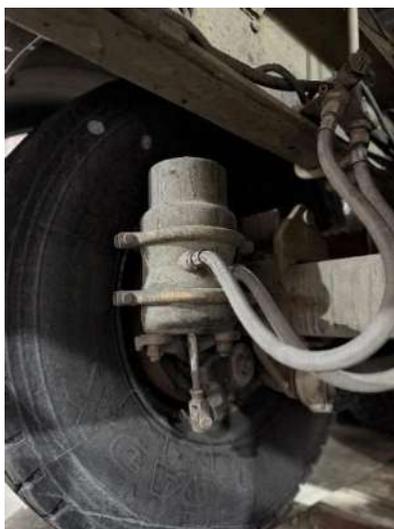


Рисунок 2 – Общий вид размещения тормозных элементов

Сами колодки ставятся на кронштейны, к которым прикреплены фрикционные накладки. Верхние ее части соединяются пружиной, которая во время давления на педаль тормоза растягивается, а после сжимается. Благодаря этому выполняется торможение (рисунок 3).



Рисунок 3 – Состояние фрикционных накладок и тормозного барабана

На конструкцию машин и их детали действуют внешние и внутренние факторы. К внешним факторам относят климатические условия окружающей среды, дорожные условия, характер использования по назначению, нагрузочные режимы, качество технического содержания в процессе эксплуатации. К внутренним факторам относят трение, изнашивание, деформация, усталость, старение. Под их воздействием происходит изменение физико-химических и механических свойств деталей и материалов (разупрочнение, снижение упругости, твердости, износостойкости). Это приводит к изменению характера рабочих поверхностей деталей, накопление которых вызывает изменения параметров рабочих процессов и режимов в сопряжениях (рисунок 4). При превышении допустимых значений параметров возникают отказы.



Рисунок 4 – Анализ изменения характера рабочих поверхностей тормозного барабана

Перспективность проработки заявленной тематики обусловлена перспективными техническими характеристиками рабочих поверхностей деталей, получаемыми после повышения износостойкости, которая формирует высокую твердость на требуемую глубину [2], повышает усталостную прочность детали, и так же качество поверхности [3].

Материалы и методы исследования. Комплекс физико-механических свойств, определяющих износостойкость и долговечность, как отдельных поверхностей, так и сопряжений и узлов в целом, зависит от состава и структуры исследуемого материала, из которого изготовлены элементы и узлы рассматриваемого объекта. Авторами публикации был проведен анализ в Центре превосходства VERITAS, лаборатории аналитических исследований сектора электронной микроскопии и дифрактометрии на испытательном оборудовании Bruker S1 TITAN. Достоинства: быстрая скорость анализа и исключительная точность (рисунок 5).

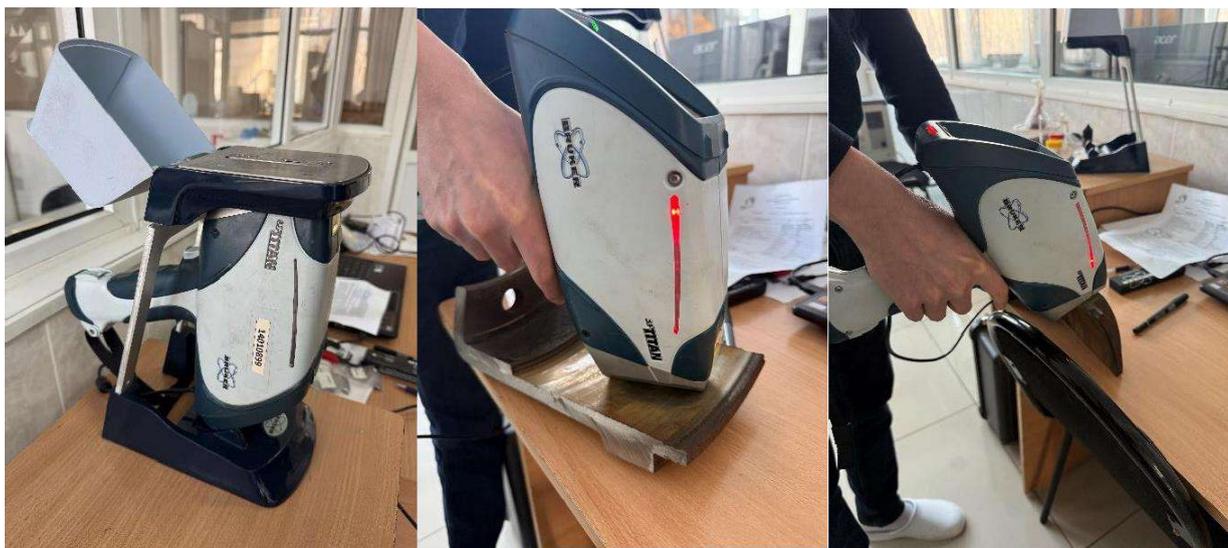


Рисунок 5 – Проведение анализа на портативном рентгенофлуоресцентном (XRF) анализаторе металлов и сплавов Bruker S1 TITAN

При помощи указанного оборудования был проведен анализ элементного состава исследуемого материала детали (рисунок 6). Такой химический состав характерен для серого чугуна с включениями легирующих элементов. Высокое содержание железа и кремния, а также наличие марганца и хрома, указывают на то, что материал обладает повышенной износостойкостью, теплопроводностью и прочностью, что важно для работы тормозного барабана. Чугун марки СЧ (серый чугун) или легированный чугун, используется в тяжелой автомобильной технике, включая КАМАЗ. Обычно указанная марка чугуна по ГОСТ 1412-85: СЧ20 (200 МПа прочность на разрыв) – если материал имеет среднюю прочность либо СЧ25 (250 МПа прочность на разрыв) – если требуется повышенная износостойкость. Оптимальная поверхность должна быть достаточно твердой, иметь сжимающие остаточные напряжения, мелкодисперсную структуру, округлую, сглаженную форму микронеровностей с большой опорной поверхностью [4].

Разрушение деталей при различных видах изнашивания начинается именно с поверхности. Поверхность детали обладает пониженной прочностью не только потому, что она несёт большое число различных концентраторов

напряжений (результат воздействия инструмента на поверхность в процессе отделочной операции) или испытывает влияние дополнительных напряжений, но также и потому, что она является границей металла, нарушающей цельность его кристаллических зерен.



Рисунок 6 – Результаты анализа элементного состава исследуемого материала тормозного барабана

Многочисленными исследованиями [5–6], установлено, что шероховатость поверхности исходного микрорельефа изменяется при эксплуатации и происходит процесс разрушения поверхностных слоев в период нормального износа. По правилам, такая шероховатость может стать более грубой или более гладкой, чем исходная шероховатость.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Мехия Рамос, Б. Х. Повышение долговечности тормозных барабанов электромеханической обработкой / Б. Х. Мехия Рамос // Вестник евразийской науки. — 2022. — Т. 14. — № 2
- Борисов С.М. Фрикционные муфты и тормоза строительных и дорожных машин / С.М. Борисов. М. Машиностроение, 1973. — 167 с.
- Буше, Н.А. Совместимость трущихся поверхностей. / Н.А. Буше, В.В. Копытько — М.: Наука, 1981. — 127 с.
- Фёдоров С.К., Иванова Ю.С., Лашуков М.А., Мехия Рамос Б.Х. Электромеханическое восстановление посадочных поверхностей валов под подшипники качения // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2019. N 4(92). С. 29–34. DOI: 10.34677/1728-7936-2019-4-29-34.
- Горячева И.Г. Механика фрикционного взаимодействия / И.Г. Горячева — М.: Наука, 2001. — 478 с.
- Мазур Ю.А., Павлов С.А. Перспективы развития тормозных систем грузовых автомобилей. Международный научный журнал «ВЕСТНИК НАУКИ» № 3 (72) Том 1. Март 2024 г. С. 643-659

**УДК 51-7**

Муратханов Е. Д.(ШҚО ББ "Облыстық математика, физика, информатика саласындағы дарынды балаларға арналған мамандандырылған мектеп-лицейі" КММ), Серіктаева А.С. (оқытушы, ШҚТУ)

**АУА РАЙЫН БОЛЖАУДА МАТЕМАТИКАЛЫҚ ӘДІСТЕРДІ ҚОЛДАНУ**

*Аңдатпа.* Қоғам дамуының қазіргі кезеңінде метеорология адам өмірінде және экономиканың әртүрлі салаларының жұмысында шешуші рөл атқарады. Ауа райын болжау ғылым мен технология үшін ең маңызды міндеттердің бірі болып табылады. Ауа райын болжау табиғаттың күрделі құбылыстарын талдауды талап етеді. Бұл зерттеуде температураны болжау үшін регрессиялық әдіс қолданылды. Тәуелсіз айнымалылар ретінде атмосфералық қысым, бұлттылық, тәуліктің уақыты және жел жылдамдығы алынды. Жиналған деректер негізінде көпфакторлы регрессиялық модель құрылып, оның болжамдық қабілеті бағаланды. Алынған нәтижелер температура өзгерістерін жоғары дәлдікпен болжауға мүмкіндік беріп, метеорологиялық талдаулардың тиімділігін арттыруға ықпал етеді.

*Түйін сөздер:* метеорология, ауа райы, математикалық әдіс, регрессия, корреляция.

Ең алдымен ауа райын болжаудың әдістеріне тоқталайық. Ауа райын ғылыми болжаудың үш әдісін бөліп көрсетеді: синоптикалық әдіс, сандық (гидродинамикалық) әдіс және статистикалық [1].

Бұдан да бөлек қосымша зерттеу әдістері қолданылуы мүмкін. Ауа райын талдау және болжау үшін метеорологтар математикалық әдістердің кең спектрін қолданады. Сандық әдістің ішінен математикалық әдісті бөліп көрсетуге болады. Метеорологиядағы негізгі математикалық әдістер: статистикалық талдау, регрессиялық талдау, дифференциалдық талдау, сандық модельдеу.

Осы әдістердің ішінде регрессиялық талдауды қарастырайық. Регрессиялық талдауды қолдана отырып, сіз таңдалған айнымалылар арасындағы қатынастарды, сондай-ақ модельге негізделген болжамды мәндерді модельдей аласыз. Біз қарапайым регрессия болып табылатын сызықты регрессияны қолданамыз [2]. Сызықтық регрессия- ауа райын болжау үшін жиі қолданылатын деректерді талдаудың қарапайым және танымал әдістерінің бірі. Бұл тәуелді айнымалы (мысалы, температура) мен бір немесе бірнеше тәуелсіз айнымалылар (мысалы, атмосфералық қысым, бұлттылық, желдің жылдамдығы және тәулік уақыты) арасындағы байланысты орнатуға көмектеседі.

Біз зерттеу жұмысымызда Өскемен қаласының 2024 жылдағы әр күн сайынғы метеорологиялық деректерін қолданып деректер базасын құрдық. Ол деректерге мыналарды қамтиды: температура (сандық айнымалы); атмосфералық қысым (сандық айнымалы); бұлттылық (сандық айнымалы);

жел жылдамдығы (сандық айнымалы); күндіз (бинарлық айнымалы); көктем (бинарлық айнымалы); жаз (бинарлық айнымалы); күз (бинарлық айнымалы).

Барлық деректерді бір базаға жинап, деректер базасындағы параметрлерді сандық, бинарлық форматқа келтірдік. Жыл мезгелдерінен көктем, жаз, күз мезгілдері базаға енгізіп, қысты базалық жыл мезгілі ретінде таңдап алдық. Ал тәулік уақыты үшін бинарлық кодтауды қолдандық. Күндізгі уақытты «1», ал түнгі уақытты «0» арқылы белгіледік.

Ең алдымен сызықтық регрессия тендеуін тұрғызбас бұрын, деректерге корреляциялық талдау жүргізейік. Корреляциялық талдау- екі немесе одан да көп кездейсоқ шамалар арасындағы тәуелділікті зерттейтін математикалық статистика бөлімі [3]. Сурет 1- де корреляциялық талдау нәтижесі ұсынылған.

	Температура	Қысым, Па	Бұлттылық %	Жел жылдамдығы, м/с	Ылғалдылық, %	Күндіз	Көктем	Жаз	Күз
Температура	1								
Қысым, Па	-0,76879	1							
Бұлттылық %	-0,17116	0,06051	1						
Жел жылдамдығы, м/с	0,17788	-0,11353	0,27341	1					
Ылғалдылық, %	-0,41233	0,15785	0,23162	-0,33037	1				
Күндіз	0,26024	0,01252	0,0149	0,37368	-0,54738	1			
Көктем	-0,00747	0,0556	-0,12797	0,13995	-0,22619	0	1		
Жаз	0,60738	-0,59633	-0,24236	-0,09862	-0,15976	0	-0,337	1	
Күз	0,08084	0,03596	0,09575	-0,07005	0,16518	0	-0,33455	-0,33455	1

Сурет 1- Корреляциялық талдау

Корреляция коэффициентінің маңыздылығын тексеру керек. Егер корреляция маңызды болса, бұл айнымалылар арасында статистикалық расталған байланыс бар екенін білдіреді. Егер корреляция маңызды болмаса, бұл айнымалылар арасындағы байланыс кездейсоқ болуы мүмкін екенін көрсетеді. Корреляция коэффициентінің маңыздылығын тексеру нөлдік  $H_0$  гипотезасын тұжырымдаудан басталады. Нөлдік гипотеза ( $H_0$ ) – корреляция нөлге тең. Бұл айнымалылар арасында байланыс жоқ дегенді білдіреді. Балама гипотеза ( $H_1$ ) - корреляция нөлге тең емес.

Маңыздылығын тексеру кезінде зерттеуші  $\alpha$  маңыздылық деңгейін белгілейді. Маңыздылық деңгейі нөлдік  $H_0$  гипотезасының шын мәнінде дұрыс болған кезде қабылданбау ықтималдығын білдіреді.

Корреляция коэффициенттерінің маңыздылық деңгейін тексеру үшін еркіндік деңгейі  $df = n - m - 1 = 730 - 8 - 1 = 721$  болатын Стюдент үлестіріміне бағынатын t-критерийі (1) қолданылады [4]:

$$t = \frac{r\sqrt{n-m-1}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (1)$$

мұндағы,  $r$  – Пирсонның корреляция коэффициенті,  $n$  – бақылаулар саны,  $m$  – байланыс (факторлық айнымалылар) саны.

Маңыздылық деңгейін  $\alpha = 0,05$  деп алып, берілген маңыздылық деңгейі үшін Стьюденттің үлестіру кестесінен  $t_{\text{крит.}}$  критикалық мәнді табамыз. Егер  $|t| > t_{\text{крит.}}$  болса, онда тәуелді және тәуелсіз айнымалы арасындағы байланыс маңызды дегенді білдіреді. Егер  $|t| \leq t_{\text{крит.}}$  болса,  $H_0$  гипотезасы ақиқат. Енді Стьюдент кестесінен критикалық мәнді анықтайық (Кесте 1).

Кесте 1 – Стьюдент үлестірімі

df	p		
	0.05	0.01	0.001
1	12.70	63.65	636.61
2	4.303	3.925	31.602
3	3.182	5.841	12.623
4	2.776	4.604	8.610
5	2.571	4.032	6.869
6	2.447	3.707	5.959
...	...	...	...
720	1.96326	2.582	3.30409
721	1.96325	2.583	3.304

Сонда критикалық мән мынаған тең болады.  $t_{\text{крит.}} = 1,96325$ .

t-статистика үшін p-мәнін есептеу керек. Егер  $p < \alpha$  болса корреляция маңызды. Ал егер  $p \geq \alpha$  болса корреляция маңызды емес.

t- статистика мен p-мәнді Python тіліндегі Google Colab бағдарламасы көмегімен есептейміз. Нәтижесін кесте 2- ден көруге болады:

Кесте 2 - t- статистика мен p-мән нәтижелері

Айнымалы 1	Айнымалы 2	Корреляция	t-статистика	p-мән
Температура	Қысым	-0,7688	-32,28	0
Температура	Бұлттылық	-0,1712	-4,665	$3,68 * 10^{-6}$
Температура	Жел жылдамдығы	0,1779	4,854	$1,486 * 10^{-6}$
Температура	Ылғалдылық	-0,4123	-12,15	0
Температура	Күндіз	0,2602	7,237	$1,1752 * 10^{-12}$
Температура	Көктем	-0,007	-0,2	$8,410 * 10^{-1}$
Температура	Жаз	0,60738	20,529	0
Температура	Күз	0,0808	2,178	$2,974 * 10^{-2}$

Алынған нәтижелер негізінде келесі қорытындыларды жасауға болады:

Температура мен қысым арасында күшті теріс корреляция бар (-0,7688), бұл қысымның жоғарылауымен температура төмендейтінін көрсетеді. Бұл қатынас статистикалық маңызды ( $p = 0$ ).  $|t| > t_{\text{крит.}}$  шарты да орындалып тұр.

Ылғалдылық температурамен де теріс корреляцияға ие (-0,4123), яғни жоғары ылғалдылық төмен температурамен байланысты. Есептеулер нәтижесінен бұл корреляция статистикалық маңызды болып табылатындығы шығады.

Бұлттылық температурамен әлсіз корреляцияланады (-0,1712), бірақ есептеулер әсер статистикалық тұрғыдан маңызды екенін көрсетті ( $p \approx 3,68 \times 10^{-6}$ ).

Температура мен жел жылдамдығы арасындағы корреляция оң (0,1779), бірақ әлсіз. Алайда,  $p$ -мәні ( $1,486 \times 10^{-6}$ ) статистикалық маңыздылығын көрсетеді.

Талдау нәтижелері күндізгі уақытта температура түнге қарағанда жоғары болатынын тағы да растап тұр ( $r = 0,2602$ ,  $p \approx 1,1752 \times 10^{-12}$ ).

Жаз температураға ең үлкен әсер етеді ( $r = 0,60738$ ,  $p = 0$ ), Бұл жылы мезгілде жоғары температураның күтілетінін растайды. Күздің әлсіз оң корреляциясы бар ( $r = 0,08$ ,  $p = 0,02974$ ). Көктем айнымалысы статистикалық маңызды емес деген нәтиже көрсетіп тұр. Себебі  $r = -0,007$ ,  $p \approx 0,841$ . Бірақ  $t$ -статистика  $|-0,2| > 1,96325$  болып тұр.

Келесі регрессиялық талдау жасау барысында деректер базасындағы ешқандай айнымалы алынып тасталмайды. Себебі барлық айнымалылар температураға әсер етеді. Сонымен қоса корреляциялық талдау барысында айнымалылар статистикалық маңызды болып саналды. Енді корреляциялық талдау нәтижесінде сызықтық регрессия құрамыз. Регрессиялық талдау нәтижесі сурет 2-де көрсетілген.

Регрессионная статистика								
Множественный R	0,909372							
R-квадрат	0,826958							
Нормированный R-квад	0,825038							
Стандартная ошибка	5,887185							
Наблюдения	730							
Дисперсионный анализ								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ачимость F</i>			
Регрессия	8	119421,6	14927,7	430,7026	1E-268			
Остаток	721	24989,1	34,65894					
Итого	729	144410,7						
	<i>Коэффи</i>	<i>Станда</i>	<i>t-</i>	<i>P-</i>	<i>Нижние</i>	<i>Верхние</i>	<i>Нижние</i>	<i>Верхние</i>
	<i>циенты</i>	<i>ртная</i>	<i>статис</i>	<i>Значени</i>	<i>95%</i>	<i>95%</i>	<i>95,0%</i>	<i>95,0%</i>
		<i>ошибка</i>	<i>тика</i>	<i>е</i>				
Y-пересечение	568,2322	30,57033	18,5877	2,64E-63	508,2147	628,2497	508,2147	628,2497
Қысым, Па	-0,77364	0,04078	-18,9709	2,08E-65	-0,8537	-0,69358	-0,8537	-0,69358
Бұлттылық %	0,003836	0,006159	0,622825	0,533596	-0,00826	0,015928	-0,00826	0,015928
Жел жылдамдығы, м/с	0,541968	0,162029	3,344878	0,000866	0,223862	0,860073	0,223862	0,860073
Ылғалдылық, %	-0,0891	0,013361	-6,66871	5,14E-11	-0,11533	-0,06287	-0,11533	-0,06287
Күндіз	4,63413	0,554742	8,353661	3,39E-16	3,545027	5,723234	3,545027	5,723234
Көктем	10,36732	0,719114	14,4168	1,37E-41	8,955512	11,77913	8,955512	11,77913
Жаз	19,22803	0,927725	20,726	3,26E-75	17,40667	21,0494	17,40667	21,0494
Күз	13,92315	0,683511	20,37006	3,32E-73	12,58124	15,26506	12,58124	15,26506

Сурет 2- Регрессиялық талдау нәтижесі

Талдау нәтижесінен R-квадрат = 0,83. Бұл жақсы нәтиже. Коэффициент 1 ге жақындаған сайын модель жақсы құрылған дегенді білдіреді. Әр коэффициенттің  $p$ -мәні 0,01- ден кіші. Яғни 0-ге жақын сандар. Бұл барлық

коэффициент статистикалық маңызды дегенді білдіреді. Енді регрессия теңдеуін жазайық. Ол (2)- теңдеуде берілген.

$$y = 568,23 - 0,7736 * x_1 + 0.0038 * x_2 + 0,542 * x_3 - 0.089 * x_4 + 4,634 * x_5 + 10,367 * x_6 + 19.23 * x_7 + 13.92 * x_8$$

(2)

мұндағы,  $y$  - температура ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $x_1$  - атмосфералық қысым (Па),  $x_2$  - бұлттылық (%),  $x_3$  - жел жылдамдығы (м/с),  $x_4$  - ылғалдылық (%),  $x_5$  - тәулік уақыты (күндіз),  $x_6$  - жыл мезгілі (көктем),  $x_7$  - жыл мезгілі (жаз),  $x_8$  - жыл мезгілі (күз).

Регрессиялық теңдеу арқылы температураны болжауға болады. Егер атмосфералық қысым - 730 Па, аспан ашық, яғни бұлттылық - 0 %, жел жылдамдығы - 2 м/с, ылғалдылық - 50 %, күндіз, көктемде қанша градус болатындығын болжап көрейік:

$$y = 568,23 - 0,7736 * 730 + 0.0038 * 0 + 0,542 * 2 - 0.089 * 50 + 4,634 * 1 + 10,367 * 1 + 19.23 * 0 + 13.92 * 0 = 15$$

Демек, жоғарыдағы шарттар орындалса температура 15  $^{\circ}\text{C}$  болады деп болжайды. Бұл модельдің көмегімен атмосфералық қысым, бұлттылық, жел жылдамдығы және басқа факторларға сүйене отырып, ауа температурасының мәнін есептеуге болады.

Қорытындылай келе, регрессиялық модель ауа температурасын болжау құралы ретінде пайдалы, бірақ оны толыққанды метеорологиялық модель ретінде қарастыру үшін қосымша факторларды ескеру қажет. Температураға әсер ететін басқа да факторлар бар. Болашақта модельді жетілдіру үшін қосымша айнымалыларды енгізу, модель параметрлерін оңтайландыру және үлкен деректер жиынтығын пайдалану ұсынылады.

## ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Naked science сайты. URL: [https://naked-science.ru/article/nakedscience/mozhno-potochnee-kak#:~:text=\(17.02.2025\)](https://naked-science.ru/article/nakedscience/mozhno-potochnee-kak#:~:text=(17.02.2025))
2. ArcGIS платформасы. URL: <https://doc.arcgis.com/ru/insights/latest/analyze/regression-analysis.htm> (17.02.2025)
3. Samsonova, A. *Корреляционный анализ*. URL: <https://allasamsonova.ru/statistika/korreljacionnyj-analiz/> (17.02.2025)
4. 6Sigma.us. *Degrees of freedom in statistics*. URL: <https://www.6sigma.us/six-sigma-in-focus/df-statistics-degrees-of-freedom-in-statistics/> (17.02.2025)

УДК XX (622.7)

Нұртаза Ә. Д. (24-МОП-2з, ВКТУ), Әділқанова М. Ә. (PhD, ВКТУ)

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ МЕДНОЙ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ АКТОГАЙ

***Аннотация.** В статье рассмотрено усовершенствование технологии флотационного обогащения медной руды месторождения Актогай. Рассмотрены сырьевые характеристики руды, минерально-технологические особенности и особенности распределения меди в руде, а также проведён комплекс лабораторных исследований по оптимизации флотационного процесса. Особое внимание уделено выбору и дозированию реагентов, что позволяет повысить извлечение меди и обеспечить стабильность работы технологической схемы. Проведён технико-экономический анализ, подтверждающий перспективность разработанных методов для дальнейшего внедрения на обогатительных фабриках.*

***Ключевые слова:** флотация, медная руда, реагенты, технология обогащения, Актогай.*

Актуальность проблемы повышения эффективности флотационного обогащения медных руд обусловлена необходимостью извлечения ценных компонентов из труднообогащаемых сырьевых массивов месторождения Актогай. Разработка новых технологических схем и оптимизация реагентного режима позволяют не только увеличить извлечение меди, но и снизить затраты на переработку, что имеет как экономическое, так и экологическое значение.

Исследования, проведённые в рамках диссертационной работы, включают детальное изучение сырьевой базы месторождения. Охарактеризованы три основных зоны руд – окисленная, смешанная и первичная сульфидная. Особое внимание уделено анализу гранулометрического распределения, определению содержания меди, серы и железа по классам крупности, а также фазовому и дифрактометрическому анализу руды. Результаты подтвердили, что меди в руде присутствует преимущественно в форме первичных сульфидов, что диктует выбор технологических режимов флотации.

Рассмотрены основные этапы флотационного процесса:

- Подготовка сырья. Измельчение руды до необходимой фракции для оптимального контакта с реагентами.
- Выбор реагентного режима. Проведены исследования влияния коллекторов, вспенивателей и депрессантов на селективное извлечение меди.

Для повышения эффективности флотационного процесса проведены испытания различных реагентов:

- NaHS – традиционный депрессант меди и пирита.
- AERO® NR-7363 (Solvay) – инновационный реагент, улучшающий селективность флотации.

- AERO® NR-7362 – новый депрессант, снижающий примеси меди в молибденовом концентрате.

Гидросульфид натрия (NaHS) и фроттеры AERO® NR-7363 и AERO® NR-7362 широко применяются в процессе флотации при обогащении медных руд. Флотация является одним из основных методов разделения полезных минералов, таких как медь, от пустых пород. Важной задачей в этом процессе является повышение селективности извлечения меди, минимизация потерь и улучшение качества конечного концентрата.

Гидросульфид натрия (NaHS) в процессе флотации используется для повышения селективности отделения медных минералов от других, таких как железосодержащие минералы. В частности, NaHS способствует удалению пирита, что позволяет избежать его попадания в медный концентрат. Это достигается за счет реакции гидросульфида натрия с железосодержащими минералами, в результате которой образуются легко отделяемые сульфиды. NaHS также используется для управления pH среды, что имеет важное значение для оптимизации работы других реагентов и обеспечения максимальной эффективности флотации. Помимо этого, NaHS помогает улучшить гидрофобность медных минералов, что способствует их всплытию на поверхность.

Фроттеры AERO® NR-7363 и AERO® NR-7362 играют ключевую роль в создании стабильной пены в процессе флотации. Эти реагенты улучшают отделение медных минералов, обеспечивая эффективное захватывание минералов в пене, которая затем удаляется из флотационной камеры. AERO® NR-7363 и AERO® NR-7362 имеют высокую эффективность при низких концентрациях, что снижает общие расходы на реагенты, сохраняя при этом высокую эффективность процесса. Эти фроттеры обеспечивают необходимую стабильность пены и повышают селективность флотации, что особенно важно при обогащении сложных медных руд с присутствием различных минералов.

Применение AERO® NR-7363 и AERO® NR-7362 также улучшает устойчивость процесса флотации в условиях, когда требуется высокая кислотность. Эти фроттеры способны эффективно работать в таких условиях, сохраняя свои свойства даже в агрессивных химических средах, что увеличивает долговечность их использования и стабильность флотационного процесса. Это свойство особенно важно в сложных и многокомпонентных флотационных системах, где требуется устойчивость к изменяющимся химическим условиям.

Безопасность при работе с этими реагентами имеет важное значение. Гидросульфид натрия является веществом с сильным запахом, напоминающим запах тухлых яиц, и при его использовании необходимо соблюдать меры предосторожности. Работники должны использовать средства индивидуальной защиты, такие как перчатки, защитные очки и респираторы, чтобы минимизировать контакт с химическим веществом и избежать воздействия его токсичных паров. Важно также соблюдать строгие правила

хранения и транспортировки NaHS, чтобы избежать его разложения или реакции с другими химическими веществами.

Фроттеры AERO® NR-7363 и AERO® NR-7362 являются менее опасными по сравнению с NaHS, но при их использовании также необходимо соблюдать соответствующие меры безопасности, такие как работа в хорошо вентилируемых помещениях и использование защитных средств. Важно следить за правильным дозированием реагентов, чтобы избежать излишнего расхода и воздействия на окружающую среду.

Таким образом, использование NaHS и фроттеров AERO® NR-7363 и AERO® NR-7362 в процессе флотации медных руд представляет собой эффективный и практичный способ повышения качества обогащения меди. Эти реагенты способствуют улучшению разделения медных минералов, повышению извлечения и стабильности процесса. При соблюдении всех мер безопасности их использование является безопасным и технологически оправданным.

Были проведены флотационные тесты (дозировка реагентов 2000–3500 г/т) в лабораторной флотационной машине Essa® FTM101.

Результаты флотации при дозировке 3000 г/т:

- NaHS:
- Извлечение молибдена – 81,7%
- pH = 11,37, ОБП = -568 mV
- AERO® NR-7363:
- Извлечение – 85,8%
- pH = 10,15, ОБП = -283 mV
- AERO® NR-7362:
- Извлечение – 82,4%
- pH = 10,14, ОБП = -311 mV

Использование AERO® NR-7363 дало лучшие результаты по сравнению с NaHS. Использование AERO® NR-7363 позволило значительно повысить извлечение молибдена и снизить содержание примесей.

Проведённый анализ показал, что применение усовершенствованных режимов флотации позволяет:

- Снизить затраты на переработку за счёт оптимизации расхода реагентов.
- Повысить качество конечного концентрата за счёт уменьшения содержания примесей и увеличения извлечения меди.
- Обеспечить стабильность работы обогатительной фабрики, что в перспективе ведёт к повышению экономической эффективности производства.

#### **Выводы:**

Использование AERO® NR-7363 дало лучшие результаты по сравнению с NaHS. Позволило увеличить извлечение молибдена до 85,8%, а также снизить pH процесса, что делает его более безопасным и экологически чистым.

Преимущества применения AERO® NR-7363:

- Повышение извлечения молибдена до 85,8%.
- Снижение содержания примесей меди и железа.
- Оптимизация pH, что снижает расход реагентов и повышает стабильность процесса.
- Экологическая безопасность, так как исключается образование токсичных газов.

Разработанная технология флотационного обогащения медной руды месторождения Актогай позволяет:

- Эффективно разделять и извлекать медь из сырья, где основное содержание ценных компонентов сконцентрировано в первичных сульфидах.
- Оптимизировать реагентный режим, что ведёт к снижению затрат и повышению экологической безопасности процесса.
- Достичь стабильной работы технологической схемы на основе комплексных лабораторных испытаний и технико-экономического анализа, что является перспективным направлением для внедрения на промышленном предприятии.

Рассмотрены характеристики руды, анализ технологии обогащения и результаты лабораторных исследований. Особое внимание уделено подбору флотационных реагентов и их влиянию на извлечение меди.

Отмечено, что корректировка дозировок реагентов способствует повышению извлечения и качеству концентрата.

Лабораторные испытания. Реализованы базовые и укрупнённо-лабораторные испытания, позволяющие подобрать оптимальную схему обогащения. Особое внимание уделено тестированию аполярного собирателя, позволяющего улучшить раскрытие медных минералов в тяжелых фракциях.

Лабораторные исследования показали, что гранулометрическое распределение руды имеет выраженный модальный пик в фракциях, содержащих наиболее богатые медью зерна. Оптимизация дозировок реагентов приводит к увеличению извлечения меди до значений, подтверждающих эффективность разработанной технологии. Изучение распределения меди между легкими и тяжелыми фракциями позволяет рекомендовать доизмельчение крупновесовой фракции для повышения степени раскрытия сульфидных минералов.

Проведённый анализ показал, что применение усовершенствованных режимов флотации позволяет: снизить затраты на переработку за счёт оптимизации расхода реагентов, повысить качество конечного концентрата за счёт уменьшения содержания примесей и увеличения извлечения меди, обеспечить стабильность работы обогатительной фабрики, что в перспективе ведёт к повышению экономической эффективности производства.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Baisui Han, Batnasan Altansukh, Kazutoshi Haga, Yasushi Takasaki and Atsushi Shubayama. Copper Recovery from Silicate-Containing Low-Grade Copper Ore Using Flotation Followed by High-Pressure Oxidative Leaching. *Resources Processing* 64. 2017. P. 3–14.
2. Абрамов А.А. Технология обогащения окисленных и смешанных руд цветных металлов.- М.: Недра, 1986.- 302 с.
3. Абрамов А.А., Леонов С.Б., Сорокин М.М. Химия флотационных систем.- М.: Недра, 1983.-312 с.
4. Абрамов А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых // М.: изд. МГГУ. -2004. -510 с.
5. Асончик К.М., Чаплыгин А.М. Испытания нового режима обогащения медно-молибденовых руд на Алмалыкском комбинате //Обогащение руд. - 2000.- № 2.- С.12-14.
6. Баатархуу Ж. Влияние генетико-морфологических особенностей молибденита в технологии переработки руд на ОФ «Эрдэнэт» //Материалы международной конференции по переработке медно-молибденовых руд. Улаанбаатар, 2005. -С. 231-234.
7. Десятов А.М., Херсонский М.И., Сатаев И.Ш. Освоение беспропарочной технологии флотации руд месторождения «Эрдэнэтийн-Овоо» с применением селективных собирателей //Сб. докл. Науч. практ. конф., Эрдэнэт, 2001. - С.124- 134.
8. Давааням С., Сатаев И.Ш., Карнаухов С.Н., Десятов А.М., Херсонский М.И. Технология обогащения медно-молибденовых руд с применением собирателя S-703G //Цветные металлы.- 2000. - № 8. - С.68-70.
9. Десятов А.М., Херсонский М.И., Баатархуу Ж., Карнаухов С.Н. Совершенствование технологии обогащения медно-молибденовых руд месторождения «Эрдэнэтийн-Овоо» (Монголия) в условиях изменения вещественного состава руды //Материалы семинара № 25 симпозиума «Неделя горняка-2007».- С. 217-249.
10. Liu Guang-yi, Lu Yi-ping, Zhong Hong, Cao Zhan-fang, Xu Zheng-he Novel approach for preferential flotation recovery of molybdenite from a porphyry copper–molybdenum ore //Minerals Engineering.- 2012 (36-38).- P.12-31.

УДК 622.7.004.8

Овчинников О.В. (24-МОП-2з, ВКТУ), Рамазанова Р. А. (PhD, ВКТУ)

## ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

***Аннотация.** В статье рассматривается роль искусственного интеллекта (ИИ) в науках о Земле. Описываются современные технологии ИИ, применяемые на мировых фабриках обогащения полезных ископаемых, и их влияние на повышение эффективности процессов. Приводятся примеры компаний, использующих ИИ, а также анализируются возможности, которые он предоставляет для исследований и производства. Особое внимание уделено тенденциям развития ИИ в данной области.*

***Ключевые слова.** Искусственный интеллект, науки о Земле, фабрики обогащения, машинное обучение, нейронные сети, автоматизация, прогнозирование.*

### **Введение**

Науки о Земле включают изучение природных процессов и ресурсов планеты, где искусственный интеллект (ИИ) играет все более важную роль. Особенно заметно его влияние в горнодобывающей промышленности и обогащении полезных ископаемых. Цель статьи — проанализировать текущее состояние применения ИИ на фабриках обогащения, включая примеры мировых лидеров и казахстанский опыт KAZ Minerals, а также обозначить возможности и перспективы развития.

### **Методы исследования**

Для сбора информации использовались открытые источники, включая научные статьи, корпоративные отчеты и специализированные платформы, такие как Mining Technology и ScienceDirect. Анализ включал изучение конкретных случаев использования ИИ в процессах обогащения, таких как флотация, сортировка и прогнозирование качества руды. Особое внимание уделялось компаниям, которые являются лидерами в отрасли, и их технологическим инновациям.

### **Текущие применения ИИ в обогащении полезных ископаемых**

ИИ применяется на различных этапах обогащения, включая дробление, измельчение, флотацию и сортировку. Вот конкретные примеры:

#### **Rio Tinto:**

- **Rio Tinto**, глобальный лидер в горнодобывающей отрасли, активно внедряет технологии искусственного интеллекта для оптимизации своих операций. Их система автоматической сортировки минералов, основанная на компьютерном зрении и управляемых водяных струях, позволяет с высокой точностью отделять ценные породы от пустой руды. Это не только снижает зависимость от ручного труда, но и значительно повышает качество конечного продукта.

- Кроме того, компания использует парк автономных грузовиков,

управляемых ИИ, для транспортировки материалов на своих рудниках. Эти грузовики оснащены сложными системами датчиков и навигации, что позволяет им безопасно и эффективно перемещаться по территории. Благодаря этому, по данным Mining Technology, Rio Tinto удалось снизить затраты на перемещение материалов на 15%, что демонстрирует значительную экономическую выгоду от внедрения ИИ.

- Так же компания использует ИИ для анализа данных получаемых с датчиков, установленных на различном оборудовании, с целью прогнозирования поломок и проведения своевременного технического обслуживания, что позволяет сократить простои оборудования.

#### **Teck Resources:**

- **Teck Resources**, крупная канадская горнодобывающая компания, применяет ИИ для оптимизации процесса флотации – ключевого этапа в обогащении руды. Этот процесс включает отделение ценных минералов от пустой породы с помощью химических реагентов и воздушных пузырьков.

- Системы ИИ, используемые Teck Resources, анализируют множество параметров процесса флотации в режиме реального времени, таких как состав руды, концентрация реагентов и скорость потока. Это позволяет им точно настраивать параметры процесса для достижения максимального выхода концентрата.

- Согласно данным AZOMining, использование ИИ позволило Teck Resources увеличить выход концентрата на 5% и снизить потребление реагентов, что приводит к значительной экономии и снижению воздействия на окружающую среду.

#### **China Molybdenum:**

- **China Molybdenum**, крупная китайская горнодобывающая компания, использует нейронные сети для прогнозирования качества руды еще до ее переработки. Это позволяет компании оптимизировать процесс обогащения и повысить эффективность производства.

- Нейронные сети анализируют данные, полученные с различных этапов добычи и геологической разведки, для прогнозирования содержания ценных минералов в руде. Это позволяет компании заранее планировать процесс обогащения и настраивать оборудование для достижения максимального выхода концентрата.

- По оценкам, опубликованным в International Mining, использование нейронных сетей позволяет China Molybdenum улучшить эффективность обогащения на 8-12%, что демонстрирует значительную эффективность применения ИИ в горнодобывающей промышленности.

- Компания так же использует ИИ для повышения безопасности труда, путем анализа данных с датчиков и камер, для выявления опасных ситуаций и предотвращения несчастных случаев.

#### **KAZ Minerals:**

KAZ Minerals, является одним из крупнейших медных предприятий в мире. В 2021 году на первом сульфидном концентраторе был внедрен TRIT-AI

— система искусственного интеллекта для оптимизации процессов "от рудника до мельницы". После успешных испытаний система расширяется на второй концентратор и другие объекты компании, такие как Bozshakol. TRIT-AI анализирует данные с датчиков на конвейерах, дробилках и мельницах, оптимизируя дробление и измельчение, что снижает энергопотребление и повышает производительность. В 2023 году благодаря ИИ переработка сульфидной руды выросла на 8% а производство меди увеличилось на 12% до 228,7 тыс. тонн. Это демонстрирует лидерство KAZ Minerals в цифровых инновациях в СНГ.

Эти примеры иллюстрируют, как ИИ интегрирован в реальные операции, улучшая производственные процессы.

### **Возможности, предоставляемые ИИ**

ИИ предлагает ряд возможностей, которые трансформируют обогащение полезных ископаемых:

- **Повышение эффективности и производительности:** Автоматизация процессов, таких как сортировка и транспортировка, снижает простои и оптимизирует производство. Например, Rio Tinto достигла 15%-ного снижения затрат на перемещение материалов благодаря автономным грузовикам, как указано в [Technology and Operations Management](#).

- **Улучшение точности:** Алгоритмы ИИ анализируют большие объемы данных для точного определения минералов. В алмазодобыче ИИ, комбинируя данные сенсоров и рентгеновских лучей, восстанавливает более 96% веса алмазов размером более 1 мм, как указано в [AZOMining](#).

- **Предиктивное обслуживание:** ИИ мониторит производительность оборудования в реальном времени, предсказывая поломки и снижая расходы на ремонт. Это особенно важно для сложных процессов, таких как измельчение, где простои могут быть дорогостоящими.

- **Экологические выгоды:** Оптимизация использования ресурсов снижает отходы и энергопотребление, способствуя устойчивому развитию. Например, Teck Resources снижает потребление реагентов, что уменьшает экологическое воздействие, как указано в [McKinsey](#).

Эти возможности делают ИИ ключевым инструментом для повышения конкурентоспособности и устойчивости отрасли.

### **Тенденции развития**

Будущее ИИ в обогащении полезных ископаемых связано с несколькими направлениями:

- **Интеграция с Интернетом вещей (IoT):** Подключенные системы позволят более точный мониторинг и управление процессами в реальном времени, что, вероятно, приведет к созданию "умных" фабрик, как указано в [AMP Mineral](#).

- **Развитие продвинутых моделей машинного обучения:** Глубокое обучение и другие техники ИИ улучшат способность обрабатывать сложные данные, что, кажется, увеличит точность прогнозов, как указано в [ScienceDirect](#).

- **Автономные операции:** Цель полностью автономных фабрик

обогащения становится достижимой, с ИИ, управляющим процессами от начала до конца, что, вероятно, снизит зависимость от человеческого труда, как указано в [International Mining](#).

Эти тенденции указывают на значительный потенциал для инноваций в отрасли.

### **Базы данных для обучения ИИ**

Для обучения моделей ИИ в горнодобывающей отрасли используются разнообразные данные:

- **Геологические данные:** Сейсмические исследования, пробы руды и карты месторождений (например, базы данных USGS или внутренние архивы компаний).
- **Производственные данные:** Информация с датчиков оборудования, данные о химическом составе и параметрах процессов, собираемые в реальном времени.
- **Синтетические данные:** В некоторых случаях (например, у China Molybdenum) модели обучаются на искусственно сгенерированных данных, что решает проблему недостатка реальных наборов.

В KAZ Minerals Aktogay, используются данные с датчиков TRIT-AI и внутренние производственные архивы, хотя точные базы остаются закрытыми.

Точные базы данных, такие как ImageNet или COCO, характерные для компьютерного зрения, здесь не применяются. Вместо этого используются специализированные наборы, часто закрытые, например, данные с оборудования TOMRA для сортировки или внутренние датасеты Rio Tinto. Открытые источники, такие как Kaggle, иногда используются для предварительного обучения, но адаптация требует корпоративных данных.

### **Вызовы и этические соображения**

Несмотря на преимущества, использование ИИ связано с вызовами, такими как конфиденциальность данных, возможное вытеснение рабочих мест и необходимость ответственного применения технологий. Например, автоматизация может привести к сокращению рабочих мест, что требует баланса между технологическим прогрессом и социальной ответственностью, как обсуждается в [McKinsey](#).

### **Заключение**

ИИ революционизирует обогащение полезных ископаемых, предлагая решения для повышения эффективности, точности и устойчивости. Компании, такие как Rio Tinto, Teck Resources и China Molybdenum, демонстрируют реальные примеры внедрения, с улучшениями, такими как снижение затрат на 15% и увеличение выхода концентрата на 5%. Будущее, вероятно, принесет еще больше инноваций, включая автономные фабрики и интеграцию с AI, что сделает отрасль умнее и экологичнее.

**Таблица 1: Примеры компаний и их использование ИИ**

Компания	Применение ИИ	Преимущества
Rio Tinto	Автоматизация сортировки, автономные грузовики	Снижение затрат на 15%, повышение безопасности
Teck Resources	Оптимизация флотации	Увеличение выхода на 5%, снижение энергопотребления
China Molybdenum	Прогнозирование качества руды	Улучшение эффективности на 8-12%

#### Ключевые цитирования

- AI in Mineral Processing Plants: Sustainable Efficiency [<https://ampmineral.com/en/ai-in-mineral-plants-sustainable-efficiency/>], 2024 г.
- AI4R2R (AI for Rock to Revenue): A Review of the Applications of AI in Mineral Processing [<https://www.mdpi.com/2075-163X/11/10/1118>], 2021 г.
- Artificial Intelligence in Mineral Processing Plants: An Overview [[https://www.researchgate.net/publication/315561942\\_Artificial\\_Intelligence\\_in\\_Mineral\\_Processing\\_Plants\\_An\\_Overview](https://www.researchgate.net/publication/315561942_Artificial_Intelligence_in_Mineral_Processing_Plants_An_Overview)], 2017 г.
- The complexity of mineral processing and manufacturing plants — how Artificial Intelligence can help [<https://www.manufacturingtomorrow.com/story/2019/10/the-complexity-of-mineral-processing-and-manufacturing-plants-%25E2%2580%2594-how-artificial-intelligence-can-help/14180>], 2019 г.
- Using Artificial Intelligence for Mineral Processing and Exploration [<https://www.azomining.com/Article.aspx?ArticleID=1678>], 2024 г.
- How artificial intelligence can improve resilience in mineral processing during uncertain times [<https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/how-artificial-intelligence-can-improve-resilience-in-mineral-processing-during-uncertain-times>], 2020 г.
- Mineral processing AI - self-adaptability and the pursuit of true plant optimisation [<https://im-mining.com/2022/08/08/mineral-processing-ai-self-adaptability-in-the-pursuit-of-plant-optimisation/>], 2022 г.
- Data, analytics, AI 'vital' in mining – Rio Tinto [<https://www.mining-technology.com/interviews/ai-mining-rio-tinto/>], 2021 г.
- Rio Tinto – Mining Data like Diamond [<https://d3.harvard.edu/platform-rctom/submission/rio-tinto-mining-data-like-diamond/>], 2016 г.
- Artificial intelligence for mineral exploration: A review and perspectives on future directions from data science [<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0012825224002691>], 2024 г.
- KAZ Minerals Artificial intelligence [<https://www.kazminerals.com/en/repository/news-container/news/2021/artificial-intelligence/>], 2021 г.

**УДК 656.025.4**

Оралбек С.К. (23-МУД-2, ВКТУ), Вдовин В.Н. (к.т.н., ВКТУ),  
Машекенова А.Х. (к.т.н., ВКТУ)

**ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТОВ ТРАНСПОРТИРОВКИ ТВЕРДЫХ  
БЫТОВЫХ ОТХОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА «СУММ»**

***Аннотация.** В статье рассматривается оптимизация маршрутов сбора и транспортировки твердых бытовых отходов в городе Усть-Каменогорск на примере предприятия ТОО «Өскеменспецкоммунтранс». В ходе исследования выявлены недостатки в текущих маршрутах, приводящие к увеличению пробега мусоровозов и, как следствие, росту эксплуатационных затрат. Для решения данной проблемы был применен метод оптимизации, известный как метод «сумм», позволяющий сократить пробег транспортных средств. Проведенные расчеты показали сокращение длины маршрутов, что способствует снижению транспортных расходов предприятия и повышению эффективности автопарка.*

***Ключевые слова:** оптимизация маршрутов, твердые бытовые отходы, транспортные расходы, метод «сумм», сбор и вывоз отходов, пробег, эксплуатационные затраты*

Транспортировка твердых бытовых отходов является важным элементом городского хозяйства, которое требует эффективного использования автотранспорта для снижения затрат и минимизации негативного влияния на окружающую среду. В настоящее время предприятия, занимающиеся сбором и вывозом мусора, сталкиваются с проблемами, связанными с состоянием автопарка и увеличением пробега, что в свою очередь приводит к росту транспортных расходов и эксплуатационных затрат

Одним из таких предприятий является ТОО «Өскеменспецкоммунтранс», занимающееся сбором и транспортировкой твердых бытовых отходов в городе Усть-Каменогорск. Анализ показал, что используемые маршрутные листы часто приводят к увеличению пробега мусоровозов и дополнительным расходам. Для устранения этих проблем в работе предлагается метод оптимизации, позволяющий минимизировать пробеги и сократить общую протяженность маршрутов.

Для оптимизации маршрутов были проведены расчеты, направленные на сокращение пробега транспортных средств. Существует несколько схем построения маршрутов для перевозки твердых бытовых отходов (ТБО), каждая из которых имеет свои особенности. В рассматриваемом случае используется развозочно-сборочная схема, при которой мусоровоз одновременно собирает отходы из нескольких пунктов и перевозит их на полигон для захоронения отходов [3].

Одной из ключевых задач при организации таких перевозок является определение оптимальной последовательности объезда сборочных пунктов. Это позволяет минимизировать общий пробег транспортных средств и, соответственно, сократить транспортные расходы. Для решения этой задачи

применяется метод «сумм», который позволяет упорядочить маршрут таким образом, чтобы обеспечить наименьшую длину пути при обслуживании всех пунктов.

Метод основан на построении симметричной матрицы расстояний между пунктами маршрута, где анализируется влияние каждого добавленного пункта на общую протяженность маршрута. В результате изменения порядка следования маршрутных данных формируется новый оптимизированный маршрут, что приводит к снижению пробега мусоровозов и уменьшению затрат на транспортировку отходов [1].

Исходные данные представлены в виде симметричной диагональной матрицы, содержащей расстояния между пунктами маршрута, взятые из маршрутного листа. В качестве примера используется один маршрутный лист с указанными сборочными пунктами – жилыми домами на разных улицах, откуда мусоровозы собирают отходы. Таким образом, процесс сбора и транспортировки твердых бытовых отходов осуществляется в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1. Маршрутный лист №2 (Ульбинский район, Усть-Каменогорск)

№	Адрес		Количество контейнеров	Расстояние между пунктами, км
	Улица	Номер дома (адрес)		
1	Абая	13	2	4,4
2	Н. Назарбаева	11	4	1,5
3	Амре Кашаубаева	4	8	1,6
4	Астана	12	7	0,9
5	Астана	22	8	0,4
6	Астана	30	7	0,35
7	Астана	32/1	6	0,26
8	Астана	36/1	7	0,35
9	Потанина	39	7	0,5
10	Потанина	31/1	9	0,35
11	Виноградова	6	4	1,6
12	Виноградова	10	6	0,18
13	Виноградова	16	7	0,17
14	Виноградова	29	9	0,5
15	Виноградова	22	6	0,13
16	Н.Назарбаева	7/1	8	1,9
17	Н.Назарбаева	3	12	0,26
18	Космическая	10	7	2,2
19	Космическая	10/3	2	0,3
20	Космическая	10/5	2	0,17
21	Космическая	17	3	0,75
			131	13,62

Для определения кратчайшего пути в маршруте применяется метод «сумм». Вначале создается симметричная матрица (Рисунок 1), в которой по главной диагонали располагаются пункты маршрута, а в свободные ячейки заносятся кратчайшие расстояния между ними в соответствии со схемой дорожной сети. После заполнения таблицы производится суммирование расстояний по каждому столбцу, а полученные значения записываются под соответствующими столбцами как общее расстояние. Таким образом, определяется суммарное расстояние для каждого маршрута.

1	1,5	1,1	1	1,2	1,4	1,5	2	2,3	3,3	3,4	3,6	4,1	4	1,4	1,6	2,1	2,4	2,3	1,7
1,5	2	1,6	2	0,6	0,9	0,9	1,4	1,2	2,2	2,4	2,5	3	2,9	0,4	0,6	0,6	1	1,1	0,3
1,1	1,6	3	0,9	0,7	1	1	1,5	1,9	2,8	3	3,1	3,6	3,5	0,5	0,8	1,3	1,6	1,7	0,9
1	2	0,9	4	0,4	0,6	0,6	1,1	1,5	2,4	2,6	2,8	3,3	3,1	0,9	1,2	1,2	1,5	1,6	0,8
1,2	0,6	0,7	0,4	5	0,35	0,28	0,8	1,2	2,1	2,3	2,4	2,9	2,8	1	1,3	1,3	1,6	1,7	0,9
1,4	0,9	1	0,6	0,35	6	0,26	0,85	1,2	2,1	2,3	2,5	3	2,8	1,3	1,5	1,6	1,9	1,9	1,2
1,5	0,9	1	0,6	0,28	0,26	7	0,35	0,9	1,8	2	2,1	2,6	2,5	1,3	1,6	1,6	1,9	2	1,2
2	1,4	1,5	1,1	0,8	0,85	0,35	8	0,5	1,3	1,5	1,6	2,1	2	1,3	1,5	1,6	1,9	1,9	1,2
2,3	1,2	1,9	1,5	1,2	1,2	0,9	0,5	9	0,35	1,8	1,9	2,4	2,3	1,2	1,4	1,4	1,8	1,8	1,1
3,3	2,2	2,8	2,4	2,1	2,1	1,8	1,3	0,35	10	1,6	0,35	0,85	0,7	2,5	2,7	2,7	3,1	3,1	2,4
3,4	2,4	3	2,6	2,3	2,3	2	1,5	1,8	1,6	11	0,18	0,65	0,55	2,4	2,7	2,7	3	3,1	2,3
3,6	2,5	3,1	2,8	2,4	2,5	2,1	1,6	1,9	0,35	0,18	12	0,17	0,35	2,3	2,5	2,5	2,9	2,9	2,2
4,1	3	3,6	3,3	2,9	3	2,6	2,1	2,4	0,85	0,65	0,17	13	0,5	1,9	2,2	2,2	2,5	2,6	1,8
4	2,9	3,5	3,1	2,8	2,8	2,5	2	2,3	0,7	0,55	0,35	0,5	14	0,13	1,9	2,2	2,2	2,5	2,6
1,4	0,4	0,5	0,9	1	1,3	1,3	1,3	1,2	2,5	2,4	2,3	1,9	0,13	15	1,9	2,4	2,7	2,6	2
1,6	0,6	0,8	1,2	1,3	1,5	1,6	1,5	1,4	2,7	2,7	2,5	2,2	1,9	1,9	16	0,26	2,4	2,4	1,8
2,1	0,6	1,3	1,2	1,3	1,6	1,6	1,6	1,4	2,7	2,7	2,5	2,2	2,2	2,4	0,26	17	2,2	0,4	0,4
2,4	1	1,6	1,5	1,6	1,9	1,9	1,9	1,8	3,1	3	2,9	2,5	2,2	2,7	2,4	2,2	18	0,3	0,3
2,3	1,1	1,7	1,6	1,7	1,9	2	1,9	1,8	3,1	3,1	2,9	2,6	2,5	2,6	2,4	0,4	0,3	19	0,17
1,7	0,3	0,9	0,8	0,9	1,2	1,2	1,2	1,1	2,4	2,3	2,2	1,8	2,6	2	1,8	0,4	0,3	0,17	20
41,9	27,1	32,5	29,5	25,8	28,7	26,4	26,4	28,2	38,4	40,5	38,9	42,4	39,5	30,1	32,3	30,7	37,2	36	25,3

Рисунок 1 – Симметричная матрица

Далее, используя формулу 1, начинается процесс оптимизации маршрута. Начинаем с трех пунктов, выбирая из них тот, у которого в столбце наибольшее суммарное расстояние. Затем поочередно добавляем новые пункты, изменяя их порядок в соответствии с расчетами. В результате изменения порядка сборочных пунктов маршрутного листа в конечном итоге формируется новый, оптимизированный маршрут с сокращенной длиной пробега [2]. При добавлении нового пункта  $k$  между двумя уже включенными пунктами  $i$  и  $j$  изменение длины маршрута вычисляется по формуле:

$$\Delta L_{i-j} = l_{i-k} + l_{k-j} - l_{i-j} \quad (1)$$

где  $l$  – расстояние, км;

$i$  – номер первого соседнего пункта;

$j$  – номер второго соседнего пункта;

$k$  – номер включаемого пункта.

$\Delta L$  в данной формуле обозначает изменение длины маршрута при добавлении нового пункта.

Рассчитаем изменение длины маршрута при добавлении пункта 14 в начальный маршрут 13-1-11:

$$\Delta L_{13-1} = l_{13-14} + l_{14-1} - l_{13-1} = 0,5 + 4 - 4,1 = 0,4$$

$$\Delta L_{1-11} = l_{1-14} + l_{14-11} - l_{1-11} = 4 + 0,55 - 3,4 = 1,1$$

Таким образом, пункт 14 размещается между пунктами 13 и 1, и маршрут принимает вид 13-14-1-11.

Теперь определяется место для пункта 12 в маршруте 13-14-1-11.

$$\Delta L_{13-14} = l_{13-12} + l_{12-14} - l_{13-14} = 0,17 + 0,35 - 0,5 = 0,02$$

$$\Delta L_{14-1} = l_{14-12} + l_{12-1} - l_{14-1} = 0,35 + 3,6 - 4 = -0,05$$

$$\Delta L_{1-11} = l_{1-12} + l_{12-11} - l_{1-11} = 3,6 + 0,18 - 3,4 = 0,38$$

Так как наименьшее увеличение длины маршрута даёт расположение пункта 12 между пунктами 14 и 1, маршрут обновляется до 13-14-12-1-11.

Теперь необходимо определить место для пункта 10 в маршруте 13-14-12-1-11:

$$\Delta L_{13-14} = l_{13-10} + l_{10-14} - l_{13-14} = 0,85 + 0,7 - 0,5 = 1,05$$

$$\Delta L_{14-12} = l_{14-10} + l_{10-12} - l_{14-12} = 0,7 + 0,35 - 0,35 = 0,7$$

$$\Delta L_{12-1} = l_{12-10} + l_{10-1} - l_{12-1} = 0,35 + 3,3 - 3,6 = 0,05$$

$$\Delta L_{1-11} = l_{1-10} + l_{10-11} - l_{1-11} = 3,3 + 1,6 - 3,4 = 1,5$$

Оптимальное место для пункта 10 находится между пунктами 12 и 1, таким образом, окончательный маршрут принимает вид 13-14-12-10-1-11.

Чтобы определить место включения нового пункта, для каждой пары соседних пунктов маршрута рассчитывается величина прироста длины пробега по приведённой выше формуле. Далее пункт вставляется в то место, где прирост минимален.

После определения оптимального размещения одного пункта, аналогичным образом пересчитываются все оставшиеся пункты маршрута, последовательно находя наилучшее место вставки с учетом минимального увеличения длины пробега.

Расчеты продолжаются до тех пор, пока не будут обработаны все пункты маршрута, после чего выполняется итоговое сравнение длины маршрутов до и после оптимизации.

Как видно из таблицы 2, последовательность объезда в маршрутном листе после расчета полностью изменилась, сформировав новый оптимизированный порядок объезда. В результате была составлена обновленная маршрутная таблица. Если ранее маршрут начинался с проспекта Абая, 13 и заканчивался на улице Космическая, 17. После проведенной оптимизации маршрут теперь начинается с улицы Виноградова, 16, а последний пункт маршрута – улица Виноградова, 6.

Проведенный анализ показал, что текущие маршруты имеют значительные недостатки, приводящие к увеличению пробега мусоровозов и, соответственно, росту эксплуатационных затрат.

Применение метода «сумм» позволило разработать новый порядок объезда контейнерных площадок, что привело к сокращению общей длины

маршрутов. В результате, длина пути одного из маршрутов была снижена с 13,62 км до 13,21 км, что уменьшило транспортные расходы и повысило эффективность работы автопарка.

Таблица 2. Маршрутный лист №2 (Ульбинский район, Усть-Каменогорск)

№	Адрес		Количество контейнеров	Расстояние между пунктами, км
	Улица	Номер дома (адрес)		
1	Виноградова	16	7	-
2	Виноградова	29	9	0,5
3	Виноградова	10	6	0,35
4	Потанина	31/1	9	0,35
5	Потанина	39	7	0,35
6	Астана	36/1	7	0,5
7	Астана	32/1	6	0,35
8	Астана	30	7	0,26
9	Астана	22	8	0,35
10	Н. Назарбаева	11	4	0,6
11	Н. Назарбаева	7/1	8	0,6
12	Пр. Абая	13	2	1,6
13	Астана	12	7	1
14	Виноградова	22	6	0,9
15	Амре Кашаубаева	4	8	0,5
16	Космическая	10/5	2	0,9
17	Н. Назарбаева	3	12	0,4
18	Космическая	10/3	2	0,4
19	Космическая	10	7	0,3
20	Виноградова	6	4	3
			131	13,21

Результаты исследования подтверждают эффективность применения метода «сумм» в оптимизации маршрутов транспортировки отходов, открывая перспективы для дальнейших улучшений в сфере управления городскими транспортными процессами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геронимус Б.Л. Экономико-математические методы в планировании на автомобильном транспорте: учебник для техникумов / Б. Л. Геронимус – Изд. 2-е – М.: Транспорт, 1982 – 192 с.
2. Геронимус Б. Л., Баулин В. Н. Методы маршрутизации перевозок мелкопартионных грузов (развозочно-сборные маршруты).— В сб.: Опыт выбора рациональных маршрутов перевозок грузов автомобильным транспортом. М., Стройиздат, 1966.
3. Домке Э.Р., Жесткова С.А. Методы оптимизации маршрутных схем развозки грузов автомобильным транспортом: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений – Пенза: ПГУАС, 2014. – 164 с.

**УДК 621.7**

Павлова Л.Н. (23-МТМ-2т, ВКТУ), Капаева С.Д. (к.т.н., ВКТУ)

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАСТОЧНОЙ ОПРАВКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ  
ВНУТРЕННИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОТВЕРСТИЙ ИЗ РАЗНОРОДНЫХ  
СТАЛЕЙ С ЦЕЛЬЮ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАБАТЫВАЕМОЙ  
ПОВЕРХНОСТИ**

***Аннотация.** В статье рассматривается проблема обеспечения высокого качества обработки внутренних цилиндрических отверстий, выполненных из разнородных сталей. Отмечены трудности, связанные с недостаточной точностью и равномерностью обрабатываемой поверхности при использовании стандартных расточных оправок. В качестве решения предложена разработка специализированной расточной оправки, конструктивные особенности которой направлены на улучшение качества поверхности и повышение точности обработки. Описание разработки включает оптимизацию параметров инструмента и его влияние на эффективность производственного процесса. В дальнейшем планируется проведение экспериментальных испытаний для оценки практической применимости предложенного решения.*

***Ключевые слова:** механическая обработка, растачивание отверстий, деформация, сила резания, разнородные стали.*

Повышение эффективности механической обработки на токарных станках заключается в оптимизации задач, направленных на увеличение производительности, снижение себестоимости, повышение точности геометрических характеристик и улучшение качества обрабатываемых поверхностей. Существующие инструментальные системы, применяемые для растачивания отверстий в деталях типа «втулок» и «цилиндров», часто не позволяют работать на токарных станках при оптимальных режимах обработки. Одной из ключевых особенностей процесса растачивания является использование расточного инструмента с большим вылетом, что ведет к его высокой податливости под воздействием сил резания. Основной причиной недостаточной виброустойчивости инструмента при растачивании является низкая жёсткость инструментальной системы, поскольку жёсткость шпиндельного узла и суппорта остаётся достаточно высокой [1, 2, 3]. При токарной обработке всегда рекомендуется использовать инструмент с минимально возможным вылетом из зоны закрепления и максимальным сечением оправки для повышения жёсткости. Однако при растачивании вылет определяется глубиной обрабатываемого отверстия, а увеличение сечения оправки ограничено либо диаметром отверстия, либо размером посадочного места в блоке револьверной головки станка с ЧПУ. Эти особенности ведут к снижению жёсткости инструмента и недостаточной виброустойчивости процесса растачивания, что, в свою очередь, влияет на точность и качество обработки отверстий. В процессе растачивания на токарных станках возникают погрешности формы обрабатываемых отверстий, которые

обусловлены деформациями элементов системы. Погрешности механической обработки появляются из-за деформации компонентов технологической системы. Общую податливость системы при растачивании можно определить, суммируя смещения инструмента, вызванные силами резания, а также смещения в шпиндельном узле и суппорте [4, 5]. Для оценки устойчивости динамической системы важно учитывать влияние переменных сил резания на динамические деформации системы механической обработки. В ряде исследований [6, 7], посвящённых изучению влияния жёсткости системы на виброустойчивость процесса растачивания, были рассмотрены проблемы, связанные с инструментами с большим вылетом, такие как дисбаланс и упругие деформации. Наряду с жёсткостью системы, значительное влияние на колебания при растачивании оказывают параметры режимов обработки [8, 9]. В процессе растачивания отверстий, при постоянных условиях обработки, наблюдаются значительные периодические и случайные колебания сил резания. Было установлено, что диапазон этих отклонений составляет 20–30 % от средних значений сил резания [10, 11]. При повышенном износе инструмента эти отклонения увеличиваются в 1,2–1,4 раза [12]. Значительные изменения силы резания приводят к увеличению шероховатости и волнистости обрабатываемой поверхности, а также снижают стойкость режущего инструмента.

Традиционные инструменты для обработки материалов сложно справляются с комбинированными поверхностями, что требует внедрения дополнительных технологических решений. Предварительные результаты исследования, проведённого на предприятии ТОО «Казцинк», были получены с использованием горизонтального токарного обрабатывающего центра Hyundai WIA L300C. Применялся антивибрационный инструмент Silent Tools компании Sandvik с параметрами: глубина резания  $t_{рез} = 0,3$  мм, обороты шпинделя  $n_{об} = 650$  об/мин и подача  $S_{рез} = 0,08$  мм/об. При растачивании детали «Труба» возникли проблемы, связанные с разнородностью сварной конструкции.

При переходе расточного инструмента с одного материала на другой интенсивность колебаний увеличивается (рисунок 1, а), что приводит к образованию задиров и глубоких рисок на зеркале детали «Труба» (рисунок 1, б). После перехода через границу раздела двух материалов процесс стабилизируется, но поскольку параметры обработки были подобраны для достижения нужной шероховатости на электромагнитной стали, на участке с конструкционной сталью наблюдаются высокие показатели качества поверхности.

Это явление объясняется, во-первых, различной обрабатываемостью двух материалов (1 — Сталь 45 ГОСТ 1050-2013, 2 — нержавеющая сталь 12X18H10T ГОСТ 5949-2018), а во-вторых, особенностями выбранного инструмента для растачивания отверстия.

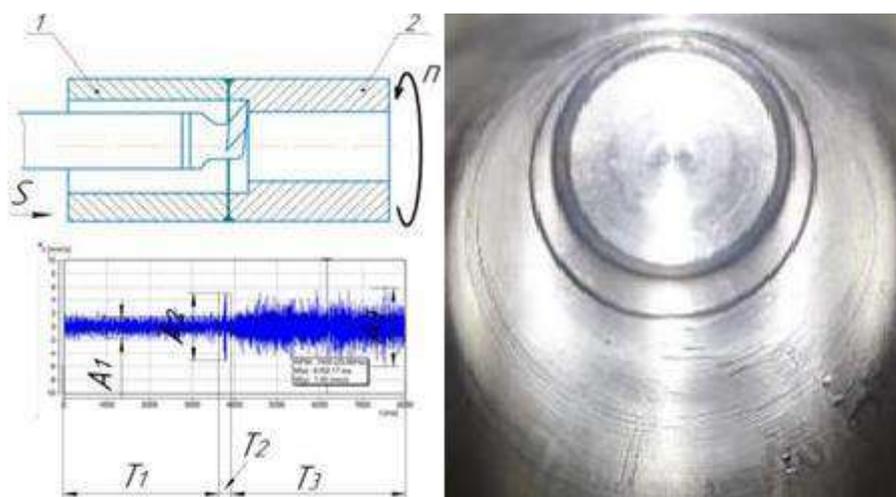


Рисунок 1 – Технологический процесс изготовления детали «Труба», где:  
 а – вибродиаграмма при растачивании отверстия в детали «Труба» с использованием  
 антивибрационного инструмента Silent Tools;  
 б – задиры и глубокие риски на зеркале детали «Труба»

На Рисунке 1, а – представлены результаты экспериментального исследования, зафиксированные на осциллограмме вибродиагностической установки «Prüftechnik MT GmbH». На графике выделяются три области:  
 T1 – растачивание нержавеющей стали 12X18H10T по ГОСТ 5949-2018, сопровождаемое колебаниями с амплитудой A1;  
 T2 – прерывистое растачивание в области стыка двух разных сталей, с одновременным действием вынужденных и автоколебаний на оправку, амплитуда которых равна A2;  
 T3 – растачивание стали 45 по ГОСТ 1050-2013, сопровождаемое колебаниями с амплитудой A3.

На сегодняшний день создание качественных, конкурентоспособных и надёжных изделий невозможно без использования компьютерного 3D моделирования. На первом этапе проектирования будет предложена следующая принципиальная схема инструментальной оснастки (Рисунок 2).

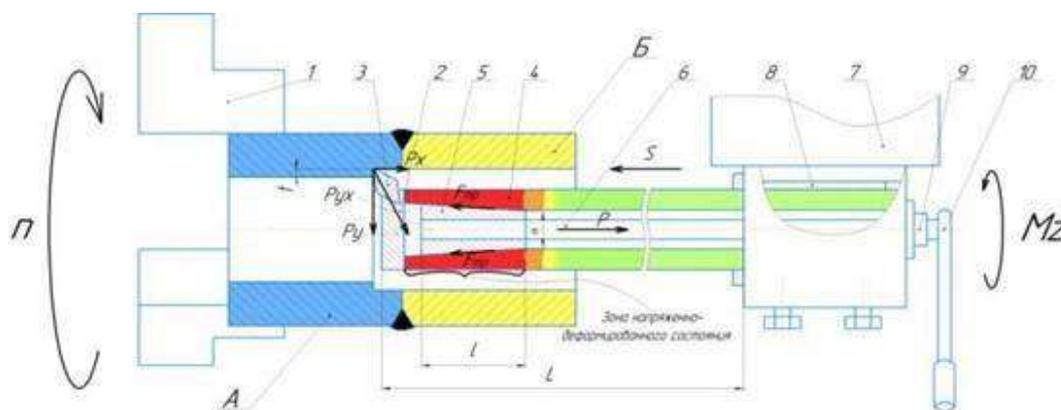


Рисунок 2 – Принципиальная схема напряжённо-деформированной оправки

Заготовка, сваренная из разнородных сталей А и Б, фиксируется в трёхкулачковом патроне 1 горизонтального токарного станка. Расточной инструмент представляет собой борштангу, оснащённую режцовой головкой 2 для крепления режущей пластины 3. Он состоит из полого корпуса 4, внутри которого размещены разжимной конус 5 и резьбовой стержень 6. Корпус 4 расточной оправки устанавливается в блок револьверной головки 7 через разрезную втулку 8 с вылетом L. Стержень 6 жёстко соединён с конусом 5, которые могут свободно перемещаться вдоль оси корпуса 4 при вращении регулировочной гайки 9 с помощью динамометрического ключа 10. Затягивание регулировочной гайки 9 с моментом  $M_z$  вызывает движение разжимного конуса 5 и резьбового стержня 6 вдоль оси полого корпуса 4, создавая натяжение  $P$ , с ограничением хода о внутреннюю конусную поверхность корпуса на расстоянии  $l$ . Это обеспечивает равномерное напряжённо-деформированное состояние на периферии корпуса 4.

Для проектирования элементов расточной оправки использовалась программа трёхмерного моделирования КОМПАС 3D Версии 17, которая позволяет разрабатывать как отдельные детали, так и сборочные единицы. На основе принципиальной схемы (Рисунок 2) была создана трёхмерная сборочная модель расточной оправки (Рисунок 3).

Инструмент состоит из таких элементов, как: токарный резец 2, режущая пластина 1, режцовая голова 3, винты для крепления резца 4, разжимной конус 5, корпус оправки 6, винты для крепления режцовой головы 7, шайбы 8, пружинная шайба 9, регулировочный винт 10 и разрезная втулка 11.

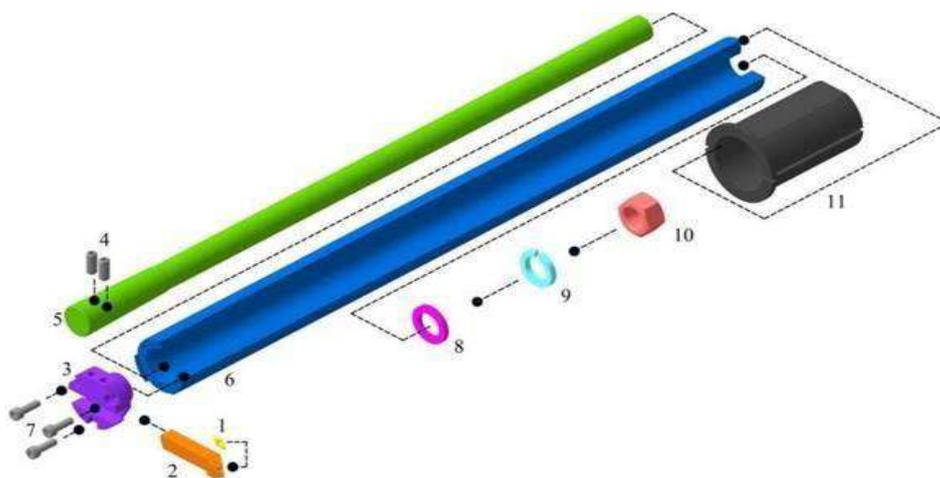


Рисунок 3 – Развёртка сборочной модели напряжённо-деформированной расточной оправки, где:

- 1 – режущая пластина; 2 – токарный резец; 3 – режцовая голова; 4 и 7 – винты;  
 5 – разжимной конус; 6 – корпус оправки; 8 – шайба;  
 9 – пружинная шайба; 10 – регулировочный винт; 11 – разрезная втулка

В результате проведённой работы разработана специализированная расточная оправка, предназначенная для обработки внутренних цилиндрических отверстий из разнородных сталей. В ходе исследования выявлены ключевые проблемы, влияющие на качество обрабатываемой поверхности, и предложены конструктивные решения для их устранения. Оптимизация параметров расточного инструмента позволяет повысить точность и равномерность обработки, что способствует улучшению качества поверхности и увеличению долговечности инструмента. В дальнейшем предстоит проведение экспериментальных испытаний, которые подтвердят эффективность предложенной разработки и её потенциал для применения в массовом производстве.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безъязычный В.Ф. Расчёт режимов резания: Учеб. пособие / В.Ф. Безъязычный, И.Н. Аверьянов, А.В. Кордюков. – Рыбинск: РГАТА, 2009. – 185 с.
2. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов / В.Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. – 344 с.
3. Бржозовский Б.М. Динамический мониторинг технологического оборудования / Б.М. Бржозовский, В.В. Мартынов, И.Н. Янкин и др.; СГТУ – Саратов: издательство СГТУ, 2008. – 312 с.
4. Колев, К.С. Точность обработки и режимы резания / К.С. Колев, Горчаков Л. М. – М.: Машиностроение, 1976. – 144 с.
5. Кудинов, В.А. Процесс резания как динамическая система / В.А. Кудинов // Конструкторско-технологическая информатика 2000: труды IV Международного конгресса. – М.: КТИ, 2000. – Т. 1. – С. 311–312.
6. Бармин, Б.П. Вибрации и режимы резания / Б.П. Бармин. – М.: Машиностроение, 1979. – 72 с.
7. Григорьев С.Н. Инструментальная оснастка станков с ЧПУ / Григорьев С. Н., Кохомский М.В., Маслов А.Р. – М.: Машиностроение, 2006. – 544 с.
8. Вейц, В.Л. Повышение устойчивости технологической системы при управлении реологическими параметрами процесса стружкообразования / В.Л. Вейц, В.В. Максаров. // Машиностроение и автоматизация производства: Межвуз. сб. Вып. 16. – СПб.: СЗПИ, 1999. – С. 19 – 29.
9. Дроздов, Н.А. К вопросу о вибрациях станка при токарной обработке / Н.А. Дроздов // Станки и инструмент, 1937. – №2. – С. 21 – 25.
10. Вульф, А. М. Резание металлов / А.М. Вульф. – Л.: Машиностроение, 1973. – 496 с.
11. Грановский, Г.И. Резание металлов / Г.И. Грановский. – М.: Высш. шк., 1985. – 304 с.
12. Грановский, Г.И. О методике измерения и критерии износа режущих инструментов / Г.И. Грановский. // Вестник машиностроения, 1963. – №9.

УДК 537.525; 621.793, 621.793.182, 539.23

Пятков С. В. (Школа-гимназия №10 г. Усть-Каменогорска)

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАНАРНОГО МАГНЕТРОНА ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ НАНОСТРУКТУР

***Аннотация.** В данной работе представлены результаты экспериментального исследования планарного магнетрона для напыления многослойных функциональных покрытий. Данная магнетронная система позволяет наносить тонкие пленки с новыми уникальными свойствами.*

***Ключевые слова:** Ионно-плазменное напыление, магнетронное распыление, тонкопленочное покрытие.*

### **Введение**

Использованию магнетронного распыления для получения покрытий на поверхности изделий ежегодно посвящается большое количество публикаций. Покрытия, получаемые методом магнетронного распыления в вакууме, обладают высокими показателями чистоты. Магнетронное распыление обладает некоторыми преимуществами по сравнению с другими методами [1 - 6], позволяет гибко управлять процессом напыления, получать покрытия заданного состава и с заданными физическими свойствами.

В последнее время большое внимание уделяется разработке наноструктурных материалов с высокими механическими свойствами и высокой коррозионной стойкостью. Модели упрочнения, основанные на определяющей роли границ в повышении твердости и прочности наноматериалов, привели к созданию нового класса композиционных материалов с нанометровой толщиной слоев - многослойные многопериодные композиции [7 - 9].

Такие комбинации чередующихся ультратонких слоев, позднее названные сверхрешётками впервые были исследованы Йоханссоном и Линде в 1925 г. [10]. Наиболее известными многопериодными многослойными композициями являются полупроводниковые сверхрешётки в микроэлектронике, исследованные лауреатом Нобелевской Премии по физике (1973) Лео Эсаки и Рафаэлем Тсу.

Одним из важных представителей сверхрешеток являются магнитные металлические наноструктуры, в которых несколько раз повторяются блоки из чередующихся слоев различных металлов, образуя таким образом искусственную магнитную решетку в направлении роста слоев [11]. Сегодня область магнитных наноструктур исследований представляет собой чрезвычайно перспективную часть физики конденсированного состояния, быстрое развитие которой диктуется как актуальностью возникающих фундаментальных физических проблем, так и потребностями современной микроэлектроники и наноэлектроники. Присуждение А. Ферту и П. Грюнбергу Нобелевской премии по физике 2007 года за их пионерские работы

по исследованию (001) Fe / (001) Cr сверхрешеток [12, 13] подчёркивает актуальность и фундаментальную значимость исследований многослойных металлических наноструктур. В настоящее время за рубежом исследования и поиски новых перспективных материалов спинтроники приняли массовый характер, по результатам исследований опубликовано множество научных статей и ряд монографий, регулярно появляются сообщения о коммерциализации предложений по технологическому использованию полученных материалов. Фундаментальный интерес к многослойным металлическим наноструктурам обусловлен прежде всего тем, что эти объекты обладают новыми уникальными свойствами и открывают новые возможности по сравнению с традиционными объёмными материалами.

### Методы и результаты

Для получения данных покрытий была использована установка вакуумного напыления EPOS-PVD-440 в центральной части которой установлен карусельный механизм. Ранее, для формирования многослойных периодических пленок с целью синтеза новых материалов методами ионно-плазменных технологий [14] в ИЯФ НЯЦ РК был создан планарный магнетрон оригинальной конструкции [15]. Схема магнетрона представлена на рисунке 1.

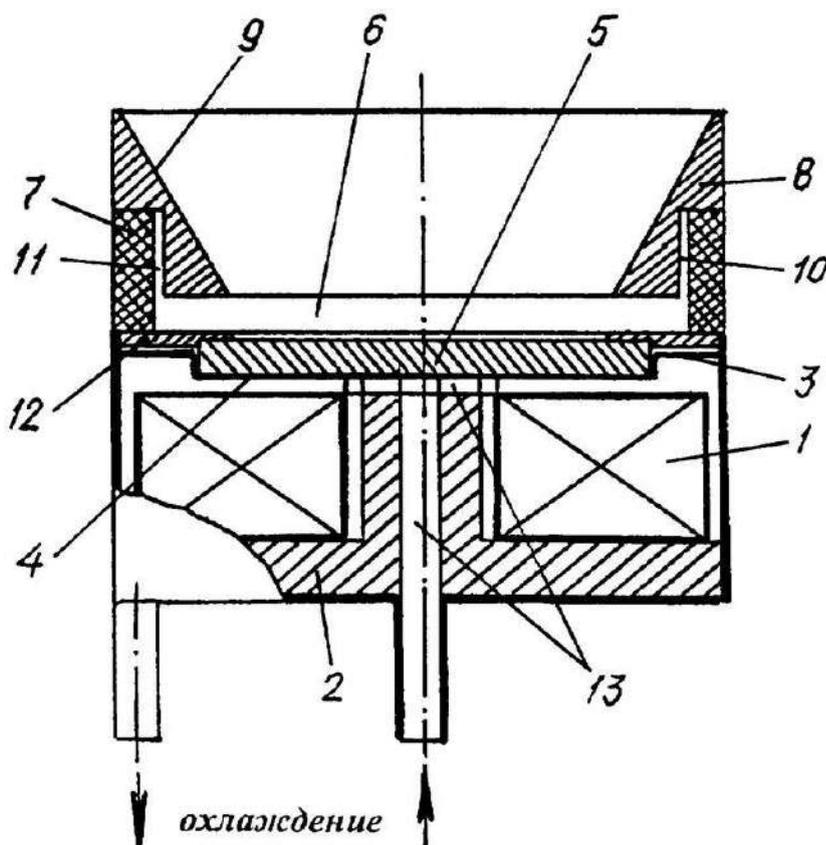


Рисунок 1 – Схема магнетрона [15].

Чтобы установить имеющиеся магнетроны [15] в установку EPOS-PVD-440 по образцу штатного фланца с помощью станка с ЧПУ CTX 510 ecoline и фрезерного станка DMU50 (DMG MORI AG, Германия) был изготовлен новый вакуумный фланец с посадочным отверстием для данного магнетрона [15] и вакуумного токовода. Для подачи рабочего напряжения был использован блок питания APEL-IS-5000A (Томск).

### **Заключение**

После исследования технических режимов магнетрона [15] в установке EPOS-PVD-440, были получены образцы нанокompозитных покрытий различной толщины, состава, и структуры. Исследовано влияние параметров осаждения на их физико-химические свойства.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Greene, Joseph E. (2017). Review Article: Tracing the recorded history of thin-film sputter deposition: From the 1800s to 2017. *Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films*. 35. 05C204. 10.1116/1.4998940.
2. A Short History: Magnetron Sputter Deposition Donald M. Mattox, SVC Bulletin Summer 2015
3. Andre Anders “Magnetron Sputtering: An Unfinished Journey”, 58th Conference of the Society of Vacuum Coaters (2015)
4. Mahieu, Stijn, Pieter Ghekiere, Diederik Depla and Roger De Gryse. “Biaxial alignment in sputter deposited thin films.” *Thin Solid Films* 515 (2006): 1229-1249.
5. Маишев, Ю. П. “Создание и развитие ионно-лучевых технологий.” *Микроэлектроника* (2019), Т. 48, № 6, стр. 403-420
6. Д.М. Аубакирова, Н.К. Ердыбаева, В.Ф. Пичугин, С.В. Плотников, Монография. Технологии получения тонких пленок специального назначения. Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2019.
7. Münz, W. D.. “Large-Scale Manufacturing of Nanoscale Multilayered Hard Coatings Deposited by Cathodic Arc/Unbalanced Magnetron Sputtering.” *MRS Bulletin* 28 (2003): 173-179.
8. Yang, Q. X., L. R. Zhao, Robin C. Mckellar and Prakash C. Patnaik. “Microstructure and mechanical properties of multi-constituent superlattice coatings.” *Vacuum* 81 (2006): 101-105.
9. Li, Dong, Xi-Wei Lin, Shang-Cong Cheng, Vinayak P. Dravid, Yip-Wah Chung, Ming Show Wong and William Dallas Sproul. “Structure and hardness studies of CN<sub>x</sub>/TiN nanocomposite coatings.” *Applied Physics Letters* 68 (1996): 1211-1213.
- 10.

11. Johansson; Linde (1925). "The X-ray determination of the atomic arrangement in the mixed-crystal series gold-copper and palladium-copper". *Annalen der Physik*. 78 (21): 439.
12. Baibich, Mario Norberto, J. M. Broto, Albert Fert, F. Nguyen Van Dau, F. Petroff, P. Etienne, Gerard Creuzet, Alain Friederich and Jean Chazelas. "Giant magnetoresistance of (001)Fe/(001)Cr magnetic superlattices." *Physical review letters* 61 21 (1988): 2472-2475
13. Fert A. Nobel Lecture: Origin, development, and future of spintronics / A. Fert // *Rev. Mod. Phys.* – 2008. – Vol. 80. – P. 1517–1530.
14. Grunberg P. A. Nobel Lecture: From spin waves to giant magnetoresistance and beyond / P. A. Grünberg // *Rev. Mod. Phys.* – 2008. – Vol. 80. – P. 1531–1540.
15. Володин В.Н., Тулеушев Ю.Ж., Требухов С.А., Ниценко А.В., Бурабаева Н.М. Получение двойных сплавов ниобия с легкоплавкими металлами осаждением наночастиц. *Izvestiya Vuzov. Tsvetnaya Metallurgiya*. 2019;(5):40-48. <https://doi.org/10.17073/0021-3438-2019-5-40-48>
16. Пат. 12752 Республики Казахстан. Магнетрон / Тулеушев А.Ж., Тулеушев Ю.Ж., Володин В.Н.; опубл. 16.02.04, Бюл. № 2.- Зс.

**ӘӨЖ 656.052.8**

Сагандыкова К.М., Сарманова А.Е, Қазғұмарова Ә.Р. (22-УДК-1, ШҚТУ),  
Конарбаева Г.Н. (магистр, ШҚТУ)

## ЖҮРГІЗУШІЛЕРДІ ДАЯРЛАУ ЖҮЙЕСІН ЖЕТІЛДІРУДІҢ КЕЙБІР СҰРАҚТАРЫ

*Аңдатпа.* Жыл сайын дүниежүзінде жол-көлік оқиғалары (ЖКО) салдарынан 1,3 миллион адам қаза табады. Миллиондаған адамдар жарақат алып өмір бақи мүгедек болады. Дүниежүзінде автомобиль апаттарынан қайтыс болу екінші орында, ол тек жүрек, қан-тамыр ауруларына ғана орын береді екен. Осының салдарынан еліміз орасан зор шығынға батады.

*Түйін сөздер:* автокөлік, жүргізуші, жол, орта, қауіпсіздік.

Жол көлік оқиғаларының болуының негізгі себебі, ол адамдардың іс-әрекеттерінің қателігінен. Жүргізушілердің қателігінен 70-80 пайыз ЖКО болса, 20-30 пайыз басқа себептер болады. Олар: техниканың ақауы, жол қозғалысын ұйымдастырудағы жетіспеушіліктер, жол жамылғысының қанағаттанарлықсыздығы және басқа да жағдайлар.

Сондықтан да әр түрлі жақсарту шараларын жүргізген кезде мынаны есте сақтау қажет, яғни автомобиль өзінен-өзі жүрмейді, оны жүргізетін, басқаратын адам. Автомобиль қателік жасамайды, ол ЖКО тудырмайды, оны жасайтын адам. Сондықтан автомобиль жасауда, жол салғанда, ЖҚҰ-да, жаңа техниканы ойлап табуда адамның мүмкіншіліктерін және психофизиологиялық ерекшеліктерін ұмытпау қажет.

Жүргізуші – көлік құралын басқаратын адам, жол бойымен малды, табынды, жүк артылған, жегілген малды немесе мініс малын айдаушы. Білім беру үрдісі кезінде жүргізуге оқыту шебері жүргізушіге теңестіріледі. Олар жол қозғалысында маңызды рөл атқарады, жолаушылар мен жүктерді тасымалдауды қамтамасыз етеді.

Жүргізушінің негізгі дағдыларына: ЖҚЕ-ні білу және сақтау, жол жағдайында дұрыс бағдарлана білу, қауіпсіз жүргізу техникасын меңгеру, төтенше жағдайларда жылдам әрекет ету қабілеті, автокөлікті тұраққа қою және маневр жасау шеберлігі жатады.

Жүргізуші «Жүргізуші – Автомобиль – Жол – Орта» (ЖАЖО) жүйесіндегі оператор ретінде көп ақпараттарды жолдан алады, яғни жолдағы қозғалатын және қозғалмайтын объектілерден, жол белгілерінен, бағдаршамдардан, жол жамылғысының жағдайынан және орта қозғалысынан.

Ол жол жағдайын бақылау мен қатар, басқару органдарының жұмысын және автомобильдің бақылау приборларын қадағалап отыруы тиіс. Сондықтан да жүргізушінің жұмысын күрделі еңбек түріне жатқызамыз. Өйткені, жүргізуші кез келген жол жағдайында жұмыс жасайды және әр сәтте түсіп жатқан ақпараттарды дұрыс қабылдап, соған орай дұрыс шешім табады.

«ЖАЖО» жүйесінде ылғи да ақпараттар алмасып отырады: автомобильден және жолдан жүргізушіге, ал жүргізушіден автомобильге басқару операциялары орындалады.

ЖҚҰ әсіресе жол қозғалысының қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін қажет. Ол өте күрделі мәселе. Бұл күрделі мәселені дұрыс шешу үшін ең кемі үш жәйді қарастыру керек. Ол жәйттер мыналар: жүргізуші, автомобиль, жол.

Осы үш жәйттің бір-біріне әсерін мұқият зер сала білу керек. Осы үшеуінің ЖКО әсерлерін зерттеу қажет. Сонда ғана ЖКО азайтудың жолдарын табуға болады. Сондықтан да «ЖАЖО» реттеу жүйесі болып табылады. Онда автомобильдің тұрысы жолмен салыстырғанда ауыспалы болып келеді, яғни жүргізуші – реттеуші, ал автомобиль реттелетін объект болады. Бұл жүйенің барлық құрылымы бір-бірімен тығыз байланыста, бір-бірін толықтырып тұрады және де бір-бірінің сенімділігімен анықталынады.

«ЖАЖО» жүйесіндегі оператор ретінде жүргізушінің сенімділігі оның түскен ақпараттарды қабылдау қабілетімен байланысты. Ақпараттарды беру және қабыдау сезім мүшелері арқылы жүзеге асады: көру, есту, бұлшық-ет қимыл және т/б.

Жүргізуші үшін көру талдауышының мәні өте зор. Ол барлық ақпараттардың 80-90 % сол арқылы алады.

Жүргізушінің жеке ерекшеліктеріне мыналар жатады: психофизиологиялық және өзіндік ерекшеліктері, профессионалды яғни шеберлік дайындық деңгейі, денсаулығының жағдайы және т/б.

Еңбек жағдайларына жататындар: жұмыс істеу орнының ерекшеліктері (басқару органдарының орналасуы, приборлар, орындық) шолушылық, көрінім, техниканың түзіктігі, кабинаның микроклиматы, жол жағдайы, қозғалыс жылдамдығы мен қарқындылығы, ЖҚҰ-дың деңгейі және т/б.

Жүргізуші еңбегіндегі ақпараттардың түсуі мен қайтадан өңделуінің іске асуын 5 кезеңге (этапқа) бөлеміз.

1) Ақпараттардың түсуі. Бірақ, кейбір кездері ақпараттардың аздығынан немесе тым көп болуынан жүргізуші үшін қиындықтар болуы мүмкін.

2) Ақпараттарды өңдеу. Ақпараттарды өңдеу кезінде негізгі фактор ол болжау болып табылады, яғни жол жағдайының өзгеруін алдын-ала көру және ЖКО болдырмау үшін реті келген қимылдарды орындау. Мысалы, тәжірибесі мол жүргізуші алдын-ала келе жатқан автомобильдің тежеуі мүмкін екенін болжап, қауіпсіз дистанцияны ұстауға тырысады немесе нашар көрінім кезінде керекті жылдамдықты ұстайды. Көп жағдайларда жүргізушінің жол жағдайын болжай білмеу салдарынан ЖКО болып жатады, яғни оның алдын-ала болжай білмеу қабілетсіздігінен.

3) Шешім қабылдау. Түсіп жатқан ақпараттарды қабылдап, қайта өңдеу нәтижесінде жүргізуші бір тиімді нәтижеге келіп шешім қабылдау қажет. Осы шешімнің дұрыстығы және дәлдігі ол жүргізушінің профессионалды тәжірибесіне тікелей тәуелді және оның өзіндік психофизиологиялық ерекшеліктеріне байланысты болып келеді.

4) Шешімді орындау. Қозғалыс жұмысы екі негізгі фазадан тұрады. Іздеу (қол мен аяқтың қимылы) және орындау (өзіндік қимыл). Қимылдардың жылдамдығы мен дәлдігі автоматтандырылған дәрежеге байланысты. Ол жетіспесе барлық қимылдар білініп және көру арқылы бақыланып отырады.

5) Орындалған қимылдарды бақылау.

Жүргізуші еңбегінің тез болуынан, кейде осы 5 этапты ажыратып дәл қалпында көрсету мүмкін емес. Олар қосылып, бірігіп, ұштасып жатулары мүмкін. Мысалы, 2 мен 3 –ші этаптарды (кезеңдерді) ажырату қиынға соғады.

Тәжірбиесі аз жүргізушілерді оқыту – бұл формалды үрдіс қана емес, жол қозғалысына қатысушылардың қауіпсіздігіне тікелей әсер ететін маңызды кезең. Статистика көрсеткендей, ең көп жол-көлік оқиғаларына тап болатындар – тәжірбиелері аз жүргізушілер. Бұл тәжірибенің жетіспеушілігіне, жолдағы жағдайларды болжай алмауға және жылдам шешім қабылдау дағдыларының әлсіздігіне байланысты.

Сапалы оқыту тек техникалық жүргізу дағдыларын үйретіп қана қоймай, жолға деген жауапкершілікті қалыптастыруға көмектеседі. Жаңа жүргізуші ЖҚЕ-ні тек жаттап қана қоймай, олардың мәнін түсініп, тәжірибеде қолдана білуі керек. Оған жол белгілерін оқу, жол таңбалауын түсіну, басымдық ережелерін сақтау және басқа қатысушыларға мұқият болу жатады.

Жүргізуші автомобильді басқаруды ғана емес, эмоцияларын бақылауды да үйренуі қажет. Агрессивті жүргізуден аулақ болу, күтпеген жағдайларға дайын болу – маңызды аспектілер.

Тәжірибелік сабақтар даярлықта үлкен рөл атқарады. Жүргізуші әртүрлі жағдайларда маневр жасауды, тұраққа қоюды, қарқынды қозғалыста жүруді және төтенше жағдайларға әрекет етуді үйренуі керек. Автокөлікті сенімді басқару тәжірибе арқылы келеді, ал нұсқаушының міндеті – болашақ жүргізушінің қорқынышын жеңіп, өзін жолда жайлы сезінуіне көмектесу.

Сондай-ақ, оқыту үрдісі жүргізу мәдениетін қалыптастыруды қамтиды. Жол – жарыс алаңы емес. Басқа жүргізушілерге құрмет көрсету, ережелерді сақтау және ақылмен әрекет ету – қауіпсіз жүргізудің негізгі қағидалары.

Осылайша, тәжірбиелері аз жүргізушілерді сапалы даярлау – жол қозғалысының қауіпсіздігіне салынған инвестиция. Бұл ұзақ уақыт пен жауапкершілікті қажет ететін процесс, бірақ нәтижесі бұған тұрарлық. Өйткені жана жүргізушінің даярлығы оның ғана емес, айналасындағы адамдардың өміріне де әсер етеді.

Эмоцияны басқару және агрессивті мінез-құлық күйзеліске толы жағдайлар жүргізушілердің агрессивті реакцияларына әкелуі мүмкін, бұл өз кезегінде апат қаупін арттырады.

Тәжірбиесі аз жүргізушілерді даярлаудағы негізгі мәселелердің бірі – оқыту әдістемесінің жетілмегендігі. Теориялық білім мен тәжірибелік дағдылар арасындағы алшақтық жас жүргізушілердің жолдағы күтпеген өзгерістерге бейімделуін қиындатады.

Мәселені шешудің бір жолы – оқыту үрдісіне инновациялық

технологияларды енгізу. Жүргізу тренажерлері, виртуалды шындық және жол жағдайларын компьютерлік модельдеу жүргізушілердің шынайы қозғалысқа барынша жақын ортада дағдыларын дамытуына мүмкіндік береді.

Сондай-ақ, жүргізушілердің психологиялық даярлығын күшейту маңызды. Стресті жеңе білу және сенімділікті арттыру – қауіпсіз жүргізудің ажырамас бөлігі.

Осылайша, жол қозғалысының қауіпсіздігін арттыру үшін білім беру бағдарламаларын жаңарту, заманауи технологияларды қолдану және психологиялық тұрақтылықты дамыту қажет. Бұл шаралар жаңа жүргізушілердің теория мен тәжірибені үйлестіруіне көмектеседі және оларды жол қозғалысының сенімді қатысушылары етеді. Осы мақсатта әртүрлі жүйелер біздің елімізде қолданылып келеді, атап айтсақ Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетінде, «Лу Бань» шеберханасында, ADAS (Advanced Driver Assistanse Sistem) жүйесі қарқынды дамып, Қытай және халықаралық серіктестермен ынтымақтастық күшейіп келеді. «Лу Бань» шеберханасында автоматтандыру, цифрлық жобалау және инженерлік шешімдерге байланысты озық технологиялар белсенді түрде енгізілуде.

ADAS (жүргізушіге көмек көрсетудің зияткерлік жүйелері) жасанды интеллект пен ақылды көлік жүйелері саласындағы бірлескен зерттеулердің арқасында барған сайын үлкен назар аударуда.

Университеттің студенттері мен оқытушылары халықаралық гранттарға, тағылымдамаларға және ғылыми жобаларға қатысып, құзыреттерін дамытып, логистика, машина жасау және басқа да салаларға инновациялық шешімдерді енгізуге ықпал етуде. Университет жаһандық цифрландыру және технологиялық өзгерістер жағдайында жұмыс істей алатын мамандарды даярлайтын маңызды орталыққа айналуда.

Лу Бань шеберханасы – біздің университет пен TVI арасындағы бірлескен жоба. Өткен жазда университет оқытушылары Тяньцзинь қаласындағы (ҚХР) Тяньцзинь кәсіптік институтында тағылымдамадан өтті.

«Көлік, көліктік техника және технологиялар» және «Тасымалдауды, қозғалысты және көлікті пайдалануды ұйымдастыру» білім беру бағдарламалары бойынша оқу жоспарлары жаңартылып қазіргі таңда жаңа оқу жоспары бойынша болашақ мамандар даярлануда.

Шеберхананың басты мақсаты – Қазақстанда автомобиль көлігіндегі озық технологиялар саласында бірегей оқу-әдістемелік база құру болып табылады.

Қазіргі уақытта жасанды интеллект адам қызметінің барлық салаларына, соның ішінде көлік инфрақұрылымы мен автомобиль өнеркәсібіне белсенді түрде енгізілуде.

Заманауи технологиялар көлік ағыны қарқынды аймақтар мен қалаларда интеллектуалды көлік жүйесін енгізуге мүмкіндік береді. Бұл зертхана «Тасымалдауды, қозғалысты және көлікті пайдалануды ұйымдастыру» білім

беру бағдарламалары бойынша көлік қызметі саласындағы білікті мамандарды даярлауға бағытталған.

Автомобильдер және оның негізгі міндеттері жүргізушіге қозғалыс жағдайын жеңуге көмектесу, көлік жүргізуді жеңілдету және қозғалыс қауіпсіздігін арттыру. ADAS мыналарды қамтиды:

- адаптивті круиздік бақылау жүйелері
- автоматты тежеу
- кептелістерге көмектесу жүйелері
- соқыр нүктелерді бақылау және жан-жақты көру мүмкіндігі
- Жолдан кету туралы ескерту жүйесі

Ал, жүргізушіге қандай да бір түрде көмектесетін басқа жүйелер кешені.

Қауіпсіз адам мен машина интерфейсімен ADAS көлік пен жол қауіпсіздігін жақсартады.

Жолды ұстауды қадағалау. Егер жүргізуші күтпеген жерден жолақтан шығып кетсе, жүйе дыбыстық ескерту береді.

Соқыр нүктелерді бақылау. Жол жағдайының мониторингін жақсартады, апаттар ықтималдығын азайтады.

Соқтығыс қаупін бағалау, тікелей соқтығысу қаупі кезінде ескерту. Критикалық қашықтықты орнату.

Рұқсат етілген жылдамдықты арттыру, күрт бұрылыстар және тежеу сияқты қауіпті маневрлерді басқару.

Жады картасына G-сенсоры арқылы (апат болған жағдайда) автоматты бейне жазу. Жүргізушіге берілген барлық ескертулерді жазу.

Соқтығыстар, аударылулар және басқа оқиғалар кезінде автоматты түрде диспетчерге ескертулер жіберіңіз. Хабарландыруларды орнату.

Жүргізушілерді даярлау үрдісінде ADAS жүйесін енгізу оқыту әдістемелерін жетілдіріп қана қоймай, жолдардағы қауіпсіздік деңгейін арттыруға, білім алушылардың жол жағдайын болжау дағдыларын қалыптастыруға және көлік құралын неғұрлым саналы басқаруға ықпал етеді. Мұндай технологияларды қолдану оқыс жағдайлардың санын азайтып қана қоймай, болашақ жүргізушілердің дайындық сапасын жақсартуға мүмкіндік береді, бұл оларды жол қозғалысына сенімді және жауапты қатысушыларға айналдырады.

#### ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. <https://adilet.zan.kz/kaz>
2. Курьянова, О.Е. Повышение безопасности дорожного движения методами совершенствования системы подготовки водителей транспортных средств / О.Е. Курьянова // Автотранспортное предприятие. – 2014. – № 6. – С. 12–16.
3. Романов, А.Н. Автотранспортная психология: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / А.Н. Романов. – М.: Академия, 2002. – 224 с.
4. <https://auto.prc.today/tag/adas-v-kitae/>

УДК 622.343.2

Сайнулдинова А.Б. (23-МОП-2, ШҚТУ), Рамазанова Р.А. (PhD, ШҚТУ)

## АҚТОҒАЙ КЕН ОРНЫНЫҢ СУЛЬФИДТІ КЕНДЕРІН ӨНДЕУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ЖЕТІЛДІРУ

***Аңдатпа.** Мақалада Ақтоғай кен орнының сульфидті мыс-молибден кенін байыту технологиясы қарастырылған. Оңтайлы технологиялардың негізгі зерттеулері қамтылған. Әр түрлі көбік түзетін реагенттерді қолданудың артықшылықтары мен кемшіліктері және флотация процесінің технологиясын жетілдіру қарастырылды. Сульфидті мыс-молибден кендерін байытудың әртүрлі тәсілдерінің тиімділігі мен экономикалық орындылығына салыстырмалы талдаулар жүргізілді. Сондай-ақ, мақалада кенді өңдеудің инновациялық әдістерінің соңғы тенденцияларына және өндірістік процестерді жақсартуға назар аударылады, мыс-молибден кенін байыту саласындағы технологияларды одан әрі дамыту перспективалары және экономика мен экологияға ықтимал әсері қарастырылады.*

***Түйін сөздер:** мыс концентраты, молибден, флотация, реагент режимі.*

Ақтоғай кен орнының сульфидті мыс-молибден кендерін байыту кезінде мыс пен молибденді бөлу үшін процестің селективтілігін, экологиялылығын және тиімділігін арттыруға бағытталған жаңа реагенттер әзірленуде.

Реагенттер флотация процесінің ең маңызды бөлігі болып табылады. Реагенттерді таңдау ең тиімді бөлу және концентрация нәтижелерін беру үшін процесс үшін үлкен маңызға ие. Осылайша, коммерциялық кәсіпорындарда реагенттерді қосуды бақылау флотация процесінің ең маңызды бөлігі болып табылады [1].

Мыс пен молибденнің бөлінуінде мыс сульфидтері мен пирит молибдениттің селективті флотациясында NaHS және Nokes сияқты Бейорганикалық реагенттердің көмегімен басылады. Алайда, бұл Бейорганикалық депрессанттар пайдалану кезінде улы  $H_2S$  газының пайда болуына байланысты қауіпсіздік пен денсаулыққа үлкен қауіп төндіреді [2]-[5]. Бұған дейін Solvay бірнеше жыл бұрын Nash-ке қауіпсіз балама ретінде Aero® 7260 HFP депрессантын енгізген болатын. Бұл технология химиялық тұрғыдан тұрақты және өнімнің ыдырауынан немесе  $H_2S$  түзілуінен қорықпай, ауамен немесе азотпен кең рН диапазонында қолдануға қауіпсіз. Solvay-дің соңғы жаңалығы-NaHS-тің 70-100% алмастыратын Aero® NR-7363 депрессоры. Бұл технология химиялық тұрғыдан тұрақты және өнімнің ыдырауынан немесе  $H_2S$  түзілуінен қорықпай, ауамен немесе азотпен кең рН диапазонында қолдану қауіпсіз. бұл мақалада NaHS 100% алмастыруды көздейтін сульфидті кенді байыту кезінде Ақтоғай кәсіпорнындағы NR-7363 Aero® зертханалық сынағының нәтижелері келтірілген. Металлургиялық нәтижелер басқа кәсіпорындарда AERO® NR-7363 мыс пен темірді жақсырақ азайту тұрғысынан артықшылықтар беретінін көрсетті, бұл концентраттағы молибденнің жоғарылауына, соңғы Молибден концентратынан Pb қоспаларын тиімдірек жоюға және молибден өндіру қондырғысының жалпы тұрақты

жұмысына әкеледі. Зауытта NaHS тұтынуды азайтудың екі негізгі стратегиясы бар: химиялық емес құралдар және химиялық технологиялар. Қазіргі химиялық емес стратегияларға мыналар жатады: а) ауадан азотқа ауысу, осылайша NaHS тотығуына жол бермейді және б) "инертті газ" опциясын қолдану. Азот опциясы азот қондырғысын орнатуды қажет етеді, бұл айтарлықтай күрделі шығындарды және қондырғыға техникалық қызмет көрсетудің тиісті шығындарын қажет етуі мүмкін. Сонымен қатар, азотты қолдану NaHS-пен байланысты қауіптерді жоймайды және NaHS-ті пайдалану кезінде кейбір кемшіліктерді жеңе алмайды.

"Инертті газ" нұсқасы сол флотациялық газды (әдетте ауаны) қайта өңдеуді қамтиды, осылайша суспензиядағы сульфидті минералдармен байланыста оттегі таусылады. Содан кейін "оттегі таусылған газды" пайдалану азотты пайдаланған кезде NaHS тұтынуына баламалы немесе жақын NaHS тұтынуына әкеледі деп күтуге болады, бірақ біздің тәжірибемізде бұл іс жүзінде олай емес. Бұл стратегия жабық/тығыздалған флотациялық камераларды және герметикалық камераларда жиналуы мүмкін және қауіпсіздікке елеулі қауіп төндіретін  $H_2S$  газын басқару үшін қосымша көмекші жабдықты пайдалануды талап етеді [6]-[8].

Жоғарыда аталған химиялық емес стратегияларды қолданған кезде де тұрақтылық алдыңғы қатарда мыс пен молибденнің бөлінуі, ол үнемі NaHS-ті қолданумен байланысты қауіптерді жоюдың басқа шешімдерін іздейді.

NaHS реагенттерінің әр түрлі ағынымен флотациялық сынақтар жүргізілді, Solvay, флотацияның негізгі Мо қуатында. Сынама алу орны-PU-425 Ақтоғай-1 сульфид фабрикасы. Сынақтар зертханалық жағдайда жүргізілді. Флотация азот пен ауа қосылған 3,5 л камера көлемі бар Essa® ftm101 бір камералы зертханалық флотация машинасында жүргізілді. Реагенттердің кондиционерлеу уақыты 15 минутты құрады. Негізгі флотацияның зертханалық уақыты-4 минут.

Таблица 1 – Молибден флотациясына келетін кеннің химиялық құрамы

Атауы	Химиялық анализ, %						
	Cu	Mo	Fe	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>	S
Бастапқы руда	21,82	0,58	28,48	2,83	1,19	11,1	36,35

2000 г/т реагенттерді дозалау кезінде алынған тест нәтижелері төменде көрсетілген:

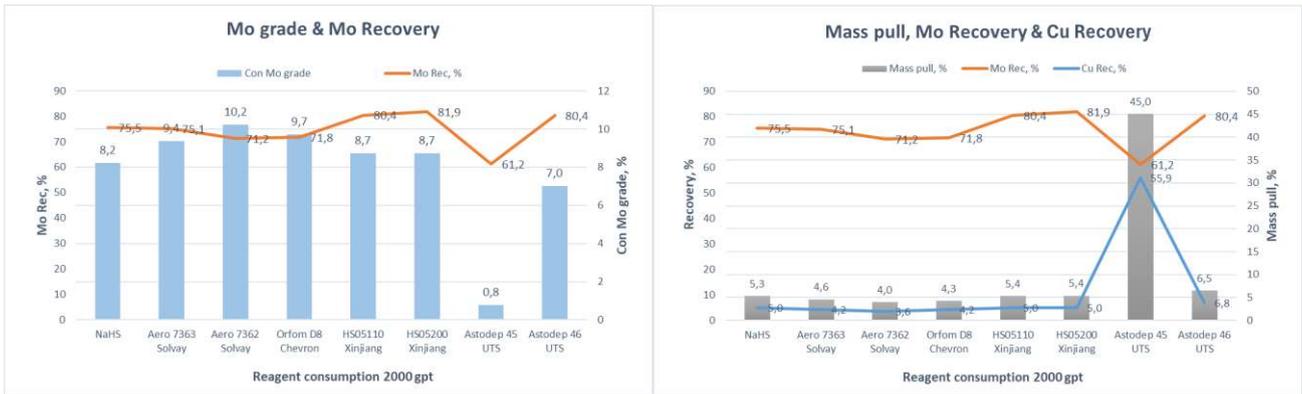


Диаграмма 1 - 2000 г/т реагенттерді дозалау кезінде алынған флотациялау тест нәтижелері

NaHS. Алғашқы алынған тазартылмаған Молибден концентратының шығымы-5,3%, молибденнің құрамы-8,2%, молибденнің алынуы – 75,5% (pH = 10,73, ОВП = - 559 mV);

Solvay Aero NR-7363. Алғашқы алынған тазартылмаған Молибден концентратының шығымы-4,6%, молибденнің құрамы-9,4%, молибденнің алынуы – 75,1% (pH = 9,57, ОВП = - 228 mV);

Solvay Aero NR-7362. Алғашқы алынған тазартылмаған Молибден концентратының шығымы-4,0%, молибденнің мөлшері-10,2%, молибденнің алынуы-71,2% (pH = 9,58, ОВП = - 214 mV).

2500 г/т реагенттерді дозалау кезінде алынған тест нәтижелері төменде көрсетілген:

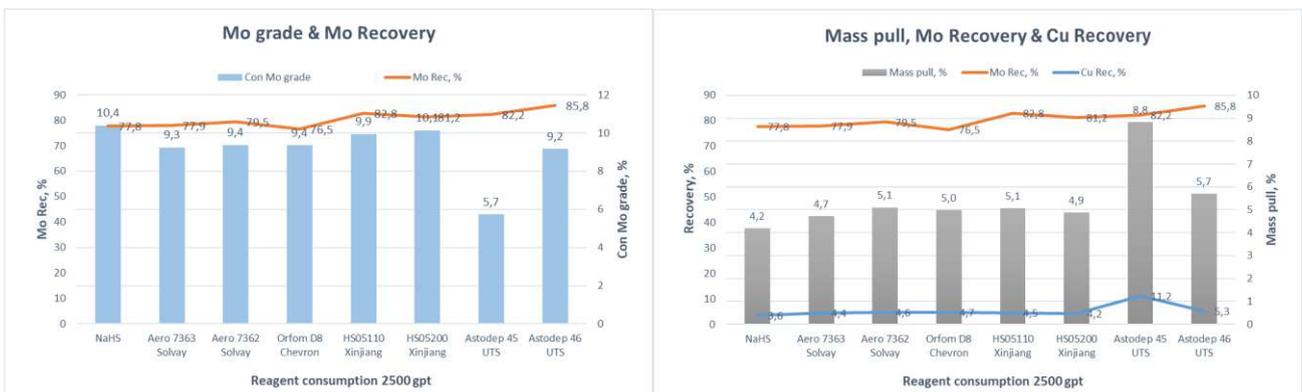


Диаграмма 2 - 2500 г/т реагенттерді дозалау кезінде алынған флотациялау тест нәтижелері

2500 г/т реагенттерді дозалау кезінде алынған тест нәтижелері:

NaHS. Алғашқы алынған тазартылмаған Молибден концентратының шығымы-4,2%, молибденнің құрамы-10,4%, молибденнің алынуы – 77,8% (pH = 10,75, ОВП = - 565 mV);

Solvay Aero NR-7363. Алғашқы алынған тазартылмаған Молибден концентратының шығымы-4,7%, молибденнің құрамы-9,3%, молибденнің алынуы – 77,9% (pH = 9,7, ОВП = - 240 mV);

Solvay Aero NR-7362. Алғашқы алынған тазартылмаған Молибден концентратының шығымы-5,1%, молибденнің құрамы-9,4%, молибденнің алынуы-79,5% (pH = 9,6, ОВП = - 265 mV).

3000 г/т реагенттерді дозалау кезінде алынған тест нәтижелері:

NaHS. Алғашқы алынған тазартылмаған Молибден концентратының шығымы-4,4%, молибденнің құрамы-9,8%, молибденнің алынуы – 81,7% (pH = 11,37, ОВП = - 568 mV);

Solvay Aero NR-7363. Алғашқы алынған тазартылмаған Молибден концентратының шығымы-7,1%, молибденнің құрамы-6,5%, молибденнің алынуы – 85,8% (pH = 10,15, ОВП = - 283 mV);

Solvay Aero NR-7362. Алғашқы алынған тазартылмаған Молибден концентратының шығымы-5,0%, молибденнің мөлшері 8,8%, молибденнің алынуы-82,4% (pH = 10,14, ОВП = - 311 mV).

3500 г/т реагенттерді дозалау кезінде алынған тест нәтижелері:

NaHS. Алғашқы алынған тазартылмаған Молибден концентратының шығымы-5,3%, молибденнің құрамы-6,6%, молибденнің алынуы – 80,2% (pH = 11,37, ОВП = - 573 mV);

Solvay Aero NR-7363. Алғашқы алынған тазартылмаған Молибден концентратының шығымы-6,0%, молибденнің құрамы-5,6%, молибденнің алынуы – 76,2% (pH = 10,12, ОВП = - 283 mV);

Solvay Aero NR-7362. Алғашқы алынған тазартылмаған Молибден концентратының шығымы-5,9%, молибденнің құрамы-5,8%, молибденнің алынуы-78,3% (pH = 10,21, ОВП = - 338 mV).

Қорытындылар:

NaHS 3000 г/т – 81,7%, Молибден концентратының сапасы 9,8% болған кезде ең жақсы Молибден экстракциясына қол жеткізді.

Solvay AERO NR-7363 3000 г/т – 85,3%, Молибден концентратының сапасы 6,5% болған кезде ең жақсы Молибден экстракциясына қол жеткізді%

Solvay AERO NR-7362 3000 г/т – 82,4%, Молибден концентратының сапасы 8,8% болған кезде ең жақсы Молибден экстракциясына қол жеткізді%.

Осы мақалада талқыланған депрессордың жаңа химиялық құрамы-тұтқырлығы өте төмен, иісі аз сулы ерітінді. Ол бірден суда ериді, сондықтан контурға толық концентрацияда қосылуы мүмкін. Ол целлюлозаның тотығу-тотықсыздану потенциалын айтарлықтай өзгертпейді, ал депрессиялық механизм ОВП-ны реттеуді немесе бақылауды қажет етпейді.

Aero Aero nr 7362, AERO NR 7363 оңтайлы жұмыс істеуі үшін маңызды флотация параметрлері, мысалы, кондиционерлеу уақыты, қосу нүктесі, pH, % қатты заттар және дозалар зауыттық сынақтар алдында зертханалық сынақтар арқылы жақсы анықталады. Әдетте Молибден фабрикасында өңделетін типтер мен минералогиялық кендердің кең спектрін қамту үшін біркатар Зертханалық сынақ бағдарламалары ұсынылады.

AERO® NR-7363 химиялық тұрғыдан тұрақты, сондықтан сақтау, тасымалдау немесе өндірістік процестердің кең ауқымында қауіпті газдар шығармайды. Осылайша, оны 5-тен 12,5-ке дейінгі кең рН диапазонында қауіпті  $H_2S$  пайда болуына әкелетін ыдыраудан қорықпай қолдануға болады. Оны ауа жағдайында дозаға әсер етпестен де қолдануға болады, өйткені ол NaHS сияқты тотықпайды. Бұл қасиеттер AERO® NR-7363-ті NaHS,  $Na_2S$  немесе Nokes-ке қауіпсіз, практикалық және тұрақты балама етеді. 7362, AERO NR 7363 оңтайлы жұмыс істеуі үшін маңызды флотация параметрлері, мысалы, кондиционерлеу уақыты, қосу нүктесі, рН, % қатты заттар және дозалар зауыттық сынақтар алдында зертханалық сынақтар арқылы жақсы анықталады. Әдетте Молибден фабрикасында өнделетін типтер мен минералогиялық кендердің кең спектрін қамту үшін бірқатар Зертханалық сынақ бағдарламалары ұсынылады.

AERO® NR-7363 химиялық тұрғыдан тұрақты, сондықтан сақтау, тасымалдау немесе өндірістік процестердің кең ауқымында қауіпті газдар шығармайды. Осылайша, оны 5-тен 12,5-ке дейінгі кең рН диапазонында қауіпті  $H_2S$  пайда болуына әкелетін ыдыраудан қорықпай қолдануға болады. Оны ауа жағдайында дозаға әсер етпестен де қолдануға болады, өйткені ол NaHS сияқты тотықпайды. Бұл қасиеттер AERO® NR-7363-ті NaHS,  $Na_2S$  немесе Nokes-ке қауіпсіз, практикалық және тұрақты балама етеді.

NaHS сияқты Бейорганикалық депрессорлар көптеген кемшіліктерге, соның ішінде денсаулыққа, қауіпсіздікке және қоршаған ортаға жағымсыз сипаттамаларына, үлкен дозаларға және соның салдарынан үлкен өңдеу шығындарына қарамастан, мыс пен молибденді бөлу үшін қолданылатын дәстүрлі химиялық заттар болып қала береді. Бұл депрессанттарды одан әрі қолданудың басты себебі-тартымды баламалардың болмауы. Бұл мақаланың мақсаты жақында Solvay әзірлеген AERO NR 7363 жаңа инновациясын ұсыну және талқылау болды. AERO NR 7363 қазіргі уақытта қолданылатын бейорганикалық қосылыстарға қарағанда көптеген артықшылықтар ұсынады. Мысал ретінде, бұл мақалада AERO NR 7363 әртүрлі минералогиялық процестер үшін мыс сульфидінің тиімді депрессоры болып табылатынын және дозаның арақатынасы мен өңдеу шығындарының төмендеуін қамтамасыз ететінін көрсететін Ақтоғай байыту фабрикасында зертханалық жұмыстарды жүргізу деректері келтірілген. Бұл да салыстырмалы түрде қауіпті емес. Осылайша, Aero NR 7363 пайдалану металлургияны жақсартуға қабілетті үнемді және қауіпсіз балама ретінде мыс пен молибденді бөлудің бірнеше мәселелерін шеше алады.

#### ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Shang, Y., Ling, S., Liu, T. New Flotation Reagents for Copper–Molybdenum Ore // The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. - 2023. - P. 97-104.
2. Bulatovic, S.R. Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice. - Elsevier, 2007. - 458 p.

3. Vocharov, V.A., Khachatryan, L.S., Ignatkina, V.A., Baatarkhuu, Zh. О выборе способов разделения сульфидного медно-молибденового концентрата с использованием высокомолекулярных органических депрессоров // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2007. - № 8. - С. 24-25.

4. Chevron Phillips Chemical. Orfom® D8 Depressant. - 2018.

5. Miki, H., Hirajima, T., Sasaki, K. Effect of Sodium Hypochlorite as a Depressant for Copper Species in Cu-Mo Flotation Separation // Minerals Engineering. - 2023. - Vol. 206.

6. Гришаев, С.И., Посысоева, Д.С. Использование сульфида и гидросульфида натрия горно-обогатительными предприятиями России // Горный журнал. - 2015. - № 6. - С. 42-46.

7. Miki, H., Hirajima, T., Muta, Y., Suyantara, G.P.W., Sasaki, K. Effect of Sodium Sulfite on Floatability of Chalcopyrite and Molybdenite // Minerals. - 2018. - Vol. 8, No. 4. - P. 172.

8. Li, M., Wei, D., Liu, Q., Liu, W. Flotation Separation of Copper-Molybdenum Sulfides Using Chitosan as a Selective Depressant // Journal of Cleaner Production. - 2023.

**УДК 519.8**

Сайнулдинова Б. (25-ММА-2з, ВКТУ), Мукашева Р.У. (к.т.н, ВКТУ)

**МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ДВОЙСТВЕННОЙ ЗАДАЧИ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ К БОЛЬШИМ ДАННЫМ**

***Аннотация.** В статье рассматриваются методы решения двойственной задачи линейного программирования и их использование при обработке больших данных. Рассмотрены основные подходы к решению задач линейного программирования, включая симплекс-метод и методы внутренней точки, а также их применение в контексте обработки больших объёмов данных. Особое внимание уделено применению этих методов в таких областях, как машинное обучение, оптимизация производственных процессов и анализ данных. Проведён анализ экономической целесообразности и перспектив использования методов ЛП в условиях больших данных. Предложены пути решения проблем, возникающих при обработке больших объёмов информации.*

***Ключевые слова:** линейное программирование, двойственная задача, симплекс-метод, методы внутренней точки, большие данные, оптимизация, машинное обучение.*

***Введение.** Линейное программирование (ЛП) является одним из ключевых инструментов математического моделирования и оптимизации, применяемым в различных областях, таких как экономика, логистика, производство и наука о данных. В условиях стремительного роста объёмов данных (big data) методы ЛП становятся особенно актуальными, так как позволяют эффективно решать задачи оптимизации в реальном времени. Однако обработка больших данных требует адаптации традиционных методов ЛП, таких как симплекс-метод и методы внутренней точки, к новым вызовам, связанным с высокой размерностью и сложностью данных.*

*Одним из важнейших аспектов линейного программирования является двойственная задача. Для каждой задачи линейного программирования можно составить её двойственную задачу, которая даёт дополнительную информацию о решении оригинальной задачи. Это позволяет найти более эффективные методы решения и предоставляет новые подходы к анализу [6].*

*С развитием технологий и увеличением объёмов данных использование линейного программирования становится всё более актуальным, особенно в контексте больших данных. [3]. Обработка больших данных требует применения мощных методов оптимизации для извлечения полезной информации и принятия решений в реальном времени. В этой статье мы рассмотрим основные методы решения двойственной задачи линейного программирования и их использование в задачах обработки больших данных.*

***Постановка задачи линейного программирования.** Задача линейного программирования может быть сформулирована следующим образом:*

Максимизировать целевую функцию:

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

при условии, что:

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2 \\ \dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m \end{cases}$$

где  $x_1, x_2, \dots, x_n$  - переменные задачи,  $c_1, c_2, \dots, c_n$  - коэффициенты целевой функции,  $a_{ij}$ - коэффициенты ограничений, а  $b_1, b_2, \dots, b_m$ - правые части ограничений. Задача заключается в нахождении таких значений переменных  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , которые максимизируют целевую функцию  $Z$ , удовлетворяя при этом всем ограничениям [4].

Каждую задачу линейного программирования можно преобразовать в двойственную задачу. Двойственная задача позволяет получить дополнительные сведения о решении исходной задачи и может быть решена с помощью тех же методов [7]. Для приведённой задачи линейного программирования двойственная задача будет выглядеть следующим образом. Минимизировать:

$$W = b_1y_1 + b_2y_2 + \dots + b_my_m$$

при условии:

$$\begin{cases} a_{11}y_1 + a_{21}y_2 + \dots + a_{m1}y_m \geq c_1 \\ a_{12}y_1 + a_{22}y_2 + \dots + a_{m2}y_m \geq c_2 \\ \dots \\ a_{1n}y_1 + a_{2n}y_2 + \dots + a_{mn}y_m \geq c_n \end{cases}$$

где  $y_1, y_2, \dots, y_n$  — переменные двойственной задачи, а  $W$  — минимизируемая функция.

Двойственная задача позволяет нам искать решение с противоположной целью (минимизация вместо максимизации), а также даёт дополнительные экономические интерпретации решения, такие как оценка чувствительности и предельных изменений.

*Методы исследования.* В данной работе использовались следующие методы исследования:

Теоретический анализ - изучение основ линейного программирования, включая постановку задачи, двойственность и методы решения (симплекс-метод и методы внутренней точки).

Сравнительный анализ - сопоставление эффективности симплекс-метода и методов внутренней точки в условиях больших данных.

Прикладной анализ - рассмотрение применения методов ЛП в реальных задачах, таких как машинное обучение, логистика и финансовый анализ.

*Методы решения задач линейного программирования.* Для решения задач линейного программирования существует несколько методов, каждый

из которых имеет свои особенности и преимущества в зависимости от типа задачи.

- Симплекс-метод. Симплекс-метод является одним из наиболее известных и широко используемых методов решения задач линейного программирования. Он базируется на перемещении по вершинам многогранника, который определяет область допустимых решений. На каждом шаге симплекс-метод перемещается по ребрам многогранника, улучшая значение целевой функции, пока не будет найдено оптимальное решение [2].

Хотя симплекс-метод может работать достаточно быстро для задач средней сложности, в некоторых случаях он может занять длительное время из-за большого числа возможных вершин многогранника. Однако, в реальных приложениях симплекс-метод часто демонстрирует хорошую эффективность и может использоваться для решения задач с умеренным числом переменных и ограничений [5].

-Методы внутренней точки. Методы внутренней точки являются альтернативой симплекс-методу и представляют собой группу алгоритмов, которые решают задачу линейного программирования, двигаясь по внутренности области допустимых решений. В отличие от симплекс-метода, который перемещается по вершинам многогранника, методы внутренней точки используют кривые траектории для нахождения оптимального решения.

Методы внутренней точки стали популярны с конца 1980-х годов благодаря своей способности эффективно решать задачи с большим числом переменных и ограничений. Эти методы гарантируют нахождение решения за полиномиальное количество шагов и часто используются для решения задач с большими размерами.

В эпоху больших данных объёмы информации, которые необходимо обрабатывать, значительно возросли. Решение задач оптимизации с использованием линейного программирования стало неотъемлемой частью многих приложений, включая анализ данных, машинное обучение и другие области.

Линейное программирование широко используется для оптимизации моделей в машинном обучении. Например, метод опорных векторов (SVM) для классификации является классическим примером применения линейного программирования. В таких задачах линейное программирование используется для нахождения оптимальных границ раздела между классами [8].

Для больших данных задачи оптимизации могут включать большое количество признаков и примеров, что делает использование эффективных методов линейного программирования (например, методов внутренней точки) необходимым для обеспечения быстрого и точного обучения моделей [9].

В финансовом анализе и прогнозировании линейное программирование используется для решения задач оптимизации портфелей, минимизации рисков и принятия решений в условиях неопределенности. Использование

двойственной задачи позволяет улучшить точность прогноза и учесть дополнительные экономические факторы.

Примером может служить оптимизация производства или управление запасами, где нужно учесть ограниченные ресурсы и максимизировать прибыль или минимизировать затраты.

В логистике и управлении цепями поставок задачи линейного программирования часто используются для оптимизации маршрутов доставки, распределения ресурсов и минимизации времени простоя. Задачи могут включать большое количество переменных и ограничений, что делает методы внутренней точки особенно полезными при решении таких задач [10].

Таблица 1 – Сравнение методов решения двойственных задач

Методы	Применение	Преимущества	Ограничения
Симплекс-метод	Оптимизация ресурсов	Высокая точность	Плохо масштабируется
Метод внутренней точки	Машинное обучение	Быстрая сходимость	Высокая вычислительная сложность
Двойственный симплекс-метод	Управление запасами	Устойчив к ограничениям	Требует большого объема памяти

Каждый метод решения линейного программирования имеет свои достоинства и недостатки, которые делают его подходящим для определённых типов задач.

Преимущества: простота в реализации и широкое распространение, способность решать задачи средней сложности (симплекс-метод), высокая эффективность при решении задач с большим числом переменных и ограничений, полиномиальная сложность (методы внутренней точки)

Недостатки: может быть медленным для задач с огромным числом переменных, возможны проблемы с масштабируемостью (симплекс-метод), требуют значительных вычислительных ресурсов для задач очень больших размеров (методы внутренней точки).

*Обсуждение.* Результаты исследования демонстрируют, что методы линейного программирования, включая симплекс-метод и методы внутренней точки, остаются актуальными в условиях больших данных. Однако их применение требует учёта специфики задач и ограничений, связанных с высокой размерностью и вычислительной сложностью. Симплекс-метод показал свою эффективность для задач средней размерности, но его применение в условиях больших данных ограничено из-за проблем с масштабируемостью. В то же время методы внутренней точки демонстрируют высокую производительность при работе с большими объёмами данных, что делает их предпочтительными для задач машинного обучения и анализа данных.

*Заключение.* Методы линейного программирования, включая симплекс-метод и методы внутренней точки, остаются важными инструментами для решения задач оптимизации в условиях больших данных. Двойственная задача ЛП предоставляет дополнительные возможности для анализа и повышения эффективности решений. В будущем развитие вычислительных технологий и алгоритмов оптимизации откроет новые перспективы для применения ЛП в различных областях, таких как машинное обучение, финансы и логистика.

Кроме того, применение линейного программирования в таких сферах, как финансовый анализ, логистика и управление цепями поставок, помогает не только минимизировать затраты, но и улучшить управление рисками, оптимизировать маршруты и распределение ресурсов. Несмотря на всё это, существуют ограничения, такие как высокая вычислительная сложность или проблемы с масштабируемостью для очень крупных задач.

Таким образом, методы линейного программирования продолжают оставаться важным инструментом в решении реальных задач и имеют огромный потенциал для дальнейшего развития. В будущем можно ожидать расширение их применения, особенно с учётом развития технологий обработки данных и вычислительных мощностей, что откроет новые возможности для оптимизации и анализа данных [1].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилов В.А. Теория и практика линейного программирования. - М.: Наука, 2010.
2. Меликян И.А. Методы решения задач линейного программирования. - М.: ВШ, 2005.
3. Левин М.Л. Введение в линейное программирование и его приложения. – СПб.: Питер, 2012.
4. Черненко О.П. Применение линейного программирования в задачах оптимизации данных. – М.: Энергоатомиздат, 2018.
5. Бен-Тал А., Злоцкий Г. Применение методов оптимизации в больших данных. – М.: Научный мир, 2019.
6. Денищев Ю.А. Линейное программирование: теория, алгоритмы, приложения. – М.: Физматлит, 2007.
7. Вильямс Д. Методы оптимизации и линейное программирование. – М.: Мир, 2005.
8. Вачков Г.П., Мельник Г.С. Теория и методы линейного программирования. – Харьков: ХНУРЕ, 2011.
9. Куликов И.И. Алгоритмы линейного программирования и их применение. – СПб.: БХВ-Петербург, 2015.
10. Гербер К. Оптимизация больших данных с использованием линейного программирования. – М.: АС, 2018.

**ӘОЖ 517.9**

Солтанбекова Қ.Қ. (оқытушы, ШҚТУ), Мухамедова Р.О. (аға оқытушы, ШҚТУ), Рахметуллина Ж.Т. (ф.-м.ғ.к., ШҚТУ)

**ДЮАМЕЛЬ ЖӘНЕ ГРИН ОПЕРАТОРЛАР ӘДІСТЕРІНЕ ШОЛУ**

*Аңдатпа.* Бұл мақалада Дюамель операторлары әдісінің және Грин операторлары әдісінің теориялық негіздері мен олардың дифференциалдық теңдеулерді шешудегі қолдану аймақтары қарастырылады. Дюамель әдісі уақытқа тәуелді жүйелердің жауап беруін суперпозиция ретінде көрсетуге негізделген болса, Грин операторы әдісі шекаралық шарттары бар дифференциалдық теңдеулерді шешуге мүмкіндік береді. Бұл әдістер механикалық жүйелерде, жылу өткізгіштік есептерінде және электр тізбектеріндегі уақыт бойынша өзгеретін процестерді модельдеуде кеңінен қолданылады. Сонымен қатар, мақалада әдістерді қолданудың мысалдары мен есептеу тәсілдері көрсетілген.

*Түйін сөздер:* Дюамель әдісі, Грин әдісі, дифференциалдық теңдеу, операторлық әдіс, импульстік реакция, Грин функциясы, жылу өткізгіштік, механикалық тербелістер.

Дюамель әдісі – уақыт бойынша өзгеретін күштер әсер ететін сызықты емес жүйелердің жауап беруін талдауға арналған математикалық әдіс. Бұл әдіс динамикалық жүйелерді модельдеу кезінде маңызды рөл атқарады. Ол механика, физика, электротехника және басқа да қолданбалы ғылым салаларында кеңінен қолданылады. Әдістің негізгі ерекшелігі – уақыт бойынша айнымалы күштердің әсерін интегралдық түрдегі өрнек арқылы сипаттау мүмкіндігі.

*Дюамель әдісінің теориялық негіздері.*

Жүйенің жауап функциясы ( $\mathbf{G}(t, \tau)$ ) белгілі болса, сыртқы әсерден пайда болатын жауап интеграл түрінде беріледі:

$$\mathbf{u}(t) = \int_0^t \mathbf{G}(t, \tau) \mathbf{f}(\tau) d\tau, \quad (1)$$

мұндағы:

- ( $\mathbf{G}(t, \tau)$ ) – жүйенің импульстік реакциясы (Грин функциясы),
- ( $\mathbf{f}(\tau)$ ) – жүйеге түсірілген сыртқы әсер,
- ( $\mathbf{u}(t)$ ) – жүйенің уақыт бойынша жауап беру функциясы.

Бұл теңдеу уақыт бойынша айнымалы күштердің әсерін есептеуге мүмкіндік береді. Әдістің басты артықшылығы – күрделі уақыттық өзгерістерге ие күштерді есептеуге қолайлылығы.

*Жылу өткізгіштік есептері.*

Дюамель әдісі жылу өткізгіштік теңдеулерін шешуде қолданылады. Егер бірөлшемді жылуөткізгіштік теңдеуі:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \mathbf{f}(x, t) \quad (2)$$

түрінде берілсе, онда оның шешімі бастапқы және шекаралық шарттарға

байланысты Дюамель интегралы арқылы анықталады.

Есеп 1: Біртекті стерженьнің бір шетіне уақыт бойынша өзгеретін жылу көзі әсер етеді. Дюамель әдісі арқылы стерженьнің температуралық өзгерісін табыңыз.

Шешімі:

Температураның таралуын сипаттайтын шешім интегралдық түрге келтіріледі:

$$\mathbf{u}(\mathbf{x}, t) = \int_0^t \mathbf{G}(\mathbf{x}, t - \tau) \mathbf{q}(\tau) d\tau. \quad (3)$$

мұндағы  $(\mathbf{G}(\mathbf{x}, t - \tau))$  – жылуөткізгіштік теңдеуінің импульстік реакциясы,  $(\mathbf{q}(\tau))$  – сыртқы жылу әсері. Интегралды есептеу арқылы уақытқа тәуелді температура өрісі анықталады.

*Электротехникадағы қолданысы.*

Дюамель әдісі электр тізбектеріндегі айнымалы ток процестерін талдау үшін қолданылады.

Есеп 2: RL тізбегіне уақыт бойынша өзгеретін кернеу көзі қосылған. Дюамель әдісін қолданып токтың уақытқа байланысты өзгерісін табыңыз.

Шешімі:

RL тізбегінің дифференциалдық теңдеуі:

$$L \frac{di}{dt} + Ri = V(t) \quad (4)$$

болады. Бұл теңдеудің шешімі Дюамель интегралы арқылы өрнектеледі:

$$\mathbf{i}(t) = \frac{1}{L} \int_0^t e^{-R/L(t-\tau)} V(\tau) d\tau. \quad (5)$$

Берілген  $(V(t))$  функциясына сәйкес интеграл есептеліп, токтың уақытқа байланысты өзгерісі анықталады.

*Механикалық тербелістер.*

Серіппелі-демпферлік жүйелерде Дюамель операторы уақыт бойынша айнымалы күш әсерін есептеу үшін қолданылады.

Есеп 3: Массасы  $(m)$ , серіппе қатандығы  $(k)$ , демпферлік коэффициенті  $(c)$  болатын тербелмелі жүйеге  $(F(t))$  күші әсер етеді. Дюамель әдісін қолданып жүйенің тербеліс теңдеуін шешіңіз.

Шешімі:

Жүйенің қозғалыс теңдеуі:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = F(t) \quad (6)$$

Осы теңдеудің импульстік реакциясы белгілі болған жағдайда, жалпы шешім:

$$\mathbf{x}(t) = \int_0^t \mathbf{G}(t - \tau) F(\tau) d\tau. \quad (7)$$

Дюамель әдісі – уақытқа байланысты сыртқы әсерлерге жүйенің жауап беруін есептеуге арналған тиімді математикалық құрал. Бұл әдіс дифференциалдық теңдеулерді шешу, механикалық және жылулық жүйелерді талдау үшін қолданылады. Болашақта бұл әдісті әртүрлі салаларда қолдану мүмкіндіктерін зерттеу маңызды.

*Грин операторы.*

Грин операторы әдісі дифференциалдық теңдеулердің шешімін табудың қуатты әдістерінің бірі болып табылады. Бұл әдіс күрделі шекаралық шарттары бар теңдеулерді шешуге мүмкіндік береді және механика, физика, инженерия салаларында кеңінен қолданылады.

Грин операторы  $G$  – Грин функциясын қолдану арқылы дифференциалдық теңдеудің шешімін бейнелейтін оператор. Егер  $Lu = f$  түріндегі дифференциалдық теңдеу берілсе, онда оның шешімі:

$$u(x) = Gf(x) = \int G(x, \xi)f(\xi)d\xi$$

түрінде өрнектеледі. Мұнда  $G$  операторы келесі қасиеттерге ие:

- **Сызықтылық:** Егер  $f_1$  және  $f_2$  екі функция болса, онда  $G(f_1 + f_2) = Gf_1 + Gf_2$ .
- **Кері оператор ретіндегі рөлі:**  $LGf = f$ , яғни  $G$  операторы  $L$  операторына кері оператор қызметін атқарады.

Грин функциясын табудың бірнеше әдісі бар:

1. **Фурье әдісі** – дифференциалдық теңдеуді Фурье түрлендіруі арқылы шешу.
2. **Іргелі шешім әдісі** – Грин функциясын дифференциалдық теңдеудің іргелі шешімі ретінде құру.
3. **Шекаралық шарттарды қолдану** – берілген аймақтың геометриясына байланысты Грин функциясын анықтау.

Грин функциясы сызықты дифференциалдық теңдеудің негізгі шешімдерінің бірі болып табылады және ол келесі теңдеуді қанағаттандырады:

$$LG(x, \xi) = \delta(x - \xi), \quad (8)$$

мұндағы  $L$ – дифференциалдық оператор,  $\delta(x - \xi)$ – Дирак дельта-функциясы. Грин функциясы көмегімен теңдеудің жалпы шешімі мына түрде жазылады:

$$u(x) = \int G(x, \xi)f(\xi)d\xi. \quad (9)$$

Грин әдісі жылу өткізгіштік, толқындық қозғалыс, электр өрістері және серпімділік теориясында жиі қолданылады.

Есеп 1: Бір өлшемді Пуассон теңдеуі берілген:

$$\frac{d^2u}{dx^2} = -f(x),$$

$u(0) = 0, u(L) = 0$  шекті шарттарымен Грин функциясы арқылы шешімді табыңыз.

Шешімі: Грин функциясы келесі түрде анықталады:

$$G(x, \xi) = \begin{cases} \frac{x(L-\xi)}{L}, & x < \xi, \\ \frac{\xi(L-x)}{L}, & x > \xi. \end{cases} \quad (10)$$

Сондықтан шешім келесі интегралмен анықталады:

$$u(x) = \int_0^L G(x, \xi) f(\xi) d\xi.$$

Есеп 2: Жылу өткізгіштік теңдеуі берілген:

$$\frac{\partial u}{\partial t} - a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = f(x, t). \quad (11)$$

Грин функциясын анықтап, шешімді табыңыз.

Шешімі:

Бұл есептің Грин функциясы келесі түрде беріледі:

$$G(x, t; \xi, \tau) = \frac{1}{\sqrt{4\pi a^2(t-\tau)}} e^{-\frac{(x-\xi)^2}{4a^2(t-\tau)}},$$

мұндағы  $t > \tau$ . Жүйенің жалпы шешімі:

$$u(x, t) = \int_0^t \int_{-\infty}^{\infty} G(x, t; \xi, \tau) f(\xi, \tau) d\xi d\tau.$$

Есеп 3: Толқындық теңдеу үшін Грин функциясын қолданып, нүктелік бастапқы импульс әсерінен пайда болатын толқынның таралуын анықтаңыз.

Шешімі: Толқындық теңдеудің Грин функциясы мына түрде өрнектеледі:

$$G(x, t; \xi, \tau) = \frac{1}{2} \Theta(t - |x - \xi|), \quad (12)$$

мұндағы  $\Theta(t)$  – Хевисайд функциясы. Осылайша, толқынның таралуы:

$$u(x, t) = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} f(\xi, t - |x - \xi|) d\xi.$$

Есеп 4: Бір өлшемді Лаплас теңдеуі:

$$\frac{d^2 u}{dx^2} = 0,$$

шекті шарттарымен  $u(0) = A, u(L) = B$ . Грин функциясы арқылы шешімді табыңыз.

Шешімі: Грин функциясы келесі түрде анықталады:

$$G(x, \xi) = \begin{cases} \frac{x}{L}, & x < \xi, \\ \frac{L-x}{L}, & x > \xi. \end{cases}$$

Шешім:

$$u(x) = A + (B - A) \frac{x}{L}.$$

Есеп 5: Бір өлшемді диффузия теңдеуі:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = D \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$$

мұндағы  $D$  – диффузия коэффициенті. Бастапқы шарт  $u(x,0) = f(x)$ . Грин функциясын қолданып шешіңіз.

Шешімі: Диффузия теңдеуі үшін Грин функциясы:

$$G(x, t; \xi, \tau) = \frac{1}{\sqrt{4\pi D(t - \tau)}} e^{-\frac{(x - \xi)^2}{4D(t - \tau)}}.$$

Шешім:

$$u(x, t) = \int_{-\infty}^{\infty} G(x, t; \xi, 0) f(\xi) d\xi.$$

Дюамель және Грин операторлары әдістері дифференциалдық теңдеулерді шешудің тиімді құралдары болып табылады. Дюамель әдісі уақытқа тәуелді жүйелердің динамикалық қасиеттерін зерттеуге мүмкіндік береді, ал Грин операторы әдісі күрделі шекаралық шарттары бар есептерді шешуде маңызды рөл атқарады. Бұл әдістер механика, физика және инженерия салаларында кеңінен қолданылады және олардың қолдану аясы әлі де кеңейіп келеді. Келешекте бұл әдістерді сандық есептеу әдістерімен біріктіріп, нақты қолданбалы есептерде пайдалану өзекті бағыттардың бірі болып қала береді.

#### ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Власов А. И., Филин С. С., Кривошеин А. И. Концепция универсального интеллектуального смарт-автомата // Пром-Инжиниринг. - 2024. - № 5. - С. 113-158.
2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. - М.: Наука, 2023.
3. Струминский В. В. Методы решения интегральных уравнений. - СПб.: Лань, 2022.
4. Арнольд В. И. Обыкновенные дифференциальные уравнения. - М.: Наука, 2020.
5. Крейн М. Г., Лифшиц А. Ю. Основы дифференциальных операторов. - М.: Физматлит, 2019.
6. Гук И. Закон упругости и механические колебания. - СПб.: Лань, 2021.
7. Грин Дж. Методы решения дифференциальных уравнений. - М.: Мир, 2017.

**УДК 519.6**

Тлеужанов М.О. (ММА-25-2з, ВКТУ), Мукашева Р.У. (к.т.н. ВКТУ), Калиева К.С. (к.и.н., ВКТУ)

**ИНСТРУМЕНТЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЕКТА В МАТЕМАТИКЕ**

***Аннотация.** В статье рассматриваются современные инструменты искусственного интеллекта (ИИ), применяемые для обучения математике. Анализируются возможности таких приложений, как Julius AI, Socratic, Photomath, MathGPTPro, Mathway, Symbolab, GeoGebra и MathPara, которые помогают студентам и преподавателям решать сложные математические задачи, визуализировать концепции и улучшать понимание математических принципов. Особое внимание уделяется интеграции ИИ в образовательный процесс, что открывает новые возможности для повышения эффективности обучения.*

***Ключевые слова:** Приложение, искусственный интеллект, точность решения, математические уравнения, визуализация, интерактивное обучение.*

Современные технологии искусственного интеллекта активно внедряются в образовательную сферу, предоставляя новые инструменты для обучения и решения задач. Математика, как одна из наиболее сложных дисциплин, требует не только теоретических знаний, но и практических навыков решения задач. В этой связи, инструменты ИИ становятся незаменимыми помощниками для студентов и преподавателей, предлагая пошаговые решения, визуализацию и интерактивное обучение.

В 2019 году Кристиан Сегеди, ученый, предсказал, что в течение десятилетия компьютер сможет решать математические задачи на уровне лучших математиков. В прошлом году он перенес этот срок на 2026 год [6].

Математик Акшай Венкатеш не использует ИИ, но обсуждает его влияние. В интервью он сказал, что хочет, чтобы студенты понимали, что их область сильно изменится. Он добавил, что не против использования технологий для поддержки человеческого понимания [6]. Современный подход к образованию требует комплексного направления. Использование продуктов ИИ является дополнительной функцией.

Рассмотрим некоторые современные приложения для математики далее.

*Julius AI* - это передовой репетитор по математике, призванный помочь студентам и профессионалам с легкостью решать математические задачи. С помощью Julius решаются сложные математические уравнения, включая алгебру, исчисление и тригонометрию, путем сканирования задачи.

Одной из его выдающихся особенностей является способность преобразовывать и решать текстовые задачи, упрощая ряд математических концепций от факторизации многочленов до решения неравенств. Julius AI мгновенно составляет уравнения, что делает его бесценным инструментом для визуализации сложных задач.

Основные характеристики Julius:

-Предоставляет точные и надежные решения. Гарантируя точность по различным математическим темам от алгебры до исчисления.

-Сканирует и решает математические задачи мгновенно, предлагая пошаговые объяснения от алгебры и исчисления до текстовых задач.

-Преобразует и решает текстовые задачи. Поддерживает составление уравнений, упрощение выражений и обработку неравенств [7].

*Socratic om Google*. Приложение Socratic, основанное на искусственном интеллекте Google, позволяет учащимся задавать вопросы, используя голос, текст или изображения, а также предоставляет высококачественные учебные материалы, адаптированные к их потребностям.

Ключевые особенности Socratic от Google:

- Универсальные методы ввода. Учащиеся могут задавать вопросы, печатая, говоря или просто фотографируя свои рукописные заметки или страницы учебника.

- Курирование контента с помощью искусственного интеллекта. Алгоритмы Socratic анализируют каждый вопрос, чтобы выявить ключевые понятия и найти наиболее подходящие объяснения, видеоролики и пошаговые решения [7].

*Photomath* - популярное мобильное приложение, которое использует передовое компьютерное зрение и искусственный интеллект для мгновенного решения математических задач. Просто наведя камеру смартфона на математическое уравнение Photomath может распознать и решить его, предоставляя пошаговые объяснения, которые помогут пользователям понять процесс решения проблемы.

Основные возможности Photomath:

- Мгновенное решение проблем. Photomath предоставит решение в режиме реального времени, а также пошаговое объяснение того, как прийти к ответу.

- Распознавание рукописного ввода. Photomath может распознавать и решать рукописные математические задачи с высокой точностью благодаря своей усовершенствованной модели нейронной сети.

- Интерактивные графики. Photomath создает интерактивные графики, помогающие визуализировать проблемы, позволяя пользователям исследовать ключевые функции, такие как корни, минимальные и максимальные значения и многое другое.

*MathGPTPro* - это передовое приложение для изучения математики на базе искусственного интеллекта, предназначенное для помощи в выполнении домашних заданий и математического образования. Используя передовую технологию искусственного интеллекта Math GPT (генеративный предварительно обученный трансформатор), MathGPTPro предоставляет в режиме реального времени интерактивные решения математических задач по широкому кругу предметов, включая алгебру, исчисление, физику, химию, инженерное дело, биологию и статистику.

Ключевые особенности MathGPTPro:

- Улучшенное понимание с помощью ИИ. MathGPTPro предоставляет пошаговые решения и подробные объяснения, помогая учащимся понять основные концепции.

- Простота фотоматематики. Пользователи могут легко вводить задачи, фотографируя их, а усовершенствованная технология распознавания приложения сделает все остальное.

- Широкий спектр предметов. MathGPTPro охватывает различные предметы STEM, включая математику, физику, химию, инженерное дело, биологию и статистику [5].

*Mathway* - это мощное приложение для решения математических задач, которое обеспечивает мгновенное решение широкого спектра математических задач, от базовой арифметики до сложных вычислений. Разработанный Chegg, ведущей компанией в области образовательных технологий, Mathway стал популярным ресурсом для студентов, ищущих быстрые и надежные ответы на свои математические вопросы.

Ключевые особенности Mathway:

- Комплексный математический охват. Mathway поддерживает широкий спектр математических предметов, включая базовую математику, алгебру, геометрию, тригонометрию, исчисление и статистику.

- Пошаговые пояснения. Приложение предоставляет подробные пошаговые решения, которые помогут учащимся понять процесс решения проблем и закрепить свое обучение.

- Несколько методов ввода. Учащиеся могут вводить задачи, печатая, записывая от руки или просто фотографируя свой учебник или рабочий лист.

*Symbolab* - это передовая платформа математического образования, которая использует искусственный интеллект для пошагового решения широкого спектра математических задач. *Symbolab*, разработанный израильским стартапом EqsQuestLtd и выпущенный в 2011 году, стал популярным ресурсом для студентов, стремящихся понять сложные математические концепции и улучшить свои навыки решения задач [3].

Ключевые особенности *Symbolab*:

- Пошаговые решения: *Symbolab* предоставляет подробные пошаговые объяснения каждой проблемы, помогая учащимся понять процесс решения проблем и закреплять свои знания.

- Распознавание рукописного ввода: Усовершенствованный искусственный интеллект платформы может распознавать и решать рукописные математические задачи с высокой точностью, что позволяет учащимся легко получать помощь с рукописными домашними заданиями или заметками.

- Интерактивное графическое отображение: Платформа предлагает мощный графический калькулятор, который позволяет пользователям строить графики и анализировать функции, что делает его ценным инструментом для визуализации сложных математических концепций.

*GeoGebra* - это пакет интерактивного математического программного обеспечения для изучения и преподавания математики и естественных наук от начальной школы до университетского уровня. Разработанная Маркусом Хоэнвартером в 2001 году в рамках его магистерской диссертации в Зальцбургском университете, GeoGebra превратилась в ведущего поставщика программного обеспечения для динамической математики, поддерживающего STEM-образование и инновации в преподавании и обучении во всем мире.

Ключевые особенности GeoGebra:

- Динамическая геометрия. GeoGebra позволяет пользователям создавать геометрические конструкции и манипулировать ими с помощью точек, векторов, сегментов, линий, многоугольников и конических сечений. Эти конструкции можно динамически изменять, что позволяет учащимся исследовать геометрические взаимосвязи и свойства.

- Алгебраический ввод. Уравнения и координаты можно вводить непосредственно с помощью клавиатуры. Представление алгебры GeoGebra отображает символическое представление построенных объектов, облегчая связь между геометрией и алгеброй.

- Интеграция электронных таблиц. GeoGebra включает в себя режим электронной таблицы, который позволяет пользователям изучать математические концепции, используя знакомый интерфейс. Данные из электронной таблицы можно легко отобразить в графическом виде [4].

- Интерактивное графическое отображение. Функции можно определять алгебраически, а затем динамически изменять с помощью ползунков. Студенты могут исследовать поведение функций и влияние параметров на их графики.

Итак, мы остановились на приложениях с искусственным интеллектом для математики.

Математики реагируют на изменения, вызванные искусственным интеллектом, по-разному. Майкл Харрис из Колумбийского университета выражает свои опасения в "Silicon Reckoner". Он обеспокоен конфликтом целей и ценностей между исследовательской математикой и технологической и оборонной отраслями.

Джорди Уильямсон из Сиднейского университета и сотрудник DeepMind также выступил на встрече Национальных академий наук и призвал математиков и специалистов по компьютерным наукам активнее участвовать в таких дискуссиях. На семинаре в Лос-Анджелесе он начал свою презентацию с цитаты из эссе Джорджа Оруэлла 1945 года "Вы и атомная бомба". Уильямсон отметил, что глубокое обучение, несмотря на его значительное влияние, не вызвало столько обсуждений, сколько можно было бы ожидать [2].

Уильямсон считает, что математика является показателем того, что может или не может сделать машинное обучение. Рассуждение является основой математического процесса и неразрешенной проблемой для машинного обучения. В начале сотрудничества с DeepMind команда обнаружила простой

нейронный сетевой алгоритм, который предсказывал математическую величину с удивительной точностью. Уильямсон пытался понять, почему это происходит, но не смог, как и специалисты из DeepMind. Как и древний геометр Евклид, нейросеть интуитивно обнаружила математическую истину, но логическое объяснение этому было далеко не очевидным.

Внедрение искусственного интеллекта в образовательную сферу создало новые перспективы как для учащихся, так и для педагогов. Современные технологии ИИ не только справляются с решением математических задач, но и предлагают объяснение математических концепций, которые зачастую сложно донести с помощью традиционных методов. Благодаря пошаговым решениям, инструменты на основе искусственного интеллекта помогают студентам глубже понять фундаментальные принципы, лежащие в основе сложных уравнений и формул [1].

Важным аспектом является соблюдение баланса. Искусственный интеллект должен выступать в роли вспомогательного инструмента, а не заменять процесс мышления. При осознанном и ответственном использовании технологий ИИ преподаватели и студенты смогут извлечь из них максимальную пользу, не ущемляя развитие когнитивных способностей.

В заключение можно отметить, что интеграция искусственного интеллекта в образовательную сферу представляет собой крайне важный и многообещающий шаг. Данная технология обладает значительным потенциалом для повышения качества образования и обеспечения более эффективного учебного процесса. Применение искусственного интеллекта позволяет разрабатывать персонализированные образовательные программы, оптимизировать обучение, повышать доступность образования и способствовать развитию навыков, востребованных в будущем. Однако внедрение ИИ требует создания соответствующей инфраструктуры, подготовки педагогов и соблюдения этических норм при использовании технологий. В целом, применение искусственного интеллекта в образовании, опираясь на возможности современных технологий, может стать важным драйвером прогресса и трансформации образовательной системы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блохин А. Интернет-ресурсы в образовательном процессе: новые возможности для учителей и учеников // Образование и наука. – 2020.
2. Черепова К., Новикова О., Мореншильдт И. Место и роль искусственного интеллекта на уроках математики // Молодой ученый. – 2023.
3. Петрова М. Применение интернет-технологий в обучении школьной математике // Современные проблемы науки и образования. – 2021.
4. Иванчук Н. В., Эйкен О. В. Использование компьютерной программы GeoGebra на уроках математики. – Мурманск: МГПУ, 2013.
5. The Amazing Industry 4.0 and Scale Customization: Upgrade your Strategy! Электронный ресурс <http://simonabouabdo.com/the-amazingindustry-0-and-scale-customization-upgrade-your-strategy>
6. <http://allsee.team/ii-v-matematike>
7. <https://www.unite.ai/ru/best-ai-for-math-tools>

**УДК 662.769.21**

Тлеужанов Б.Б. (24-DTT-3п, ВКТУ), Бақыт Ғ.Б. (PhD, профессор АЛИТ г.Алматы), Ибраев Б.М. (к.т.н., доцент, проектный менеджер отдела «Проектный менеджмент» ТОО «Электровоз құрастыру зауыты» г.Астана)

**ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОРОДА ДЛЯ ЧАСТИЧНОГО ЗАМЕЩЕНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ТЕПЛОВОЗНЫХ ДИЗЕЛЯХ**

*Аннотация.* В статье рассматриваются перспективы использования водорода для частичного замещения дизельного топлива в тепловозных дизелях. Описаны основные преимущества водорода, включая его высокую удельную теплоту сгорания и экологическую чистоту. Рассмотрены технологии подачи водорода в дизельные двигатели, такие как предварительное смешивание с воздухом и впрыск в камеру сгорания. Приведены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие снижение выбросов CO<sub>2</sub> и улучшение параметров сгорания при добавлении водорода. Выделены основные технические и экономические ограничения, связанные с внедрением водородных технологий в железнодорожный транспорт.

*Ключевые слова:* водород, дизельное топливо, тепловоз, топливная эффективность, железнодорожный транспорт, двигатели внутреннего сгорания.

Современные тенденции развития железнодорожного транспорта направлены на снижение углеродного следа и улучшение экологической безопасности. Одним из перспективных решений является использование водородного топлива в тепловозных дизелях. Водород как альтернативный источник энергии способен снизить выбросы вредных веществ, повысить КПД работы силовых установок и обеспечить устойчивость транспортных систем. В данной статье рассмотрены перспективы, преимущества и вызовы, связанные с внедрением водородного топлива на тепловозах.

Водород широко используется в энергетических системах и в различных отраслях экономики. В настоящее время мировое производство товарного составляет порядка 40 млн. тонн/год, в том числе 70% используется в химической промышленности для производства аммиака, синтетических материалов, остальные 30% в нефтепереработке, металлургии и пищевой промышленности. Для этих целей товарный водород, как правило, производят из природного газа [1, с.274].

Водород не является возобновляемым источником энергии, а выступает в качестве удобного носителя энергии. Действительно, 1 кг водорода содержит более 33 кВт/ч энергии, что примерно в 3 раза превосходит теплотворную способность природного газа и в 7 раз – каменного угля. Но, для того чтобы использовать его как топливо, необходимо осуществить определенные производственные действия, в частности, выделить водород из воды или метана, что предполагает значительной электрической энергии.

Главным аргументом для внедрения водорода в энергетику является выгода с экологической точки зрения в случае, когда первичный источник

энергии является возобновляемым (ВИЭ), забота об окружающей среде, так как при его использовании в атмосферу выбрасывается только водяной пар. Водород как газообразное химическое топливо может заменять углеводороды в двигателях внутреннего сгорания (ДВС), газовых турбинах и системах отопления. Кроме того, водород можно использовать для прямого получения электрической энергии с помощью топливных элементов.

В современном производстве 96% водорода получают из ископаемого топлива и 4% путем электролиза воды. Наиболее эффективным сырьем для получения водорода является природный газ. Однако природный газ сам по себе является ценным первичным источником энергии и широко используется на электростанциях и в быту [2, с.14].

#### **Водородное топливо: свойства и преимущества**

Водород обладает высокой энергетической плотностью, что делает его привлекательным для использования в транспортных системах. К основным преимуществам водородного топлива относятся:

**Экологическая чистота:** при сгорании водорода образуется только вода, отсутствуют выбросы CO<sub>2</sub> и других вредных веществ.

**Высокая энергетическая эффективность:** теплотворная способность водорода значительно выше, чем у традиционного дизельного топлива.

**Перспективность в условиях перехода:** использование водорода соответствует мировым трендам декарбонизации и устойчивого развития транспорта.

Использование водородного топлива в железнодорожной отрасли возможно по двум основным направлениям:

**Водородные топливные элементы:** тепловозы могут работать на электроэнергии, вырабатываемой топливными элементами, где водород используется для производства электричества.

**Водородно-дизельные двигатели:** традиционные дизельные двигатели могут быть адаптированы для работы на смеси водорода и дизельного топлива, что позволяет снизить уровень выбросов.

Для масштабного внедрения водорода в качестве топлива для локомотивных энергоустановок, нужно осуществить его общее и дешевое производство, еще создать эффективные и достоверные способы хранения припаса этого газа на борту транспортного средства в необходимом для обеспечения требуемой дальности автономного пробега. Решение данных задач сознательно вероятно, присутствие обстоятельстве неоднократного повышения изготовления электричества с целью изготовления водорода [1, с.274, 2, с.17].

Производство водорода путем электролиза (процесс разложения воды на водород и кислород) является энергоемким и обходится примерно в 4 раза дороже, чем из природного газа. В то же время, при использовании для электролиза энергии из возобновляемых источников энергии способ получения водорода является самым чистым в связи с отсутствием выбросов парниковых газов. Подобным образом получают «зеленый водород».

Актуальным мировым трендом сегодня становится возможность внедрения водородного топливного элемента (ВТЭ) для автомобильного и железнодорожного транспорта, прежде всего для защиты воздушного бассейна страны.

В мире существует множество технологических процессов, которые сложно или практически невозможно электрифицировать, поскольку нужна топливная альтернатива нефти, углю и природному газу (рисунок 1). Исключением здесь может стать водород. Текущий спрос на водород по всему миру исчисляется в 80 млн. тонн в год, из которых 31 млн. тонн используется для производства аммиачных удобрений, а 36 млн. тонн водорода используется в нефтехимии, 12 млн. тонн в производстве метанола и 1,0 млн. тонн в сфере транспорта [3].

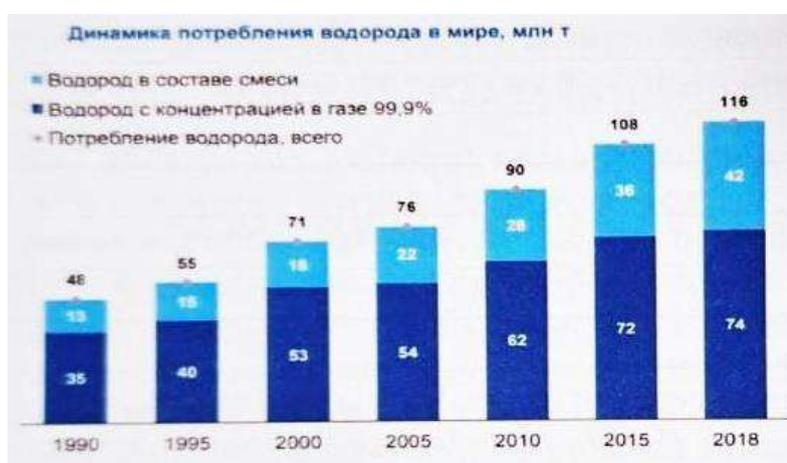


Рисунок 1 – Динамика потребления водорода в мире

Водород в качестве добавки к главному углеводородному горючему, вследствие неповторимым физико-химическим свойствам, дает возможность в полном объеме скомпенсировать этот минус. Подобным способом, особенно изучения процессов горения смесей водорода с углеводородами, в особенности с метаном, необходимо рассматривать первенствующим течением формирования трудов в области горению сообразно к ДВС. Минусом двигателя, работающего в двухкомпонентном горючем, считается наиболее трудное обслуживание и эксплуатирование тепловоза. К преимуществам возможно причислить обстоятельство, того что неполная смена углеводородного горючего водородом предоставляет вероятность применять имеющиеся дизельных двигателей, уменьшить резерв водорода в баке локомотива. В тоже период использование водорода существенно делает лучше экономические и токсические характеристики двигателя.

Как было отмечено выше, водород невозможно добывать, как ископаемое топливо, то есть водород не является источником энергии, но он является энергоносителем. Для его производства существуют различные

технологические процессы. Чем больше оксидов углерода выделяется при производстве водорода, тем менее экологичным он будет считаться [4, с.330].

В зависимости от экологичности конечного продукта, существует определенный код маркировок водорода по цветам (рисунок 2) [3].

*Зеленый водород* является самым экологичным, так как получают его с помощью электролиза. При его производстве электричество поступает от возобновляемых источников энергии (ВИЭ), таких как ветер, солнечная или гидроэнергия, при этом отсутствуют выбросы  $\text{CO}_2$ .

*Желтый (оранжевый, розовый) водород*, как и зеленый, получают также путем электролиза. Однако источником энергии являются атомные электростанции (АЭС). При производстве желтого водорода также отсутствуют выбросы  $\text{CO}_2$ , но метод не является абсолютно экологичным.

*Бирюзовый водород* получают разложением метана на водород и твердый углерод путем пиролиза. Производство бирюзового водорода дает относительно низкий уровень выбросов углерода, который может быть либо захоронен, либо использован в промышленности, например, в производстве стали или батарей. В этом случае он не попадает в атмосферу.

*Серый водород* производится путем паровой конверсии метана. Исходным сырьем для такой реакции служит природный газ. Этот процесс легко осуществим с практической точки зрения, однако в ходе химической реакции выделяется углекислота, причем в тех же объемах, что и при сгорании природного газа.

*Голубой (синий) водород* – это водород, полученный путем паровой конверсии метана, но при условии улавливания и хранения углерода, что дает примерно двукратное сокращение выбросов углерода. Данный вид получения водорода является очень дорогостоящим.



Рисунок 2 – Виды водородного топлива

Использование водорода в качестве топлива для тепловозных дизелей может осуществляться различными методами. Они различаются по уровню модификации двигателя, сложности внедрения и эффективности. Рассмотрим основные подходы [4]:

1) *Водородно-дизельная смесь*. Этот метод предполагает подачу водорода в цилиндры дизельного двигателя одновременно с воздухом и дизельным топливом.

**Способ реализации.** Водород вводится во впускной коллектор двигателя в предварительно рассчитанных пропорциях.

При воспламенении дизельного топлива водород также участвует в процессе горения, увеличивая полноту сгорания.

Оптимальная доля водорода в смеси составляет 10–30 % от общего энергосодержания топлива, что позволяет добиться снижения выбросов  $\text{NO}_x$  и  $\text{CO}_2$  без значительных изменений конструкции двигателя.

2) *Впрыск водорода непосредственно в камеру сгорания.* Этот метод более сложен в реализации, так как требует модернизации системы впрыска.

Устанавливаются дополнительные форсунки для подачи водорода непосредственно в цилиндры двигателя. Подача водорода синхронизируется с впрыском дизельного топлива для оптимального сгорания. Управление процессом впрыска осуществляется через электронную систему управления двигателем (ECU).

Использование водорода в качестве топлива для тепловозных дизелей является перспективным направлением, однако оно сопровождается рядом технических, экономических и эксплуатационных вызовов. В данном разделе обсудим ключевые аспекты внедрения водородных технологий на железнодорожном транспорте.

Во многих странах активно осваиваются водородные технологии. Пассажирские поезда на экологически чистом топливе, единственным выхлопом которых будет вода, начнут массово заменять дизель уже в ближайшем десятилетии. К особенностям магистральных локомотивов относится большая удельная мощность силовой установки – 2,65 МВт и выше в секции, при этом должны быть обеспечены запас хода 700–1400 км и ограниченность пространства на борту локомотива. Для сравнения: наиболее близкими условиями обладает морской транспорт, но параметр ограниченности пространства у него не так актуален, как у железнодорожного тягового подвижного состава.

Хранение водорода – одна из главных технологических задач водородной энергетики. Серьезной проблемой является высокая диффузионная способность водорода, вызывающая повышенную опасность утечек. Диффузия водорода в металлы приводит к необратимым потерям их механических свойств – к так называемой водородной коррозии, которая повышает вероятность возникновения аварийных ситуаций, вызывающих утечки водорода в окружающую среду. Смесь водорода с воздухом воспламеняется в широком диапазоне концентраций и характеризуется высокой взрывоопасностью. Пламя горящего водорода практически бесцветно, что создает определенную опасность для персонала, обслуживающего водородные установки [4, с.330].

Для проведения опытно-исследовательских работ и эксплуатации единичного локо-мотива целесообразнее использовать компримированный водород, так как он позволяет осуществлять пуско-наладочные работы, отладку систем управления без потери водорода. При штатной эксплуатации

целесообразнее применять сжиженный водород, что дает возможность увеличить пробег локомотива на одной заправке, снизив затраты на инфраструктуру. Потери водорода при штатной эксплуатации серийных машин будут минимальны, поскольку в случае отказа запас водорода может участвовать в экипировке другого локомотива. При этом стоит отметить, что при любом выборе агрегатного состояния размещение водорода на борту локомотива для оптимизации времени и технологичности экипировки локомотива топливом предпочтительнее использование модульного исполнения топливных емкостей [5, с.535].

Согласно наиболее оптимистичным анализам стоимость водородного топлива в расчете в единицу энергии способен являться сравнима с подобным признаком с целью топлива. Но наиболее важно в таком случае, то что в процессах получения водорода тратится огромное число энергии, получаемой из-за результата доли теплоты сгорания исходных углеводородов. Очевидно, то что, в случае если приобретаемый водород служит с целью сжигания в тепловых двигателях, данные потери с энергетической точки зрения ничем никак не целесообразны.

### **Заключение**

Использование водорода в тепловозных дизелях возможно различными методами, от частичного замещения дизельного топлива до полной электрификации на основе топливных элементов. Выбор конкретного метода зависит от экономической целесообразности, доступности водорода и возможностей модернизации тепловозного парка. Наиболее перспективными в ближайшем будущем являются технологии совместного сжигания водородно-дизельных смесей и гибридные системы, позволяющие снизить выбросы вредных веществ и повысить топливную эффективность железнодорожного транспорта.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Лapidус Б.М. Повышение энергоэффективности и перспективы использования водородных топливных элементов на железнодорожном транспорте. Вестник ВНИИЖТ. 2019. Т. 78. № 5. С. 274–283. <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-5-274-283>
2. Косарев А.Б. и др. Анализ трендов развития электрогенерации и оценка перспектив применения инновационных энергоэффективных технологий на транспорте. Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». 2018. № 3. С. 11–22.
3. Отчет Международной энергетической ассоциации, 2018 г.
4. Фюкс Р. Зеленая революция: экономический рост без ущерба для экологии: пер. с немецкого М.: Альпина нон-фикшн, 2016. – 330 с.
5. Shalbayev K., Abdullayev S., Mazhitov S. Bakyt G. Hydrogen Generator for internal Combustion Engine. Journal of Applied Research and Technology. Vol. 21 No. 4 (2023). P. 535-541. <https://doi.org/10.22201/icat.24486736e.2023.21.4.1963>.

**ӘӨЖ 656.011**

Төлөвхан Х, Т., Серьянова Д.Қ (22-УДК-1, ШҚТУ), Конарбаева Г.Н. (магистр, ШҚТУ)

**ҚАЗІРГІ ТАҢДАҒЫ КӨЛІКТІК ЛОГИСТИКАНЫҢ ТИІМДІЛІГІ**

*Аңдатпа.* Бұл мақалада көліктік логистиканың қазіргі таңдағы рөлі мен маңызы қарастырылады. Логистиканың тиімділігін арттыру жолдары, тасымалдау түрлері, шығындарды оңтайландыру әдістері және экологиялық факторлар талданады. Заманауи технологияларды қолдану көліктік логистиканың тиімділігін арттыруға қалай әсер ететіні туралы статистикалық мәліметтер келтіріледі.

*Түйін сөздер:* Көліктік логистика, тасымалдау, көліктік логистиканың міндеттері, жүк тасымалдау процесі, цифрландыру.

Қазіргі таңда көліктік логистика экономиканың негізгі салаларының бірі болып табылады. Логистика – тауарларды жеткізу тізбегін ұйымдастырудың тиімді әдістерінің бірі, ал көліктік логистика осы үрдістің негізгі буыны болып табылады. Қазақстанның көлік саласы стратегиялық маңызы зор бағыттардың бірі ретінде қарастырылады, себебі еліміздің географиялық орналасуы транзиттік әлеуетті арттыруға мүмкіндік береді.

Көліктік логистика – жүктерді белгіленген орынға ең тиімді жолмен жеткізуді қамтамасыз ететін кешенді жүйе. Оның басты міндеті – тасымалдау үрдісін ұйымдастыру, яғни жүктің белгіленген бағдар бойынша кедергісіз қозғалуын қамтамасыз ету. Бұл үрдіске тасымалдау шығындарын оңтайландыру маңызды рөл атқарады, өйткені экономикалық тұрғыдан тиімді көлік түрін таңдау арқылы қаржылық шығындарды азайтуға болады. Сонымен қатар, көліктік логистика жеткізу жылдамдығын арттыруға бағытталған. Бұл жүктерді уақытылы әрі қауіпсіз жеткізуді қамтамасыз етумен тікелей байланысты. Логистикалық жүйеде мультимодальды тасымалдау әдісі жиі қолданылады, яғни бірнеше көлік түрлері біріктіріліп, тиімді бағдар құрылады. Осылайша, көліктік логистика – тасымалдау тиімділігін арттырып, жүк жеткізу үрдісін оңтайландыратын маңызды сала.

Тауарларды жеткізудің логистикалық тізбегіндегі көліктің рөлі екі негізгі фактормен анықталады:

1. Шикізатты, материалдарды, дайын өнімді тасымалдау шығындары логистикалық шығындар құрылымында басым болып табылады.

2. Көлік көлік қызметтеріне тапсырыс беруші компаниялардың негізгі қызметі саласындағы шығындарға айтарлықтай әсер етеді.

Логистиканы қолданудан болатын экономикалық нәтиже көліктік шығындарды төмендету есебінен болады. Көлік қозғалысының бағдары оңтайландырылады, графиктер келісіледі, бос жүрістер қысқартылады, көлікті пайдаланудың басқа да көрсеткіштері жақсарады.

Логистиканы қолданудан болатын экономикалық нәтиже қол еңбегінің шығындарын және сәйкес жүк операцияларына кететін шығындарды

қысқартады. Жүк өңдейтін жүйелердің техникалық жарақтану саласындағы тауар қозғалысының қатысушыларының өзара келісу дәрежесі артады, логистикалық тізбектің барлық буындарында жүкті қайта өңдеудің технологиялық балама тәсілдері қолданылады, механикаландырудың бір типті құралдары, бірдей ыдыстар қолданылады.

Логистиканы қолдануда жиынтық экономикалық нәтиже аталған көрсеткіштерді жақсартудан болатын нәтиже сомасын арттырады. Бұл бүкіл жүйеге тән және әр элементке жеке тән емес интегративті қасиеттер деп аталатын логистика тұрғысынан ұйымдастырылған жүйенің пайда болуымен түсіндіріледі. Логистикалық жүйенің интегративтік қасиеттері «логистиканың алты ережесі» деп аталатын соңғы мақсатты жүзеге асыратын осы жүйелердің қабілетін білдіреді.

Логистиканың алты ережесі:

ЖҮК – қажетті тауар;

САПА – қажетті сапа;

КӨЛЕМ – қажетті көлем;

УАҚЫТ – қажетті уақытта жеткізілу;

ОРЫН – қажетті орынға;

ШЫҒЫН – аз шығындармен.

Жоғарыда аталған алты шарт орындалғанда логистикалық әрекеттің мақсаты орындалды деп есептеледі, яғни қажетті тауар қажетті сапада қажетті көлемде қажетті уақытта қажетті орынға аз шығындармен жеткізілді деген сөз.

Логистика саласында ең қолайлы көлік түрін таңдау – тауарларды тиімді, қауіпсіз және бюджеттік шектеулер аясында жеткізуді қамтамасыз етудегі маңызды шешімдердің бірі. Тасымалданатын тауарлардың сипаты, мысалы, тез бұзылатын ауыл шаруашылық өнімдері немесе жоғары құндылығы бар электроника, бұл таңдауға тікелей әсер етеді. Сонымен қатар, жеткізу мерзімінің шұғылдығы, бюджет, салмақ шектеулері және қоршаған ортаға әсер ету сияқты факторлар да шешуші рөл атқарады. Мысалы, әуе тасымалы өте жылдам болғанымен, негізінен жеңіл және құнды жүктерге қолайлы. Ал теңіз көлігі үлкен көлемдегі жүктерді тасымалдауға тиімді әрі экономикалық тұрғыдан үнемді шешім болып табылады. Жол көлігі өз кезегінде жоғары икемділікке ие, себебі ол жүктерді тікелей белгіленген орынға жеткізе алады. Сонымен қатар, әлемдік деңгейде тұрақты даму мен экологиялық қауіпсіздікке деген сұраныс артқан сайын, жасыл көлік шешімдері кеңінен қолданылуда. Бұл экологиялық таза көлік түрлері логистика саласының болашағын айқындап, оның жаңа бағытта дамуына ықпал етуде. Әрбір көлік түрінің артықшылықтары мен кемшіліктерін жан-жақты бағалай отырып, кәсіпорындар өз логистикалық процестерін оңтайландырып, жеткізу тізбегін тиімді басқара алады. Бұл шешімдер компанияның кірісін арттырып қана қоймай, клиенттердің қанағаттанушылығын да жоғарылатуға көмектеседі.

Жүк тасымалдау үрдісі тиімді логистиканы қамтамасыз ететін бірнеше негізгі кезеңнен тұрады. Алдымен жоспарлау және дайындық жұмыстары

жүргізіледі, мұнда жүктің түрі, тасымалдау шарттары анықталып, ең қолайлы бағдар пен көлік түрі таңдалады. Одан кейін қажетті құжаттарды рәсімдеу, соның ішінде тауарды алып жүру құжаттары мен кедендік декларациялар дайындалады. Бұдан соң жүктің қауіпсіздік талаптарына сай тиелуі және оны белгіленген мерзімде жеткізу үшін жағдайды бақылау жүзеге асырылады. Мақсатты жерге жеткен соң жүк түсіріліп, оның бүтіндігі тексеріледі және қабылдау құжаттарына қол қойылады. Соңғы кезең – тасымалдаудың тиімділігін талдау, бұл болашақтағы логистикалық операцияларды оңтайландыруға мүмкіндік береді.



Сурет 1 - Жүк тасымалдау үрдісінің сұлбасы

Әлемдік нарықтың дамуымен бірге жүк тасымалдау көлемі артып, көліктік инфрақұрылымға деген сұраныс жоғарылауда. Логистиканың тиімділігін арттыру үшін тасымалдау түрлерін дұрыс таңдау, шығындарды оңтайландыру және қоршаған ортаға тигізетін әсерді азайту маңызды. Көліктік логистика кәсіпорындардың бәсекеге қабілеттілігін арттыруға, уақыт пен қаржылық ресурстарды үнемдеуге мүмкіндік береді. Бұл салада жаңа технологиялардың пайда болуы тасымалдау үрдісін жылдам әрі үнемді етуге ықпал етуде.

Көліктік логистикада жүктерді тасымалдаудың бірнеше негізгі түрі бар: Автокөлік тасымалы – ең икемді және жылдам тәсілдердің бірі. Ол қысқа және орташа қашықтықтарға жүк жеткізуге ыңғайлы. Дегенмен, жанармай

бағасының өзгеруі мен жол кептелісі бұл әдістің тиімділігіне әсер етеді. Әуе тасымалы – қымбат болғанымен, жүкті ең жылдам жеткізу әдісі. Бұл тәсіл көбінесе шұғыл және құнды жүктер үшін қолданылады. Теңіз және өзен тасымалы – халықаралық саудада маңызды рөл атқарады. Бұл ең арзан, бірақ баяу тасымалдау әдісі. Ірі көлемдегі жүктерді алыс қашықтыққа жеткізу үшін тиімді. Құбыр арқылы тасымалдау – мұнай және газ сияқты сұйық және газ тәрізді жүктерді тасымалдауға арналған. Бұл тәсіл ұзақ мерзімді инвестицияны қажет етеді, бірақ жұмыс істеген кезде өте тиімді. Тасымалдау түрін таңдауда жүктің сипаты, жеткізу қашықтығы, шығындар және экологиялық әсер ескерілуі қажет.



Сурет 2 - Көліктік логистиканың тасымалдау түрлері

Көліктік логистикадағы басты мәселелердің бірі – шығындарды азайту. Бұл бірнеше жолмен жүзеге асады:

Бағытты оңтайландыру – GPS және AI технологияларын қолдану арқылы ең қысқа және үнемді маршруттарды анықтау.

Жанармай шығынын азайту – гибридті және электрлі көліктерді пайдалану, қозғалтқыштарды жаңарту.

Қойма және тасымалдау процестерін автоматтандыру – заманауи басқару жүйелерін қолдану арқылы логистикалық операцияларды оңтайландыру.

Жүк тасымалдау тиімділігін арттыру – бос қайтатын рейстердің санын азайту, көліктердің жүктеме коэффициентін арттыру.

Көліктік хабтарды тиімді пайдалану – жүк тасымалдау мен қайта жүктеу орталықтарын дұрыс орналастыру.

Осы әдістерді қолдану арқылы логистикалық компаниялар өз қызметін тиімді ете алады және тасымалдау шығындарын азайтады. Қазіргі таңда көліктік логистиканың тиімділігі экономиканың дамуына тікелей әсер етеді. Тасымалдау түрлерін дұрыс таңдау, шығындарды азайту және экологиялық факторларды ескеру – логистикадағы маңызды мәселелердің бірі. Тасымалдау кезінде көмірқышқыл газы (CO<sub>2</sub>) шығарындылары көбейіп, экологиялық тепе-теңдікке қауіп төндіреді.

Экологиялық әсерді азайту жолдары: Электр және гибридті көліктерді енгізу – экологиялық таза көліктерді қолдану. Көміртегі ізін азайту – отын үнемдеу технологияларын енгізу, қалдықтарды қайта өңдеу. Жасыл логистика принциптерін енгізу – энергия тиімділігін арттыру, экологиялық таза көлік құралдарын қолдану. Теміржол және су көлігін жиі пайдалану – бұл тасымалдау түрлері атмосфераға зиянды заттарды аз шығарады.

Халықаралық Энергетикалық Агенттіктің (IEA) 2023 жылғы деректеріне сәйкес, көлік секторы жаһандық CO<sub>2</sub> шығарындыларының шамамен 24%-ын құрайды. Оның ішінде: Автокөлік тасымалы – 72%; Әуе тасымалы – 11%; Теміржол – 1%; Теңіз тасымалы – 14%; Бұл көрсеткіштер экологиялық таза технологияларды енгізудің маңыздылығын көрсетеді.

Технологиялардың дамуы көлік логистикасын тиімдірек, қауіпсіз және экологиялық таза етуге мүмкіндік береді. Жасыл логистика, цифрландыру және жасанды интеллект сияқты жаңа үрдістер көліктік жүйелерді жақсартуға көмектеседі.

Болашақта логистикалық үрдістерді автоматтандыру, экологиялық таза көлік түрлерін көбейту және шығындарды оңтайландыру негізгі басымдықтардың бірі болмақ. Осылайша, көліктік логистика тиімді дамып, қоршаған ортаға тигізетін әсерін азайта алады.

## ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Саиров Ә.С., Қалмырзаева Г.Қ. – *Көлік логистикасы: Оқу құралы.* – Алматы: Экономика, 2022.
2. Әбдіров Ә.Ә. – *Логистика және көлік жүйелері.* – Астана: Фолиант, 2021.
3. Қасымбеков Ж.К., Мұқышев Н.Р. – *Қазақстанның көлік-логистика жүйесі және даму перспективалары.* – Алматы: Қазақ университеті, 2020.
4. Сүлейменов Ж.К. – *Көлік логистикасы және халықаралық тасымалдау.* – Астана: Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ баспасы, 2019.
5. Нұрғалиев Қ.С. – *Қазақстан көлік және логистика кешені.* – Алматы: Білім, 2018.

**УДК 621.7**

Төреханова М.Т. (23-DTM-3), Кадыров Ж.Н. (т.ғ.д., профессор, ТОО «Кадыров и партнеры»)

### ТІК ФРЕЗЕРЛЕРДІҢ ДӘЛДІГІН БАҚЫЛАУҒА АРНАЛҒАН ҚҰРЫЛҒЫНЫ ЖЕТІЛДІРУ

***Аңдатпа.** Тік фрезерлердің дәлдігін бақылау — бұл фрезерлеу процесін тиімді жүргізу үшін маңызды аспект. Фрезерлеудің дәлдігін қамтамасыз ету үшін түрлі әдістер мен технологиялар пайдаланылады. Тік фрезерлердің дәлдігін бақылау мақсатында жоғары дәлдікті құралдар мен заманауи бақылау технологияларын қолдану арқылы өндірістік процестердің тиімділігі мен өнімнің сапасы қамтамасыз етіледі. Құрылғы металл өңдеуге қатысты және тік фрезерлік станоктардың, соның ішінде СББ станоктарының дәлдігін бақылау үшін пайдаланылуы мүмкін. Ұсынылған өнертабысты пайдаланудың техникалық нәтижесі фрезерлік топтық станоктардың бақылау дәлдігін арттыру болып табылады.*

***Түйін сөздер:** Дәлдік бақылау құрылғысы, тік фрезерлік станок, деформация, қаттылықты бақылау жүйесі, тензорметр.*

Қадамдық үлгі қосымша жылуөткізгіштігі ең жоғары және ең төмен материалдан жасалған екі баспалдақтың астында жоғарыдан төменге қарай орналасқан екі сатымен, Архимед спиралі бойымен ұлғаятын өңдеуге рұқсаты бар қадаммен және оған шеңбер бойымен біркелкі салынған, бірінен соң бірі кезектесетін радиалды карбидті кірістірулері бар қадаммен жабдықталған. Өлшеу қондырғысы олардың ең үлкен серпімді деформациялар аймағында орналасқан бастапқы электр түрлендіргіштері бар кескіш аймаққа жақын және алыс кескіштің тіректеріне салынған серпімді деформацияланатын бөліктер түрінде орындалады, мысалы, тензометрлер. Құрылғы металл өңдеуге қатысты және тік фрезерлік станоктардың, соның ішінде СББ станоктарының дәлдігін бақылау үшін пайдаланылуы мүмкін [2].

Тігінен бағытталған шпиндель мен құралмен металл кесетін станоктардың қаттылығын бақылаудың автоматты жүйесі белгілі [3].

Белгілі техникалық шешімдердің жалпы кемшілігі - олардың шектеулі функционалдығы, атап айтқанда, металл өңдеу жабдықтарының дәлдігін бақылау мүмкіндігінің жоқтығы.

Техникалық мәні бойынша ұсынылғанға ең жақыны станоктардың дәлдігін бақылау әдісі болып табылады [4]. Бұл техникалық шешім ұсынылғанның прототипі ретінде қабылданды.

Белгілі әдісті жүзеге асыратын құрылғыда эталонды және өңделген қадамдары бар сатылы үлгімен станок үстеліне орнатылған құрылғы, үлгінің берілген өңделген қадамының кескішіне қатысты әр қадамды әртүрлі бұрыштық позицияларда өңдеу нәтижелері бойынша көрсеткіштерді алу мүмкіндігімен жасалған шеткі жонғыш және өлшеу қондырғысы бар.

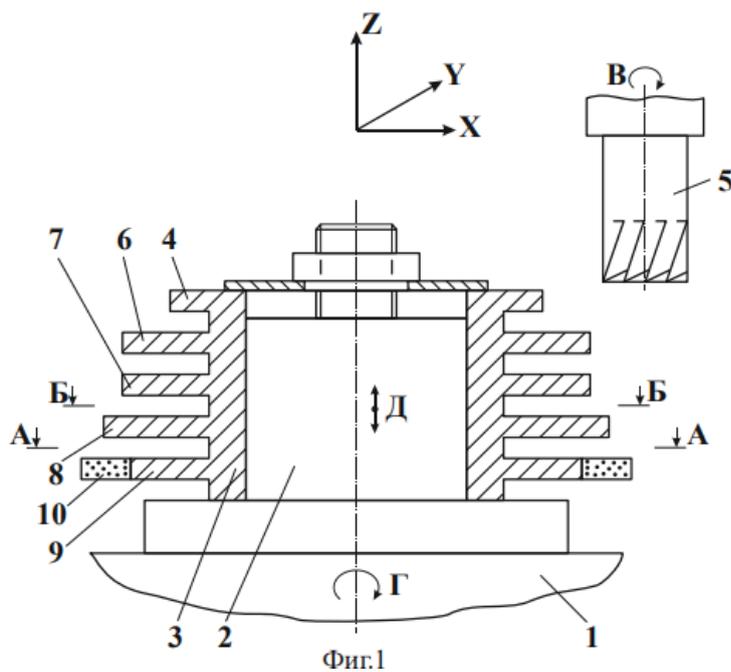
Белгілі құрылғының кемшілігі - бақылау процесі кезінде бастапқы өңдеу қателерін анықтау және одан әрі жалпы өңдеу қатесін анықтау мүмкін

еместігінен фрезерлік топтық станоктардың дәлдігін бақылаудың төмен дәлдігі, бұл сертификатталған станоктың дәлдігін объективті бағалау болып табылады.

Ұсынылған өнертабысты пайдаланудың техникалық нәтижесі фрезерлік топтық станоктардың бақылау дәлдігін арттыру болып табылады.

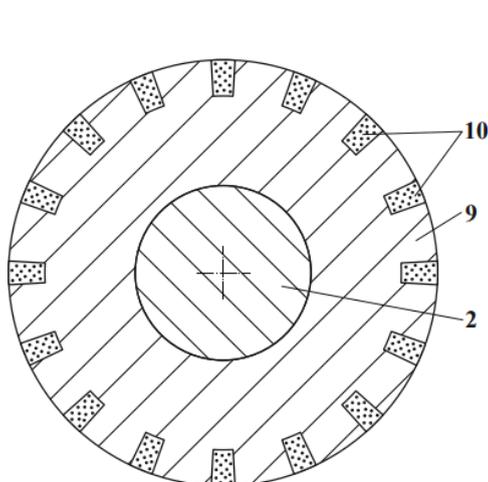
Көрсетілген техникалық нәтижеге тік фрезерлік станоктардың дәлдігін бақылауға арналған құрылғыда станок үстелінде орнатылған құрылғы бар, оған анықтамалық және өңделген қадамдармен бекітілген сатылы үлгімен қол жеткізілді. Үлгінің берілген өңделген сатысының кескішіне қатысты әр кезеңді әртүрлі бұрыштық позицияларда өңдеу нәтижелері бойынша көрсеткіштерді алуға қабілетті шеткі жонғыш және өлшеу қондырғысы. Қадамдық үлгі ең жоғары және ең төменгі жылу өткізгіштігі бар материалдан жасалған, эталонның астында жоғарыдан төменге қарай орналасқан екі сатымен қосымша жабдықталған. Архимед спиралының бойымен өңдеу мүмкіндігін арттыратын қадам және оған шеңбер бойымен біркелкі салынған, бір-бірімен кезектесетін радиалды карбид кірістірулері бар қадам. Өлшеу қондырғысы ең үлкен серпімді деформациялар аймағында орналасқан бастапқы электр түрлендіргіштері бар кескіш аймаққа жақын және алыс кескіштің тіректеріне салынған серпімді деформацияланатын бөліктер түрінде жасалады. Кесу аймағына жақын және алыс кескіштің мойынтіректеріне орналастырылған тензометрлердің сигналдарына сәйкес үлгі келесі кезеңді өңдеу үшін жоғары қаратылған. Алғашқы екі кезеңді өңдеу нәтижелері бойынша үлгілердің термиялық деформацияларынан және кесуге қатысатын кескіштің бастапқы қателігі анықталады. Үшінші кезеңнің өңдеу нәтижесі бойынша үлгінің және кесуге қатысатын кескіштің серпімді деформацияларынан бастапқы қате анықталады. Төртінші қосымша кезеңнің өңдеу нәтижесі бойынша үлгіні соққылы-діріл жүктеуден және кесуге қатысатын кескіштен бастапқы қате анықталады. Сертификатталған тік фрезерлік станоктың дәлдігін бақылау бұрын анықталған бастапқы өңдеу қателеріне негізделген жалпы өңдеу қателігімен бағаланады.

Өнертабыс қосымша суреттелген, мұнда 1-суретте ұсынылған құрылғы схемалық түрде көрсетілген; 2-сурет – 1-суреттегі А-А бойымен кесінді; 3-сурет – 1-суреттегі В-В бойындағы кесінді; 4-суретте серпімді деформацияланатын бөлшектердің мойынтіректерінің тіректеріне салынған кескіштің схемалық бейнесі (кескішсіз).



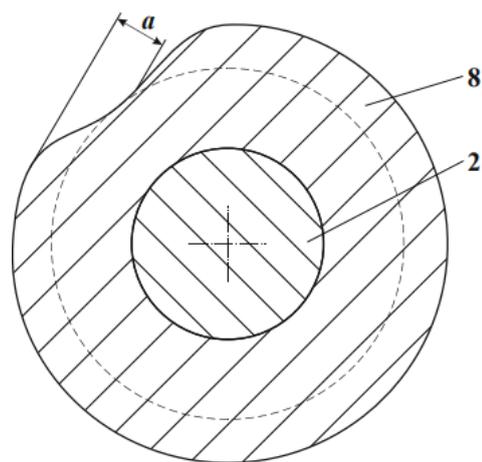
Фиг.1

Сурет 1



Фиг.2

Сурет 2



Фиг.3

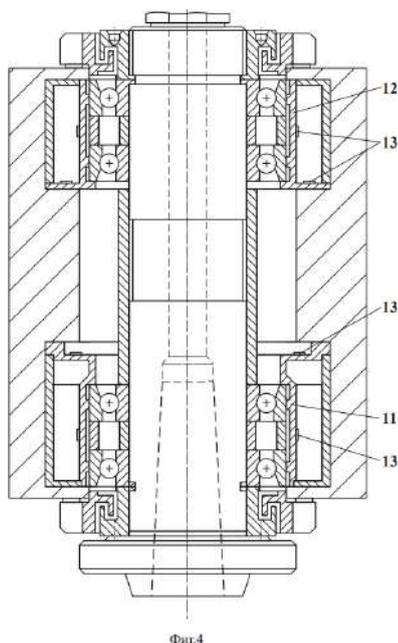
Сурет 3

Тік фрезерлік станоктардың дәлдігін бақылауға арналған құрылғыда тік фрезерлік станоктың 1 үстеліне орнатылған құрылғы 2 оған сілтеме 4 және өңделетін қадамдар бекітілген сатылы үлгі 3 бар. Құрылғы сонымен қатар үлгінің берілген өңделген сатысының кескішіне қатысты әр кезеңді әр түрлі бұрыштық позицияларда өңдеу нәтижелері бойынша көрсеткіштерді қабылдау мүмкіндігімен жасалған шеткі жонғышты 5 және өлшеу қондырғысын қамтиды. Станок үстелі екі X және Y координаталары бойымен көлденең және тік жазықтықта Z координатасы бойымен қозғалуға арналған реттелетін жетектермен жабдықталған.

Ұсынылған өнертабысқа сәйкес сатылы үлгі қосымша жылуөткізгіштік коэффициенттері сәйкесінше 401 және 47 Вт/м·г болатын мыс пен болат 45 ең жоғары және ең төмен жылу өткізгіштігі бар материалдан жасалған 4-сілтеменің астында жоғарыдан төменге қарай орналасқан екі сатымен 6 және 7 қосымша жабдықталған. Жылу өткізгіштік коэффициенті уақыт бірлігінде материал арқылы өтетін жылу мөлшерін көрсетеді.

Ұсынылған өнертабысқа сәйкес сатылы үлгі, сонымен қатар, Архимед спиральының бойымен өсетін өңдеуге рұқсаты бар 8-кезеңмен (3-сурет) («а» – спиральдың көтерілуі) және 9-кезеңмен (2-сурет) оған шеңбер бойымен біркелкі салынған 10 радиалды карбид кірістірулерімен қосымша жабдықталған.

Өлшеу қондырғысы кесу аймағына жақын және алыс кескіштің мойынтіректеріне салынған серпімді деформацияланатын бөлшектер 11 және 12 түрінде орындалады (4-сурет). Ең үлкен серпімді деформациялар аймағында бастапқы электрлік түрлендіргіштер орналасады, мысалы, тензометрлер 13, оның сигналы түрлендіруден кейін (күшейту және цифрлық кодқа түрлендіру) микропроцессорлық басқару құрылғысына түседі (суретте көрсетілмеген).



Сурет 4

В, D және E көрсеткілері сәйкесінше кескіштің 5 (В) айналуын, өңделген үлгімен үстелдің айналмалы қозғалысын (D) және кестенің кезенді түрде жоғары қарай берілуін (E) көрсетеді.

Құрылғы келесідей жұмыс істейді.

Үлгі қадамдарын өңдеу үстелдің шеңбер бойымен айналмалы қозғалысымен (O көрсеткісінің бойымен), станок үстелінің екі жетегінің бір

уақытта басқарылуымен (X және Y координаталары бойымен қозғалу үшін) жоғарыдан төмен қарай дәйекті түрде жүзеге асырылады. Әрбір кезенді өңдегеннен кейін 2 арматурасы және 3 үлгісі бар машинаның 1 үстелі келесі кезенді өңдеу үшін кезенді түрде жоғары (D көрсеткі бағыты бойынша) беріледі.

Тез 13 (кесу аймағына жақын және алыс кескіштің мойынтірек тіректерінде орналасқан) сигналдары және 6 және 7 өңдеу кезеңдерінің нәтижелері негізінде 3 үлгі мен кескіш 5 кесу кезіндегі термиялық деформациялардың бастапқы қателігі анықталады. Жылулық деформациялар кез келген басқалар сияқты (серпімді деформация, діріл) кесуге қатысатын технологиялық жүйенің барлық элементтерімен, атап айтқанда станоктың өзімен, қысқыш құрылғымен, өңделетін үлгімен және кескішпен қабылданады. Технологиялық жүйенің сол немесе басқа элементтері қабылдайтын үлестер әртүрлі.

Қосымша 8-кезеңді өңдеу нәтижесіне сүйене отырып, сынама 3 және кескіш 5 кесу кезіндегі серпімді деформациялардың бастапқы қателігі өңделетін үлгі сатысы айналдырылған сайын артады.

Қосымша 9-кезеңнің өңдеу нәтижесіне сүйене отырып, кесуге қатысатын 3 үлгі мен 5 кескіштің соққылы-діріл жүктемесінен бастапқы қате анықталады.

Үш анықталған бастапқы өңдеу қателері бастапқы өңдеу қателерінің жалпы балансында басым. Сертификатталған тік фрезерлік станоктың дәлдігін бақылау жалпы қабылданған әдіс бойынша өңдеудің жалпы қателігімен бағаланады [1].

1-суретте өңделген 4-9 қадамдар шартты түрде 3 үлгімен бір бөлік ретінде бейнеленген. Оларды бекітудің алынбалы нұсқасы қолайлы (суретте көрсетілмеген).

Құрылғыны пайдалану тиімді, сенімді және сыртқы жүктеме факторларына қатысты өзгермейтіні.

## ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Колев К.С. Технология машиностроения. Учеб. пособие для вузов. М.: Высш. школа, 1977 г., с.26-28.
2. Соколовский А.П. Научные основы технологии машиностроения. М. – Л.: Машгиз, 1955, с.174-175.
3. Пат. РК №35831, МПК В23В 25/06, опубл. в БИ №36, 2022 г.
4. А.с СССР №1155377, МПК В23С 9/00, опубл. в БИ №18, 1985 г

УДК 678.026.34

Третьяков Н.Д. (23-МТМ-2т, ВКТУ), Габдысалық Р. (PhD, ВКТУ)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ НА ТОЛЩИНУ И КАЧЕСТВО ПОКРЫТИЙ ДЕТАЛЕЙ ГИДРОЦИЛИНДРОВ

***Аннотация.** В статье представлен анализ влияния параметров газодинамического напыления порошков на толщину покрытий деталей гидроцилиндра. Исследуются ключевые факторы, такие как плотность, время и скорость подачи порошка, которые оказывают влияние на равномерность и прочность напыления. Оценены изменения толщины покрытия в зависимости от условий напыления и их связь с эксплуатационными характеристиками гидроцилиндров. Рассматриваются особенности формирования покрытия, определяющие долговечность и надежность деталей. Также оценены перспективы оптимизации технологии для достижения требуемой толщины и повышения качества покрытия в производственных процессах.*

***Ключевые слова:** газодинамическое напыление, порошковое покрытие, восстановление деталей гидроцилиндра, параметры напыления, толщина покрытия.*

Одним из важнейших направлений для эффективного и рационального использования горных и подземных машин, работающих под высокими нагрузками, является своевременный ремонт, регулярное техническое обслуживание, наличие запасных частей и восстановление изношенных деталей. При проведении ремонтных работ, особенно в процессе восстановления изношенных поверхностей, количество технологических операций существенно меньше, чем при изготовлении новых деталей. В рамках программы импортозамещения в Казахстане и странах ближнего зарубежья активно развивается восстановление изношенной горно-шахтной техники. В ходе длительной эксплуатации оборудования и транспортных средств происходит интенсивный износ их рабочих узлов [1] и механизмов, что требует оперативного и качественного восстановления изношенных деталей. Статистические данные заводских предприятий свидетельствуют, что затраты на деталь, не требующую ремонта, составляют до 10% от стоимости новой запасной детали [2-3], что в условиях существующих производственных мощностей отечественного производства является экономически оправданным решением.

Технологии восстановления техники в значительной степени развиваются на основе передовых достижений отечественной науки и техники. На предприятиях ремонтно-восстановительного профиля при проведении восстановительных операций особое внимание уделяется таким характеристикам деталей, как долговечность и надежность. Учитывая важность этих параметров, решением проблемы восстановления изношенных поверхностей деталей машин может стать использование технологии

газодинамического напыления покрытий, которая в последние годы получила широкое применение на ремонтно-восстановительных предприятиях благодаря своей универсальности и экономичности [4–6]. В работах [7-8] отмечено, что качество покрытий, нанесенных методом напыления, оценивается по ряду параметров: прочности сцепления покрытия с основой, когезии, плотности покрытия, пористости, толщине покрытия и уровню остаточных напряжений.

Проведем анализ параметров, влияющих на толщину покрытия. Напыляемая цилиндрическая поверхность (рисунок 1) совершает вращение  $\omega$ , в то время как распылитель перемещается вдоль оси поверхности со скоростью  $\vartheta$ .

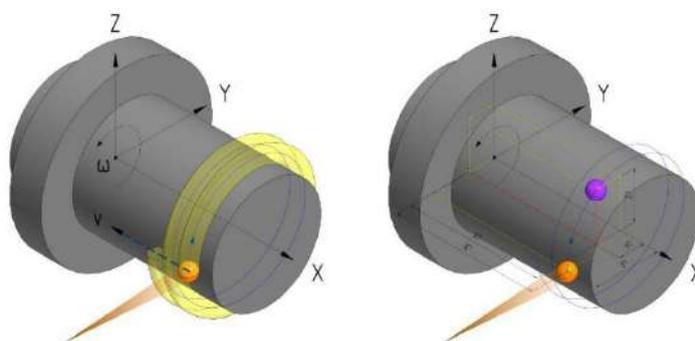


Рисунок 1 – Моделирование процесса газодинамического напыления

Расчетная точка движется по винтовой линии, поэтому координаты точки можно определить с помощью параметрических уравнений:

$$X = \vartheta \cdot t; Y = R \cdot \cos \omega t; Z = R \cdot \sin \omega t, \quad (1.1)$$

где

$\vartheta$  – скорость перемещения точки по оси X;

R – радиус цилиндрической поверхности;

$\omega$  – угловая скорость перемещения точки;

t – время.

Плотность потока  $G_S$  — это ключевой параметр, который описывает, сколько материала осаждается на единицу площади в единицу времени. Формулу плотности потока [9] можно выразить как:

$$G_S = \frac{m}{S \cdot t}, \quad (1.2)$$

где

$G_S$  – плотность потока, [кг/м<sup>2</sup>·с].

m – масса порошка, который осаждается за время t, [кг].

S – площадь пятна распыления, [м<sup>2</sup>].

t – время, за которое происходит осаждение, [с].

Площадь пятна распыления, выражаем через радиус пятна.

$$S = \pi \cdot r^2, \quad (1.3)$$

где

$r$  – радиус пятна распыления, [м].

Массу можно выразить через скорость подачи порошка и плотность порошка:

$$m = \rho \cdot S_w \cdot V_w \cdot t, \quad (1.4)$$

где

$\rho$  – плотность порошка, [кг/м<sup>3</sup>].

$S_w$  – площадь поперечного сечения сопла распылителя, [м<sup>2</sup>].

$V_w$  – скорость подачи порошка, [м/с].

Получим итоговую формулу плотности потока:

$$G_s = \eta \cdot \frac{\rho \cdot S_w \cdot V_w}{\pi \cdot r^2}, \quad (1.5)$$

где

$\eta$  – коэффициент потерь, при распылении материала.

Толщину покрытия в точке выражаем как:

$$\sigma = \int_{t_0}^t G_s dt = \int_{t_0}^t \eta \cdot \frac{\rho \cdot S_w \cdot V_w}{\pi \cdot r^2} dt, \quad (1.6)$$

где

$\sigma$  – толщина покрытия в точке, [м].

Все параметры, которые влияют на изменения плотности потока в рамках одного эксперимента, остаются неизменными. Тогда из формулы 1.6 получим выражение:

$$\sigma = \eta \cdot \frac{\rho \cdot S_w \cdot V_w}{\pi \cdot r^2} (t - t_0), \quad (1.7)$$

Эта зависимость (формула 1.7) определяет параметры, которые напрямую влияют на толщину покрытия напыляемого слоя.

Для подтверждения выведенной зависимости был произведен эксперимент, используя оборудование для газодинамического напыления (рисунок 2). В качестве образца взят хромированный шток гидроцилиндра диаметром 40 мм.



Рисунок 2 – Процесс напыления газодинамическим методом

На первом образце (рисунок 3) напыление производилось порошком N7-00-14, в состав которого входит: никель, цинк, корунд. Внутренний диаметр сопла, которым производилось напыление – 3 мм.

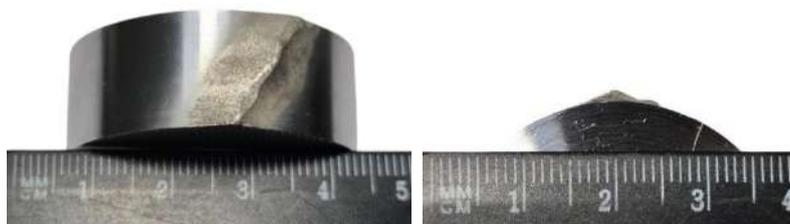


Рисунок 3 – Образец напыления никелевым порошком хромированного штока гидроцилиндра

По завершению напыления толщина слоя никеля составила 1,2 мм. Структура напыленного слоя распределилась более равномерно по штоку, образуя небольшой выступ по центру шва.

На втором образце (рисунок 4) напыление производилось порошком С-01-11, в состав которого входит: медь, цинк, корунд. Внутренний диаметр сопла, которым производилось напыление – 4 мм.

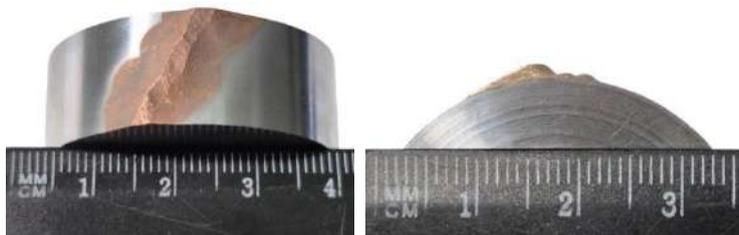


Рисунок 4 – Образец напыления медным порошком хромированного штока гидроцилиндра

По завершению напыления толщина слоя меди составила 2 мм. Структура напыленного слоя образовала так называемый «передув» одной из сторон шва, образуя неравномерный выступ с одного края напыления.

Выявленные зависимости указывают на необходимость дальнейшей оптимизации технологии напыления для обеспечения требуемой толщины покрытия и повышения его качества. Разработанные рекомендации могут быть полезны для совершенствования производственных процессов и повышения долговечности деталей гидроцилиндров. Таким образом, рассматриваемая тема обладает научной значимостью и станет предметом исследования в рамках магистерской диссертации.

#### **Выводы:**

1. Для оптимизации технологии напыления необходимо тщательно контролировать параметры, которые напрямую влияют на достижение требуемой толщины слоя.

2. В ходе научного исследования выявлена зависимость влияния параметров газодинамического напыления порошков на толщину покрытий деталей гидроцилиндра, а также проведен соответствующий эксперимент.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Чичинадзе А.В., Берлинер Э.М., Браун Э.Д. и др. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника). М.: Машиностроение, 2003. 576 с.
2. Комбалов В.С. Методы и средства испытаний на трение и износ конструкционных и смазочных материалов: справочник / под редакцией К.В. Фролова, Е.А. Марченко // М.: Машиностроение, 2008. 384 с
3. Хопин П.Н. Оценка долговечности твердо смазочных покрытий на основе анализа топографии поверхностей трения // Трение и износ. 1995. Т. 16. № 4. С. 787–793.
4. Алхимов А.П., Гулидов А.И., Косарев В.Ф., Нестерович Н.И. Особенности деформирования микрочастиц при ударе о твердую преграду // Прикладная механика и техническая физика. 2000. Т. 41. №1. С. 204–209.
5. Rokni M.R., Nutt S.R., Widener C.A. et al. Review of relationship between particle deformation, coating microstructure, and properties in high-pressure cold spray // Journal of Thermal Spray Technology. 2017. Vol. 26. P. 1–6.
6. Irissou E., Legoux J.-G., Ryabinin A. et al. Review of cold spray process and technology: part I – intellectual property // Journal of Thermal Spray Technology. 2008. Vol. 17. No. 4. P. 495–516.
7. Moridi A., Hassani-Gangaraj S., Guagliano M., Dao M. Cold spray coating: review of material systems and future perspectives // Surface Engineering. 2014. Vol. 36. No. 6. P. 369–395.
8. Gärtner F., Stoltenhoff T., Schmidt T., Kreye H. The cold spray process and its potential for industrial applications // Journal of Thermal Spray Technology. 2006. Vol. 15. No. 2. P. 223–232.
9. Сарбучев С.Н. Практическое применение газотермических технологий нанесения защитных покрытий // ООО «Термал-Спрей-Тек» // Москва.

**УДК 629.331**

Шунаков Д.Э. (23 МТТ-2т, ВКТУ), Муздыбаева А.С. (к.т.н, профессор, ВКТУ), Муздыбаев М.С. (к.т.н, профессор, ВКТУ), Мырзабекова Д.М. (PhD, ВКТУ)

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ  
РАБОТОСПОСОБНОСТИ БАРАБАНЫХ ТОРМОЗНЫХ МЕХАНИЗМОВ  
ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПРИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ  
УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

***Аннотация.** В данной работе рассмотрены результаты исследования по обеспечению работоспособности барабанных тормозных механизмов легковых автомобилей в условиях низкой температуры окружающей среды и высокой влажности. При анализе полученных экспериментальных данных выявлена прямая зависимость времени обогрева от температуры окружающей среды. Установлено, что предложенный метод по поддержанию работоспособного состояния барабанных тормозных механизмов показал свою практическую эффективность и имеет довольно низкий уровень затрат на поддержание работоспособности барабанного тормозного механизма.*

***Ключевые слова:** автомобиль, тормозной механизм, эксплуатация, низкая температура, тормозной барабан, отработавшие газы.*

Современное автомобильное транспортное средство представляет собой сложную техническую систему, каждый компонент которой играет важную роль в обеспечении эффективности безопасности движения. Одним из наиболее важных элементов, обеспечивающих безопасность участников дорожного движения, являются тормозные системы. В контексте легковых автомобилей, барабанные тормозные механизмы до сих пор широко применяются и используются для обеспечения эффективного торможения АТС.

Однако, при эксплуатации автомобилей в условиях низких температур Восточно-Казахстанской области, характерных для осенне-зимнего, зимнего и зимне-весеннего периода, работоспособность барабанных тормозных механизмов может в значительной степени снижаться под действием ряда факторов, включая такие как, обледенение и замерзание ключевых компонентов тормозной системы. Это создает потенциальные риски как для безопасности движения автомобиля, так и для ресурса элементов тормозной системы, а также других важных узлов и агрегатов колесной машины. Поэтому данная проблема требует более глубокого понимания механизмов и факторов, влияющих на работоспособность барабанных тормозов при низких температурах.

Ранее, в предыдущей опубликованной научной статье [1] по данной тематике нами были освещены цели, задачи, гипотеза, научная новизна, а также рассмотрены вопросы актуальности и практической значимости данного исследования.

В текущей статье рассмотрены результаты проведенных экспериментов и экономический эффект от внедрения контура обогрева барабанных тормозных механизмов отработавшими газами.

Физический эксперимент выполнялся в двух вариантах. Первый вариант эксперимента проводился с условием применения отработавших газов ДВС исследуемого автомобиля, находящегося в состоянии прогрева. Испытания проводились при температурах наружного воздуха  $-10$ ,  $-15$ ,  $-20$  °С. Эксперимент выполнялся по три раза при каждой из вышеперечисленных температур для обеспечения сходимости результатов.

Второй вариант эксперимента проводился с условием применения отработавших газов ДВС исследуемого автомобиля, находящегося в прогретом состоянии. Данный эксперимент, как и предыдущий вариант, также выполнялся при температурах окружающей среды  $-10$ ,  $-15$ ,  $-20$  °С.

Выполнение эксперимента при двух разных режимах работы двигателя было необходимо для сравнения работы контура обогрева в разных режимах, так как при работе двигателя в режиме прогрева при температуре  $-20$  °С средняя частота вращения коленчатого вала ДВС составляет около 1500 об/мин, а при работе на холостом ходу в прогретом состоянии составляет около 900 об/мин, соответственно в разных режимах работы выхлопные газы будут иметь разную температурную характеристику. При работе контура с ДВС в режиме прогрева, температура выхлопных газов плавно нарастала от значений температуры окружающей среды до конечной, установившейся температуры выхлопных газов, характерной для используемого участка выхлопной магистрали. В случае работы контура обогрева с прогретым до рабочей температуры ДВС, температура выхлопных газов постоянна на момент подключения контура тепловой подготовки. Забор выхлопных газов при проведении эксперимента производился из конечной части выхлопной магистрали. Средняя температура выхлопных газов на момент окончания любого из двух вариантов эксперимента, во всем диапазоне вышеуказанных температур окружающей среды, составляла  $35,5$  °С. Как оказалось этой температуры оказалось вполне достаточно, чтобы за сравнительно небольшой промежуток времени при  $-20$ °С обеспечить разблокировку тормозного механизма.

Для анализа полученных во время проведения физического эксперимента данных, нами были составлены графики зависимости времени обогрева тормозного механизма от температуры окружающей среды. Графики были составлены для каждого из двух вариантов эксперимента. Ниже (Рисунок 3) представлен график полученных данных эксперимента с ДВС в режиме прогрева.

На графике (рисунок 1) изображены три кривых линии, означающие максимальное время обогрева (max), минимальное время обогрева (min) и среднее время обогрева тормозного механизма (зеленая линия) в температурном диапазоне окружающей среды от  $-10$  до  $-20$ °С.

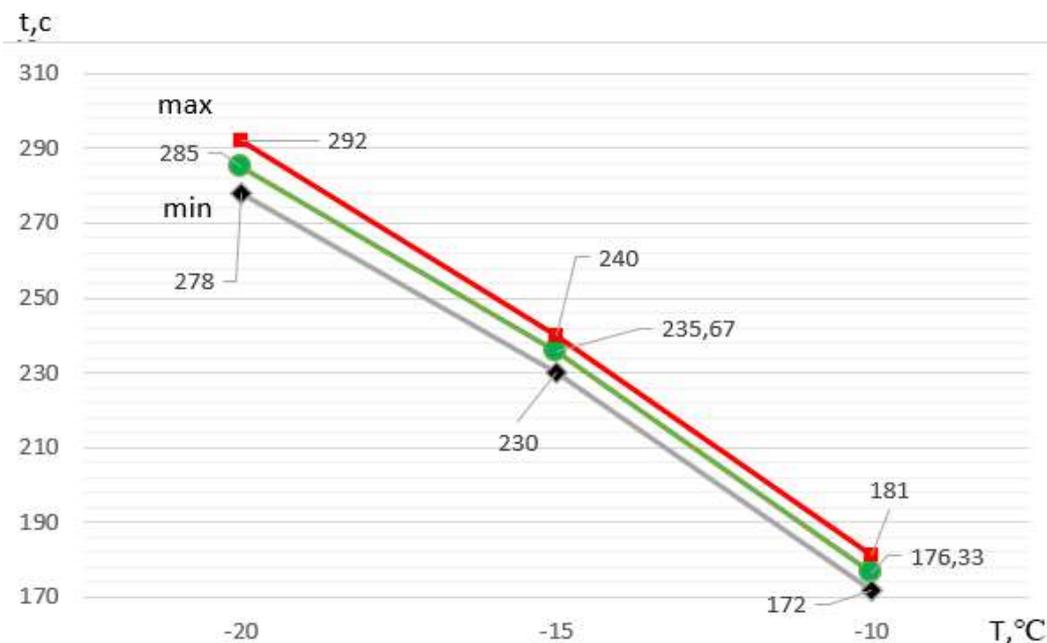


Рисунок 1 - График зависимости времени обогрева тормозного механизма от температуры окружающей среды. Эксперимент с ДВС в режиме прогрева

На графике (рисунок 1) наблюдается явный тренд, характеризующий прямую зависимость времени обогрева тормозного механизма от температуры окружающей среды. С понижением температуры окружающей среды сразу возрастает время обогрева тормозного механизма.

Рассмотрим характеристику обогрева тормозного механизма при  $-20^{\circ}\text{C}$ . Как видно из графика, максимальное время обогрева при  $-20^{\circ}\text{C}$  составляет 292 секунды, минимальное время обогрева составляет 278 секунд, среднее время 285 секунд, такой временной разброс укладывается в диапазон  $\pm 5\%$ , что говорит о достаточной сходимости результатов эксперимента при текущей температуре окружающей среды.

Ниже расположен аналогичный график (рисунок 2) составленный с условием работы контура обогрева с прогретым ДВС.

Выполним сравнение значений графиков при  $-20^{\circ}\text{C}$ . На графике (рисунок 2) максимальное время обогрева составило 302 секунды, минимальное время 288, среднее значение времени обогрева 296 секунд, что всего на 7 секунд больше, чем среднее значение при работе ДВС в режиме прогрева.

Небольшая разница во времени обусловлена тем, что в режиме прогрева интенсивность выделения выхлопных газов выше, чем на ХХ, так количество рабочих тактов двигателя возрастает пропорционально увеличению частоты вращения коленчатого вала двигателя. Это компенсирует плавное нарастание температуры в контуре и обеспечивает небольшую разницу между работой контура с прогретым ДВС. Это говорит о том, что применение контура в режиме прогрева более предпочтительно, так как практически не окажет негативного экономического эффекта на затраты на расход топлива.

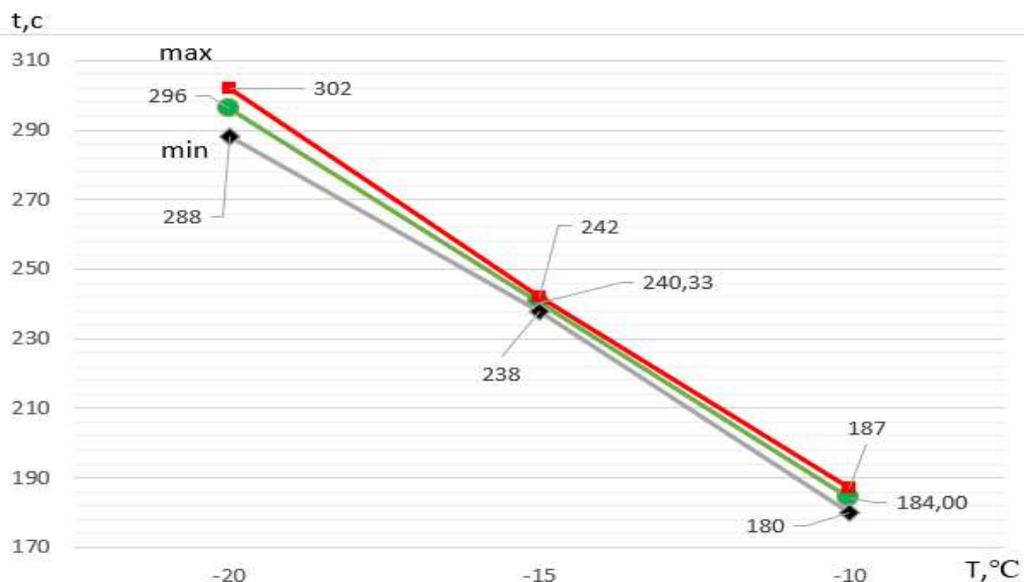


Рисунок 2 - График зависимости времени обгрева тормозного механизма от температуры окружающей среды. Эксперимент с прогретым ДВС

Нами также были выполнены расчеты по расходу топлива во время работы контура при  $-20^{\circ}\text{C}$  и рассчитана стоимость внедрения контура обгрева.

Во время выполнения экспериментальной части исследования в испытуемом автомобиле применялся автомобильный бензин марки АИ-92. Цена за один литр бензина марки АИ-92 на момент выполнения экспериментального исследования составляла 207 тенге за один литр топлива. Расчет расхода топлива выполнялся на основе данных графика удельного расхода топлива [3, с.56] и графика внешней скоростной характеристики [2, с. 63] двигателя ВАЗ 2106 с карбюраторной системой питания и рабочим объемом  $1568\text{ см}^3$ . Средний расчетный расход топлива за период выполнения эксперимента составил 300 грамм топлива, что соответствует 62,1 тенге в стоимостном выражении.

Затраты на внедрение контура обгрева составили около 11 500 тенге. Эта сумма включает стоимость материалов, из которых изготовлен контур обгрева, сварочные работы, а также стоимость установки контура тепловой подготовки барабанных тормозных механизмов на автомобиль. Сумму, необходимую для внедрения системы тепловой подготовки барабанных тормозов можно считать вполне оправданной, так как при возникновении неисправности, связанной с полной блокировкой тормозного механизма вследствие его обледенения, в худшем случае могут потребоваться услуги эвакуатора, стоимость которых на данный момент превышает стоимость внедрения контура обгрева тормозного механизма как минимум в два раза, или же будут необходимы услуги по выездному отоплению автомобиля, стоимость которых в среднем составляет около 10 000 тенге.

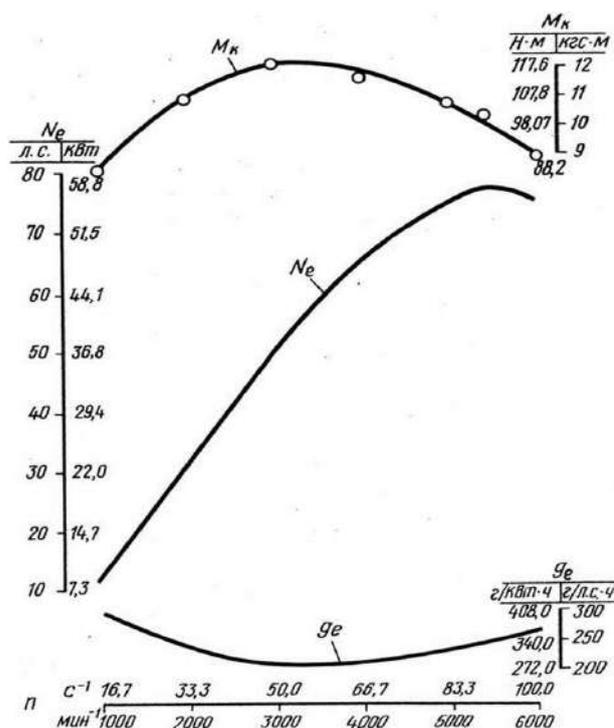


Рисунок 3 - График удельного расхода топлива и внешней скоростной характеристики ДВС ВАЗ 2106

Таким образом на основе полученных данных можно сказать, что данный метод тепловой подготовки барабанных тормозных механизмов при низкотемпературных условиях эксплуатации оказался эффективным, стоимость изготовления и внедрения системы сравнительно небольшая, а затраты на расход топлива настолько малы, что практически не окажут негативного экономического эффекта при эксплуатации автомобиля, так как данное топливо все равно обычно используется для прогрева ДВС, и не совершает полезной работы направленной на перемещения автомобиля в пространстве.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шунаков Д.Э. (ВКТУ), Муздыбаева А.С. (к.т.н, профессор, ВКТУ), Муздыбаев М.С. (к.т.н, профессор, ВКТУ) «Актуальность исследования способов повышения работоспособности барабанных тормозных механизмов легковых автомобилей при низкотемпературных условиях эксплуатации.» ВКТУ 2024.

2. Двигатели автомобильные, мотоциклетные и стационарные. часть 1. Отраслевой каталог НИИНАВТОПРОМ 1983 г.

3. Двигатели автомобильные, мотоциклетные и стационарные. часть 2. Отраслевой каталог ЦНИИТЭИАВТОПРОМ 1989 г.

УДК 66.097.3

Янус Я.Ф. (СЭМ-31, НГТУ), Блинаева Е.В. (к.т.н., ассоц. профессор, ВКТУ)

## СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ NiMo-КАТАЛИЗАТОРОВ ГИДРООЧИСТКИ ВГО НА ОСНОВЕ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩИХ АЛЮМООКСИДНЫХ НОСИТЕЛЕЙ

*Аннотация.* В статье рассматривается синтез и исследование NiMo-катализаторов гидроочистки вакуумного газойля (ВГО) на основе кремнийсодержащих алюмооксидных носителей. Изучено влияние добавления силикагеля на текстурные и механические характеристики носителей и катализаторов. Установлено, что добавление силикагеля способствует увеличению удельной площади поверхности и объема пор носителей, а также влияет на их механическую прочность. Методами адсорбции-десорбции азота и просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) определены текстурные характеристики и дисперсность активного компонента катализаторов.

*Ключевые слова:* NiMo-катализаторы, гидроочистка, вакуумный газойль, силикагель, алюмооксидные носители.

Применение искусственного интеллекта в гидроочистке вакуумного газойля может способствовать оптимизации процесса гидроочистки, что приведет к улучшению качества топлива и соблюдению экологических стандартов.

Вакуумный газойль (ВГО) является тяжёлой фракцией нефти, получаемой при вакуумной перегонке мазута при низком давлении [1, с.3]. Он составляет до 20-30% от исходной нефти. ВГО состоит в основном из высокомолекулярных углеводородов, кислородных соединений и примесей, таких как сера и азот, которые придают ему желтоватый оттенок [2, с. 2]. ВГО применяется в качестве сырья для каталитического крекинга с целью выделения лёгких дистиллятов и масляных фракций, в производстве топлива для судов и электростанций, в производстве смазочных материалов, в производстве нефтехимических продуктов, в качестве компонента котельного топлива, а также для производства маловязкого или печного топлива.

Вакуумный газойль часто содержит значительное количество серы (не менее 2%), что делает его основным сырьём для установок каталитического крекинга, где производятся высокооктановый бензин и дизельные топлива [3, с.4]. Однако, высокое содержание серы в вакуумном газойле приводит к тому, что и моторные топлива, производимые из него, также имеют высокое содержание серы.

При переработке более тяжелых нефтяных фракций (например, вакуумный газойль), содержащих высокое количество серы, азота и ароматических углеводородов, требуется искать новые каталитические системы. Перспективным направлением является использование

кремнийсодержащих носителей. Включение кремнийсодержащего компонента в состав носителя катализаторов может существенно повлиять на их физико-химические и каталитические характеристики. Известно, что такие носители обладают более развитой пористой структурой и способны формировать более крупные поры, что улучшает доступ молекул сырья к активным центрам катализатора [4, с.5]. Более того, добавление кремния способствует повышению активности катализаторов в реакциях удаления серы (гидрообессеривание) и удаления азота (гидродеазотирование). В настоящее время одним из наиболее перспективных решений является использование силикагеля в качестве добавки к носителям.

Силикагель ( $m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) представляет собой обезвоженный гидрогель кремниевой кислоты. Силикагель обладает такими преимуществами, как высокая пористость, экологичность, хорошая термическая стабильность, простая технология приготовления и относительно низкая стоимость.

### Методика эксперимента

Синтез алюмооксидных носителей, содержащих силикагель, проводился в несколько этапов: 1) дозирование и механическое смешение реагентов (псевдобемит  $\text{AlOOH} \cdot x\text{H}_2\text{O}$ , силикагель  $m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , азотная кислота  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ); 2) пластификация формовочной пасты; 3) экструзия пластичной массы через отверстие фильеры  $d=1,2$  мм в виде трилистника; 4) Термообработка полученных экструдатов (сушка при  $110^\circ\text{C}$  в течение 2 часов и прокаливание при  $550^\circ\text{C}$  в течение 4 часов в токе воздуха). Синтезированные носители были обозначены как  $\text{AlSi}_x$ , где  $x$  - содержание  $\text{SiO}_2$  в носителе (масс.%). Всего было приготовлено 5 носителей:  $\text{AlSi}_{10}$ ,  $\text{AlSi}_{30}$ ,  $\text{AlSi}_{50}$ ,  $\text{AlSi}_{70}$  и  $\text{AlSi}_{90}$ .

$\text{NiMo}$ -катализаторы готовили вакуумной пропиткой полученных носителей избытком раствора, содержащего оксид молибдена  $\text{MoO}_3$ , карбонат никеля  $\text{NiCO}_3$ , ортофосфорная кислота  $\text{H}_3\text{PO}_4$  и диэтиленгликоль  $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}_3$ . В ходе работы были синтезированы 5  $\text{NiMo}$ -катализаторов. Далее катализаторы обозначены как  $\text{NiMo/AlSi}_x$ . Полученные катализаторы содержали, масс. %:  $\text{Mo} - 12,0 \pm 0,2$ ;  $\text{Ni} - 3,0 \pm 0,1$ ;  $\text{P} - 1,5 \pm 0,1$ .

### Результаты и обсуждение

Текстурные характеристики носителей и катализаторов измеряли методом адсорбции-десорбции азота [5, с.2]. Носители и катализаторы имеют мономодальное распределение пор по размерам с пиком в области 10-20 нм (рис. 1).

Далее были рассчитаны дисперсность частиц активного компонента ( $D$ ), а также отношение количества атомов  $\text{Mo}$ , расположенных на ребрах кристаллита, к количеству атомов, расположенных на углах ( $f_e/f_c$ ) с использованием формул (1) и (2) [3].

$$D = \frac{M_{0e} + M_{0c}}{M_{0T}} \quad (1)$$

где:

$Mo_e = N \cdot (6n_i - 12)$  – число атомов Мо на углах кристаллита  $MoS_2$ ;

$Mo_c = 6N$  – число атомов Мо на углах кристаллита  $MoS_2$ ;

$Mo_T = N \cdot (3n_i^2 - 3n_i + 1)$  – общее число атомов Мо в средней частице;

$n_i = \frac{10 \cdot \frac{L_{cp}}{3,2} + 1}{2}$  – число атомов Мо вдоль одной стороны кристаллита,

где:

$L_{cp}$  — средняя длина частиц активного компонента.

$$f_e/f_c = \frac{10 \cdot \frac{L_{cp}}{3,2} - 3}{2} \quad (2)$$

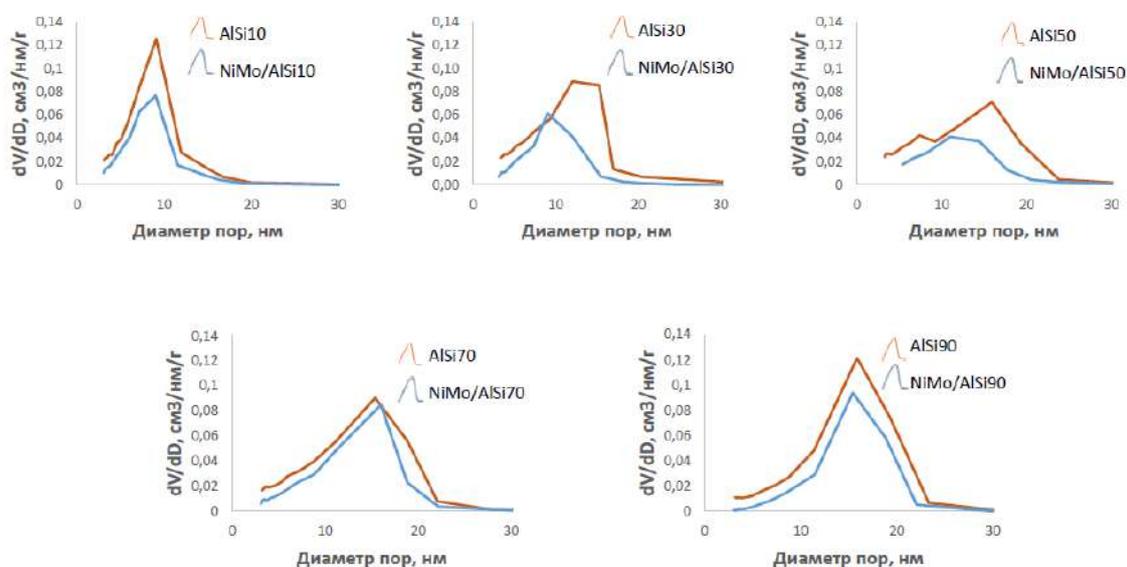


Рисунок 1– Распределение пор по размерам в носителях и катализаторах

В носителях AlSi10 и AlSi30 преобладают поры с диаметром 10 нм, а в носителях AlSi50, AlSi70, AlSi90 – поры с диаметром 15-20 нм. Подобная тенденция сохраняется для катализаторов. Согласно данным по распределению пор (таблица 1), с увеличением содержания силикагеля доля крупных мезопор диаметром  $> 13$  нм растет как для носителей, так и для катализаторов.

Таблица 1– Текстульные характеристики носителей и катализаторов

Содержание $SiO_2$ в носителе, масс. %	Носители				Катализаторы			
	Суд, $m^2/g$	$V_{пор}$ , $cm^3/g$	$D_{пор}$ , нм	Доля пор $> 13$ нм, %	Суд, $m^2/g$	$V_{пор}$ , $cm^3/g$	$D_{пор}$ , нм	Доля пор $> 13$ нм, %
10	260	0,7	11,5	18	166	0,5	11,1	17
30	284	0,8	11,4	36	157	0,5	12,4	35
50	291	0,9	12,3	65	158	0,5	13,1	50
70	294	1,0	13,4	70	190	0,7	15,3	70
90	271*	1,0	15,4	80	156	0,7	18,1	85

В таблице 2 представлены результаты ПЭМ сульфидных катализаторов. Среднее количество слоев в пакете и длина слоя активного компонента практически не изменяются в зависимости от количества  $\text{SiO}_2$  в носителе и составляют  $(2,5 \div 2,7)$  и  $(2,2 \div 2,4)$  нм соответственно. Дисперсность также примерно одинакова для всех образцов и составляет  $(0,46 \div 0,49)$ . Отношение краевых центров молибдена к угловым близка для всех образцов за исключением  $\text{NiMo/AlSi30}$  катализатора, который обладает меньшим значением  $f_e/f_c$ . Известно, что чем выше это отношение, тем выше активность катализатора в гидрообессеривании [6, с.3].

Таблица 2 - Результаты ПЭМ катализаторов

Название катализаторов	Среднее количество слоев в пакете	Средняя длина слоя, нм	Дисперсность	$f_e/f_c$
NiMo/AlSi10	2,5	2,4	0,46	2,25
NiMo/AlSi30	2,7	2,2	0,49	1,94
NiMo/AlSi50	2,6	2,3	0,48	2,09
NiMo/AlSi70	2,6	2,4	0,46	2,25
NiMo/AlSi90	2,7	2,4	0,46	2,25

Изображения сульфидных катализаторов были получены с помощью просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) после проведения испытаний в гидроочистке вакуумного газойля (рис. 2). В ходе реакции катализаторы образуют частицы сульфида  $\text{MoS}_2$ , которые на ПЭМ изображениях выглядят как слоистые пакеты. Эти частицы характерны для катализаторов гидроочистки с активной фазой  $\text{NiMoS}$ .

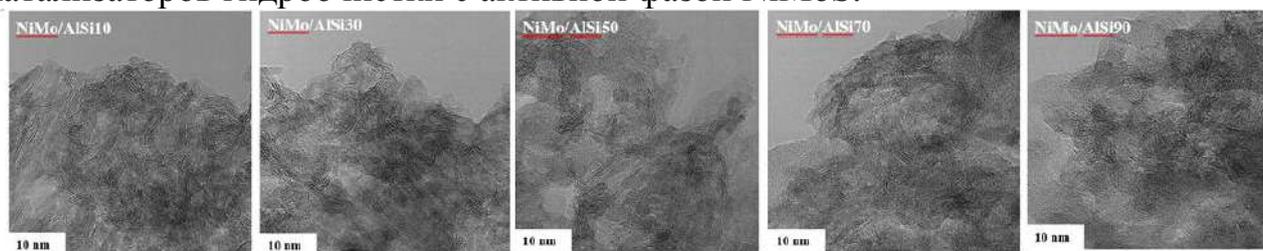


Рисунок 2 – Снимки ПЭМ сульфидных катализаторов

### Заключение

В ходе работы были получены следующие выводы:

Проведен синтез носителей с различным содержанием алюминия и кремния (AlSi10, AlSi30, AlSi50, AlSi70, AlSi90) и катализаторов на основе никель-молибдена (NiMo/AlSi10, NiMo/AlSi30, NiMo/AlSi50, NiMo/AlSi70, NiMo/AlSi90) путём трехкратной пропитки, учитывающей влагоемкость носителей;

Изучена механическая прочность всех образцов носителей и

катализаторов, где наибольшую прочность на сжатие демонстрирует носитель AlSi30, а также катализатор, созданный на его основе.

Обнаружено, что добавление силикагеля способствует увеличению удельной площади поверхности носителей, объема пор и среднего диаметра пор. Однако при содержании SiO<sub>2</sub> в 90 масс.% наблюдается снижение удельной площади поверхности. При этом, с ростом доли силикагеля увеличивается процент крупных мезопор с диаметром более 13 нм, что создает более широкопористую структуру как для носителей, так и для катализаторов.

Зафиксировано, что увеличение доли SiO<sub>2</sub> в носителях и катализаторах вызывает снижение их механической прочности. Это может объясняться уменьшением количества и качества взаимодействий между частицами при повышенном содержании силикагеля.

Модификация катализаторов силикагелем приводит к незначительным изменениям в количестве слоев в пакете (от 2,5 до 2,7), длине слоя (от 2,2 до 2,4 нм) и дисперсии (от 0,46 до 0,49) активного компонента. Соотношение краевых и угловых центров молибдена остается примерно одинаковым для большинства образцов, за исключением катализатора NiMo/AlSi30, который показывает более низкое значение  $f_e/f_c$ .

Катализаторы играют важную роль в химической промышленности, и ИИ помогает искать новые катализаторы для более эффективного и экологически чистого производства. Машинное обучение может предсказать активность катализаторов и предложить новые методы в каталитической химии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <https://pronpz.ru/neft/vakuum-gazoil.html>
2. <https://postavcom.ru/info/articles/11784-vakuumnyj-gazojl-cto-takoe-gde-primenjajut-vidy.html>
3. <https://patents.google.com/patent/RU2387475C1/ru>
4. Капустин В.М., Рудин М.Г. Химия и технология переработки нефти. – М.: Химия, К20 2013. -496 с.: ил.- (Учебники и учеб. Пособия для студентов средних спец. учеб. заведений)
5. Thommes M., Kaneko K., Neimark A.V., Olivier J.P., Rodriguez-Reinoso F., Rouquerol J. Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution / Thommes M., Kaneko K., Neimark A.V., Olivier J.P., Rodriguez-Reinoso F., Rouquerol J // IUPAC Technical Report, Pure Appl. Chem. – 2015. – V. 87(9-10), P. 1051–1069.
6. T.S. Romanova, K.A. Nadeina, I.G. Danilova, V.V. Danilevich, V.P. Pakharukova, A. A. Gabrienko, T.S. Glazneva, E.Yu. Gerasimov, I.P. Prosvirin, Yu.V. Vatutina, M.O. Kazakov, O.V. Klimov, A.S. Noskov // Modification of HDT catalysts of FCC feedstock by adding silica to the kneading paste of alumina support: Advantages and disadvantages // Elsevier – 2022

УДК 621.926 + 621.927 + 69.002.5

Байгереев С.Р. (PhD, ВКТУ), Гурьянов Г.А. (к.т.н., ВКТУ), Ликунов А.В. (преподаватель, Высший IT колледж ВКТУ)

## ПОВЫШЕНИЕ ПРЕДЕЛА ТОНКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ УВЕЛИЧЕНИЕМ ЭНЕРГОНАПРЯЖЕННОСТИ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

***Аннотация.** Обоснована необходимость совершенствования оборудования для тонкого измельчения материалов. Проанализированы процесс тонкого измельчения и работа вибрационных мельниц. Выявлены трудности измельчения и ординарность измельчающего воздействия на материал. Предложено интенсифицировать процесс и повысить эффективность тонкого измельчения увеличением энергонапряженности процесса за счет измененного подхода к его организации. На основе вибрационной мельницы разработаны новые конструктивные схемы измельчителей с повышенной энергонапряженностью процесса. Результаты работы являются основой для дальнейших разработок и исследования процессов и оборудования тонкого и сверхтонкого измельчения материалов.*

***Ключевые слова:** измельчители, мельницы, разрушение, тонкое измельчение, помол, энергонапряженность, эффективность.*

Процессы тонкого и сверхтонкого измельчения являются важнейшей составляющей многих технологий, таких, как производство различных материалов, переработка руд, измельчение твердого топлива и химических компонентов и веществ, и других.

Существует достаточно много типов измельчительных машин, которые отличаются друг от друга как способом и схемой реализации механического воздействия на материал, так и конструктивными параметрами [1, 2]. Однако поиск более эффективных схем измельчения на основе новых подходов к организации процесса измельчения необходим по следующим причинам:

- недостаточная для современных требований эффективность работы используемых в промышленности мельниц;
- возрастающая потребность в особо тонкоизмельченных материалах;
- необходимость тонкого измельчения новых материалов с особыми физико-механическими свойствами;
- повышение требований к качеству продукта измельчения;
- необходимость снижения энергоемкости процесса измельчения.

Поэтому работа, направленная на повышение эффективности процесса измельчения и измельчителей, является актуальной.

Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (Грант № AP23488405 «Разработка инновационного оборудования для измельчения материалов с повышенной эффективностью»).

Процесс измельчения заключается в разрушении твердых тел последовательной серией различных воздействий. При этом на процесс влияют различные факторы, связанные со свойствами разрушаемого материала, параметрами применяемого измельчителя, затраченной энергией и др.

При измельчении материалов наиболее распространены механические способы разрушения, такие, как раздавливание, разрыв, излом, срез и истирание, удар и их сочетания [2, 3]. Они отличаются простотой осуществления и позволяют наиболее просто достигнуть необходимой крупности конечного продукта и требуемой формы частиц.

Для измельчения материала его частицы подвергают внешнему силовому воздействию, что создает в их объеме напряженно-деформированное состояние, и они разрушаются в результате превышения внешними усилиями пределов прочности материала [2, 3, 4].

Однако получение высокодисперсных частиц встречает определенные трудности [5]. С увеличением дисперсности частиц их измельчение затрудняется, а, начиная с некоторой, предельной для данного материала дисперсности, становится невозможным по причине уменьшения количества дефектов и размеров микротрещин, что может сопровождаться «залечиванием» микротрещин и образованием конгломератов из тонкодисперсных частиц. При этом существующие измельчители не позволяют достигнуть даже такого предела измельчения, то есть потенциал механического измельчения и устройств для его осуществления далеко не исчерпан.

Большое практическое значение для эффективного разрушения имеет открытое академиком П.А. Ребиндером явление понижения прочности тел под влиянием высокочастотных знакопеременных нагрузок, что приводит к измельчению материала по наиболее слабым местам [6]. Этот принцип положен в основу таких устройств для измельчения, как, например, вибрационные мельницы.

Вибрационные мельницы [1, 2] позволяют реализовать высокочастотное знакопеременное воздействие на материал, вследствие чего и имеют сравнительно высокую эффективность, однако, эти мельницы, как правило, отличаются ординарностью воздействия, поскольку перемещение материала и мелющих тел производится только в плоскости вибрации.

Повысить эффективность работы измельчительного оборудования, интенсифицировать процесс тонкого измельчения, обеспечить повышенное разрушающее воздействие на частицы материала и повысить предел измельчения можно за счет увеличения энергонапряженности процесса измельчения, т.е. более интенсивной и насыщенной передачи энергии измельчаемому материалу [3, 4, 7], для чего необходимо реализовать определенный подход к организации процесса измельчения, включающий:

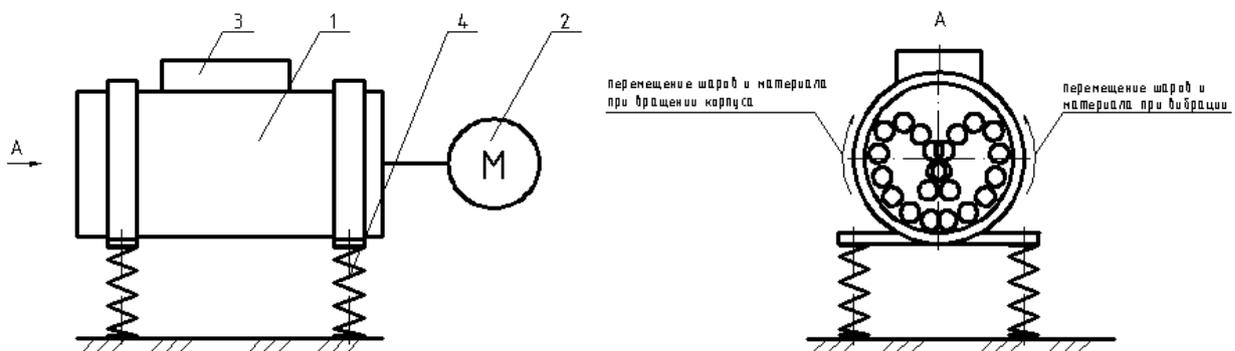
- высокочастотные знакопеременные воздействия на частицы;

- высокие скоростные и амплитудные параметры воздействия;
- сложно-пространственное движение загрузки;
- совмещение различных разрушающих воздействий на материал и различных принципов измельчения на основе синергического подхода.

Опираясь на проведенный краткий анализ, можно предложить следующее: принимая высокочастотное знакопеременное воздействие в качестве основного процесса, повышающего эффективность помола, дополним его сложным движением загрузки в помольной камере, приняв за основу усовершенствованной конструкции вибрационную мельницу, в которой следует создать условия для сложного движения загрузки по разным осям или в нескольких плоскостях. Как уже отмечалось, конструкция должна реализовывать сложное воздействие на материал. Это можно обеспечить за счет введения дополнительных устройств.

На основании этого предложены новые конструктивные схемы измельчительных устройств (мельниц) с повышенной энергонапряженностью процесса измельчения.

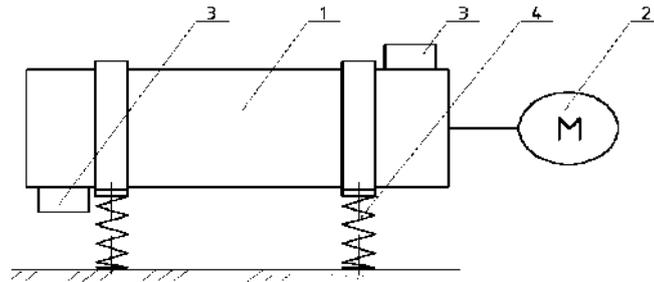
Вибровращательная мельница (рисунок 1) сочетает в себе шаровую и вибрационную мельницы, представляет собой конструкцию со сложным воздействием на измельчаемый материал и работает следующим образом. Привод 2 вращает корпус 1 на котором закреплен дебаланс 3. Вся конструкция установлена на опорные пружины 4. При вращении корпуса мельницы загрузка перемещается как в обычной шаровой мельнице, но за счет установки дебаланса загрузка получает дополнительные встряхивающие импульсы, которые нарушают равномерное распределение шаров по стенкам, заставляют интенсивнее измельчаться материал, за счет этого становится возможным обеспечить отрыв шаров от стенки при большей частоте вращения и интенсификацию соударений шаров между собой и стенкой мельницы, обеспечить воздействие мелющих тел на измельчаемый материал в большей части объема мельницы.



1 - шаровая мельница; 2 - привод; 3 - дебаланс; 4 - опорные пружины.

Рисунок 1 – Вибровращательная мельница с круговыми колебаниями

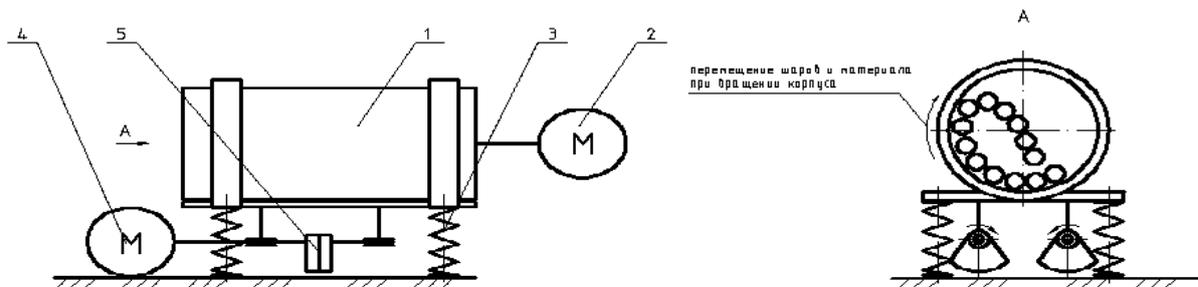
Вибровращательная мельница с продольными качаниями (рисунок 2) является еще одним вариантом усовершенствования конструкции со сложным воздействием на измельчаемый материал за счет установки двух дебалансов, закрепленных на противоположных концах корпуса с разводкой на  $180^\circ$ . Такой установкой дебалансов достигается динамическая неуравновешенность конструкции и при вращении корпуса она начинает колебаться относительно вертикальной оси, совершая качательные движения.



1 - шаровая мельница; 2 - привод; 3 - дебаланс; 4 - опорные пружины.

Рисунок 2 – Вибровращательная мельница с продольными качаниями

Мельница (рисунок 3) представляет собой вариант вибровращательной мельницы с двухвальным вибратором направленных колебаний, закрепленным на раме мельницы. Вибрация воздействует на загрузку мельницы в вертикальной плоскости.

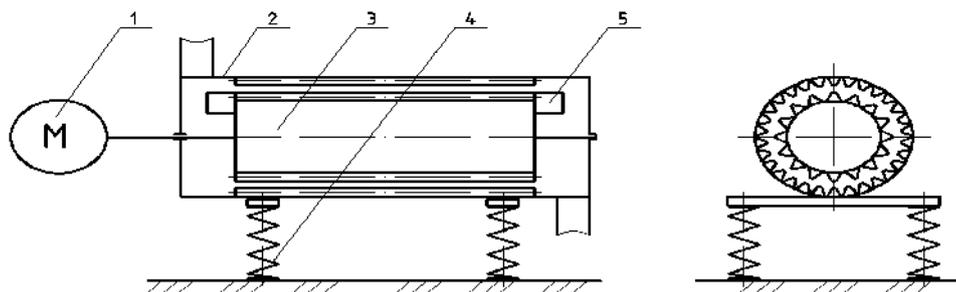


1 - корпус; 2 - привод корпуса; 3 - опорные пружины; 4 - привод вибратора;  
5 - вибратор двухвальный.

Рисунок 3 – Вибровращательная мельница с направленными колебаниями

Еще одной конструкцией является мельница (рисунок 4) состоящая из вращающегося ротора 3 с зубьями и корпуса 2, также с зубьями на внутренней поверхности. Материал измельчается в мельнице за счет многократного ударного воздействия при его контакте с зубьями ротора 3 и корпуса 2. Дополнительная вибрация, приложенная к мельнице, направлена на значительное увеличение количества переходов материала с зубьев ротора на

зубья корпуса и обратно, что должно интенсифицировать процесс измельчения.



1 - привод; 2 - корпус; 3 - ротор; 4 - опорные пружины; 5 - дебалансы.

Рисунок 4 – Ударно-вибрационная мельница

По результатам работы можно сделать следующие выводы.

1) Повысить эффективность измельчительного оборудования и предел измельчения можно увеличением энергонапряженности процесса измельчения путем обеспечения высокочастотных знакопеременных воздействий, высоких скоростных параметров, сложно-пространственной траектории движения загрузки, синергического совмещения различных разрушающих воздействий.

2) Разработаны новые конструктивные схемы мельниц с повышенной энергонапряженностью процесса измельчения.

3) Результаты работы являются основой для дальнейшего развития процессов и оборудования тонкого и сверхтонкого измельчения материалов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Современное помольное оборудование: Промышленность нерудных и неметаллорудных материалов: сб. науч. ст. / Науч.-исслед. ин-т информ. и техн.-эконом. исслед. пром. нерудных материалов. – М.: Химия, 1990. – 62 с.

2. Сиденко П.М. Измельчение в химической промышленности. – М.: Химия, 2007. – 368 с.

3. Демидов А.Р., Чирков С.Е. Способы измельчения и оценка их эффективности. – М.: ЦИНТИ, 2009. – 49 с.

4. Голосов С.И. Принципиальные основы измельчения. // Механохимические явления при измельчении. – Новосибирск: Институт геологии и геофизики СО РАН, 2001. - С. 23–40.

5. Гийо Р. Проблема измельчения материалов и ее развитие. – М.: Стройиздат, 2004. - 112 с.

6. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика: Избранные труды. - М.: Наука, 1979. - 384 с.

7. Гурьянов Г.А., Клименко Е.А. Об одном подходе к интенсификации процесса помола. // Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева, 2013. № 1 (59). С.27–35.

## ӘӨЖ 656.971.8

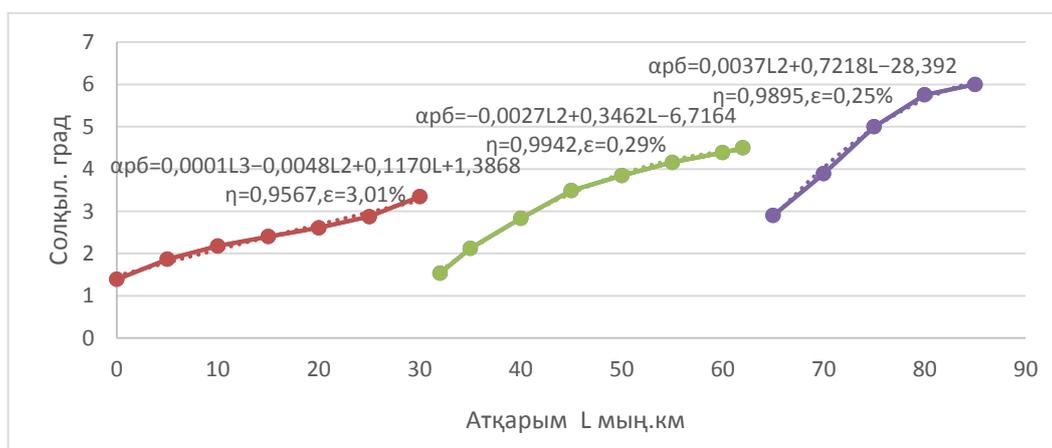
Таймулдин.Ш.Р. (23-МУД-2,ШҚТУ), Машекенова А.Х. (Т.Ф.К., ШҚТУ)

### ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ДИАГНОСТИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ ДАМУ ЖАҒДАЙЫНДА РУЛЬДІК БАСҚАРУДЫҢ ТЕХНИКАЛЫҚ ЖАҒДАЙЫНЫҢ ЖОЛ ҚАУІПСІЗДІГІНЕ ӘСЕРІ (АЛДЫҢҒЫ ДОҒАЛАҚТЫ АВТОМОБИЛЬДЕР МЫСАЛЫНДА)

**Андапта.** Қазіргі диагностикалық әдістерді ескере отырып, ВАЗ-21703 рульдік басқарудың пайдалану сенімділігі талданды. Ақауларды болжау мен автоматтандырылған диагностиканың қозғалыс қауіпсіздігіне әсері қарастырылды. Басқару күйін бақылаудың аналитикалық алгоритмдерінің мысалдары, істен шығу түрлері, олардың себептері және жұмыс процесінде жиынтық ойынның динамикасы келтірілген. Статистика негізінде рульдік басқару элементтерінің техникалық жағдайы және апаттылықты азайту үшін оны талдау мүмкіндігі анықталды.

**Түйін сөздер:** пайдалану сенімділігі, рульдік басқару, алдыңғы доңғалақты автомобильдер, ВАЗ-21703, істен шығуды болжау, техникалық жағдайы, диагностикасы, жол қауіпсіздігі.

Автомобильдердің рульдік басқаруының (РБ) пайдалану жағдайын диагностикалау барысында параметрлердің динамикасын өлшеу жүргізілді, бұл олардың пайдалану жағдайында жұмыс істеу бойынша өзгеру заңдылықтарын анықтауға мүмкіндік берді. Деректерді талдаудың заманауи әдістері жүйенің істен шығуына және төтенше жағдайларға әкелуі мүмкін ауытқуларды анықтауға мүмкіндік береді. (Сурет 1) көріп отырғанымыздай, автомобильдің бүкіл жұмысында РБ-дағы жалпы ойын өзгерісі әртүрлі қарқындылыққа ие.



Сурет 1 - Пайдалану жағдайында автомобильдің рульдік басқаруында солқыл қалыптасуы

Рульдік басқарудың анықталған толқындары (30-35 мың км., 60-62,5 мың км., 80-85 мың км.) автомобильдің бағамдық тұрақтылығының төмендеуіне және көлік құралының басқару әсеріне жауап беру уақытының ұлғаюына әкеледі. Бұл, әсіресе қиын жол жағдайында, апат ықтималдығын едәуір арттырады. Рульдің техникалық күйін болжау уақытылы техникалық қызмет көрсетуді қамтамасыз ете отырып, ақаулардың қозғалыс қауіпсіздігіне әсерін азайтуға мүмкіндік береді.

30-35 мың км. жүгірісте шар буындарының жұмыс қабілеттілігін жоғалтуға байланысты рульдік басқару элементтерінің істен шығуының алғашқы "толқыны" анықталды. Рульдік жүйенің сипаттамаларының динамикалық өзгерістерін талдау осы сәтсіздіктердің пайда болу сәтін болжауға және оларды ауыстырудың оңтайлы уақытын ұсынуға мүмкіндік береді, бұл төтенше жағдайлар қаупін азайтады.

60-62,5 мың км. жүгірісте байқалған сәтсіздіктердің екінші "толқыны" шар буындары мен резенке металл элементтерінің істен шығуымен байланысты. Осы кезеңде басқарудың төмендеуі тежеу жолының ұлғаюына және жүргізушінің әрекеттеріне автомобильдің реакциясының нашарлауына әкеледі, бұл апат ықтималдығын арттырады. Бұл түйіндердің күйін бақылау рульдің кенеттен істен шығу қаупін азайтады.

80-85 мың км. жүгірісте рульдік механизмнің берілісіндегі саңылаудың сыни ұлғаюын қамтитын сәтсіздіктердің үшінші "толқыны" байқалады. Діріл мен рульдік күштердің өзгеруін талдау осы сәтсіздіктің басталуын көрсететін параметрлерді алдын-ала анықтай алады, бұл көлік құралын басқарудың жоғалуын болдырмайды.

Рульдік рульдің (ЭРК) күйін автоматтандырылған бақылау қозғалыс қауіпсіздігі үшін де маңызды. Электрлік сигналдарды және басқару блогының жұмысын талдау ақауларды ерте анықтауға мүмкіндік береді, бұл қиын жол жағдайында көлік құралын басқаруды жоғалтуды болдырмайды.

ВАЗ алдыңғы доңғалақты автомобильдердің РБ жүйесінің пайдалану сенімділігі туралы ақпарат оның элементтерінің істен шығуы туралы статистикалық деректерді талдау негізінде алынды. Зерттеу нәтижелері (Сурет-2) көрсетілген.



Сурет 2-VAZ-21703 алдыңғы жетекті автомобильдердің рульдік басқару элементтерінің жұмыс істемеу диаграммасы

Диаграммадан істен шығудың ең үлкен үлесі рульдік штангалардың доп буындарында (37,3%) болатындығын көруге болады. РМ ақаулары (23,1%) жүйенің жұмыс қабілеттілігін жоғалтудың екінші маңызды себебі болып табылады. Руль мен резеңке-металл буындарының электр күшейткішінің істен шығуы барлық ақаулардың сәйкесінше 18,5% және 17,9% құрайды. РБ-дың техникалық ақауларының шамамен 3,1% - ы бекіткіш қосылыстардың әлсіреуімен, олардың зақымдануына байланысты рульдік шыбықтардың геометриясының өзгеруімен және т. б. байланысты.

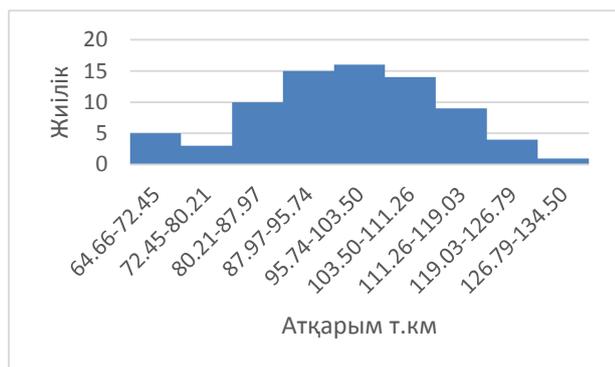
Осылайша, егер РБ жүйесінің сенімділігін сипаттайтын жалпыланған индикатор-А енгізілсе, онда эксперименттік зерттеулер негізінде келесі тәуелділікті жазуға болады:

$$K = 0,373X_1 + 0,231X_2 + 0,185X_3 + 0,179X_4 + 0,031X_5 \quad (3.8)$$

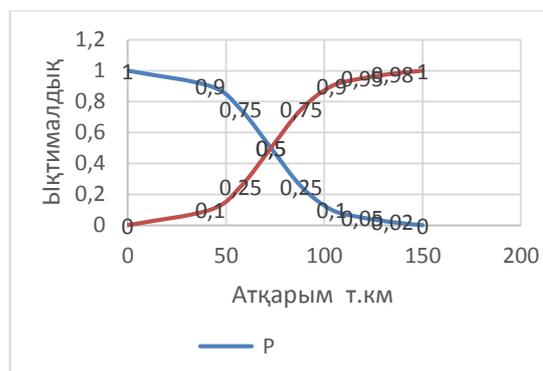
мұндағы  $X_1$  - рульдік тартқыштардың шар топсаларының істен шығуы;  $X_2$  - рульдік механизмнің істен шығуы;  $X_3$  - рульдік электр күшейткіштің істен шығуы;  $X_4$  - резеңке металл топсаларының істен шығуы;  $X_5$ -басқа да ақаулар мен істен шығулар.

Алынған тәуелділік РБ әр элементінің жүйенің жұмысына әсер ету дәрежесін көрсетеді. Жалпыланған көрсеткіш ретінде сенімділік қасиеттері, мысалы, сенімділік болуы мүмкін. Бұл жағдайда әр фактордың салмағы жүйенің жұмыс істеу ықтималдығын анықтайды.

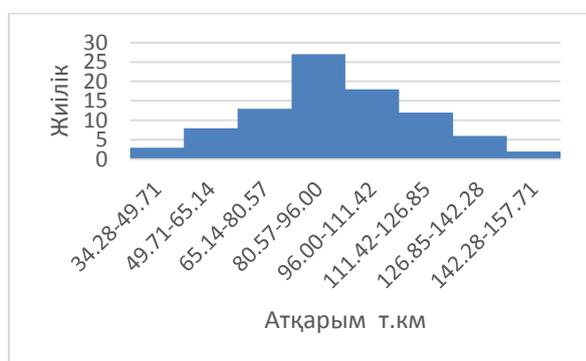
ТҚ тораптары мен бөлшектерінің сенімділігін талдау нәтижелері пайдалану сынақтары нәтижесінде алынған істен шығуға арналған және істен шығуға дейінгі орташа жұмыс мәндерін бөлудің гистограммалары түрінде ұсынылған (Сурет 3.1- 3.8)



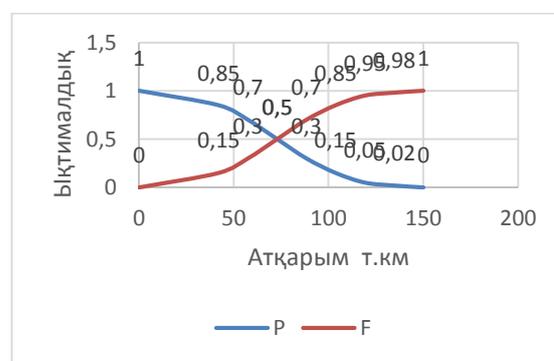
Сурет 3.1. ВАЗ-21703 алдыңғы доңғалақты автомобильдің рульдік штангаларының резеңке-металл буындарының істен шығуын бөлудің гистограммасы  $X = 91,19$  мың км.,  $\sigma = 12,44$  мың км. зерттелетін объектілер саны  $N = 58$



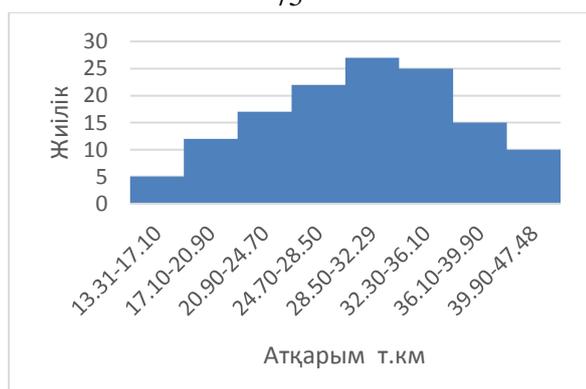
Сурет 3.2. Алдыңғы доңғалақты автомобильдің рульдік штангаларының резеңке металл буындарының F және ақаусыз жұмыс істеу ықтималдығының графигі ВАЗ 21703 жұмыс істеуден



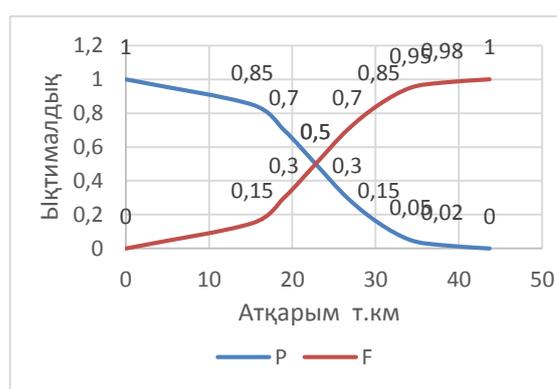
Сурет 3.3. ВАЗ-21703 рульдік механизмдерінің істен шығуының таралу гистограммасы (параметрлік істен шығу - тісті берілістегі кеңейтілген алшақтық)  $X = 86,43$  мың км.,  $\sigma = 23,37$  мың км. зерттелетін объектілер саны  $N = 75$



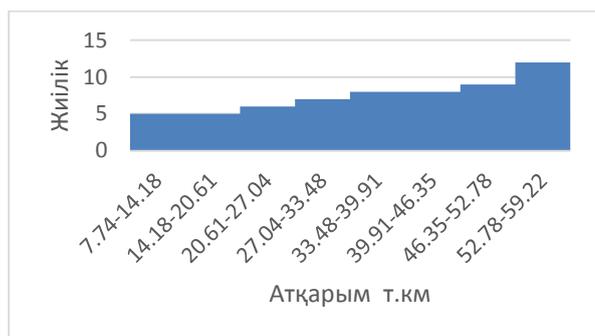
Сурет 3.4. ВАЗ-21703 р рульдік механизмнің F істен шығу ықтималдығы мен жұмыс істемеу ықтималдығының графигі



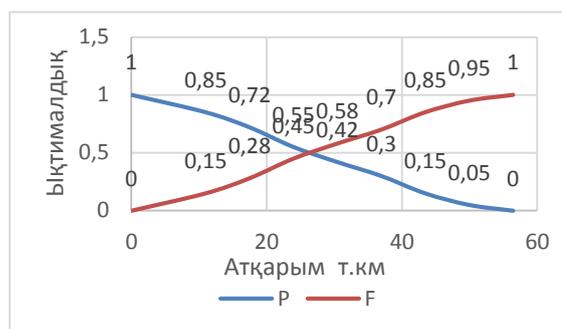
Сурет 3.5. ВАЗ-21703  $x = 30,58$  мың км,  $\sigma = 7,28$  мың км алдыңғы жетекті автомобильдің рульдік тартқыштарының шар буындарының істен шығуын бөлудің гистограммасы. зерттелетін объектілер саны  $N = 121$



Сурет 3.6. Алдыңғы доңғалақты ВАЗ-21703 автомобильінің руль ілмектерінің доп буындарының F істен шығуы және жұмыс істемеу ықтималдығының графигі



Сурет 3.7 VAZ-21703  $x = 36,51$  мың км алдыңғы доңғалақты автомобильдің рульдік басқаруындағы ақауларды бөлудің гистограммасы,  $\sigma = 13,83$  мың км. Зерттелетін объектілер саны  $N = 60$



Сурет 3.8 VAZ-21703 алдыңғы доңғалақты автокөлігінің рульдік басқаруының F істен шығу ықтималдығы мен ЭРК жұмысының жұмыс кестесі

Пайдалану сынақтары рульдік басқарудың ең аз сенімді элементі жоғары жүктемелерге байланысты рульдік тартқыштың шарлы топсасы (істен шығуға дейінгі орташа жұмыс — 30,58 мың км) екенін көрсетті. Тозудың негізгі себептері: механикалық тозу, серіппенің әлсіреуі, тығыздықтың бұзылуы.

Рульдің электр күшейткіші орта есеппен 36,51 мың км-ден кейін істен шығады, негізгі ақаулар датчиктердің дұрыс жұмыс істемеуі, басқару блогының қателіктері және орамалардың окшаулауының бұзылуы болып табылады. 86,43 мың км қашықтықта тісті доңғалақтардың, втулкалардың және мойынтіректердің тозуына байланысты тісті берілістегі саңылаудың ұлғаюымен байланысты рульдік механизмнің айтарлықтай тозуы байқалады. Ең сенімді элемент-резеңке металл топса (91,19 мың км). Рульдік басқарудың жалпы ресурсы 120 мың км-ге дейін болғанына қарамастан, жекелеген тораптар оның қызмет ету мерзімін шектеп, жоғары назар аударуды талап етеді.

Диагностиканың заманауи әдістерін қолдану сәтсіздіктерді болжауға, техникалық қызмет көрсетуді оңтайландыруға, жүргізушіге апат ықтималдығын азайтып, пайдалану қауіпсіздігін арттыра отырып, ауыр тозу туралы ескертуге мүмкіндік береді.

#### ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ:

1. Иванов П. А. автокөлік құралдарының пайдалану сенімділігі. // М.: Машина Жасау, 2018. — 320 б.
2. Кузнецов А. О. көлік құралдарының қауіпсіздігін бағалаудың заманауи әдістері. // Екатеринбург: Орал университеті, 2020. — 256 б.
3. Фролов С. и. автокөлікті басқару жүйелері және диагностикасы. // Санкт-Петербург.: Ғылым, 2017. — 300 б.
4. Автомобиль қауіпсіздігі жүйелері // "Автоэксперт" техникалық журналы. — 2021. — № 4. - Б. 45-53.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Абеджанова А.С., Муздыбаев М.С.</b> СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ СМАРТ-ТЕХНОЛОГИЙ К РАЗВИТИЮ ГОРОДСКОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА	3
<b>Ағзамова П.А., Реутова Г.А.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД КАК ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ БАЗА ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ЦИФРОВЫХ ПРОГРАММ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА (Open AI ChatGPT-4o)	8
<b>Азизов Д.С., Килымбеков Н.К., Комбаев К.К.</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ ОБРАБОТКИ КОНСТРУКЦИОННОЙ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ	14
<b>Алтаев Е.А., Ғабдысалық Р.</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАБОТЫ ШЛАМОВЫХ НАСОСОВ ЗА СЧЁТ НАНЕСЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ	19
<b>Альгужинова М.М., Вдовин В. Н.</b> РЕШАЮЩАЯ РОЛЬ «ПОСЛЕДНЕЙ МИЛИ» В ЛОГИСТИКЕ	24
<b>Асхатов А.Н., Арингожина З.Е., Магазов Н.М.</b> ИОННО- ПЛАЗМЕННОЕ АЗОТИРОВАНИЕ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ: ТЕХНОЛОГИИ, ПРЕИМУЩЕСТВА И ОГРАНИЧЕНИЯ	29
<b>Баталова А.Б., Муздыбаев М.С., Wieleba Wojciech Kazimierz</b> ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ПОДВЕСКИ ГОРОДСКИХ АВТОБУСОВ	36
<b>Берікбосын А.Р., Рамазанова Р.А.</b> УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ МЕДНОЙ РУДЫ	40
<b>Гридунов И.Д., Комбаев К.К.</b> СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОЙ ХРОМОМОЛИБДЕНОВОВАНА-ДИЕВОЙ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ 42ХМФА ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ МОДИФИКАЦИИ	45
<b>Горковенко А.В., Абдулина С.А.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СОРБЦИИ БЕРИЛЛИЯ ИЗ СУЛЬФАТНЫХ РАСТВОРОВ	50
<b>Достовалов В.О., Серая Н.В.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИОННОГО УПЛОТНЕНИЯ ПОРОШКА БЕРИЛЛИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛОТНОЙ СТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛА	56

<b>Дуйсен А. Р., Вдовин В. Н.</b> ТИПОЛОГИЯ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ОБЗОР АЛГОРИТМОВ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДЛЯ АНАЛИЗА БОЛЬШИХ ДАННЫХ	60
<b>Елеманов Д.С., Молдаханов Б.А.</b> ПРАКТИЧЕСКАЯ ОПЫТНАЯ ПРОВЕРКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДИСКОВОЙ СЕЯЛКИ	65
<b>Жаксанбеков А.К., Муздыбаева А.С., М.Кот</b> ИЗУЧЕНИЕ ВОПРОСОВ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСМИССИЙ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ	70
<b>Жамсап Р.Д., Мухамедова Р.О.</b> АСИМПТОТИЧЕСКАЯ СИМВОЛИКА В ИСКУССТВЕННОМ ИНТЕЛЛЕКТЕ	76
<b>Жапаров К.М., Комбаев К.К.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ РЕЗКИ ТВЕРДОГО СПЛАВА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИСПОЛЪЗУЕМОЙ ЖИДКОСТИ	81
<b>Ибраимова А.А., Конырханова А.А., Мукашева Р.У.</b> КВАНТОВЫЕ АЛГОРИТМЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЛИНЕЙНОЙ АЛГЕБРЫ И СТАТИСТИКИ	86
<b>Исаканов И.М., Муздыбаев М.С., Муздыбаева А.С., Мырзабекова Д.М.</b> РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ВЕДУЩЕГО МОСТА ТРАНСМИССИИ ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ КАМАЗ И ПОВЫШЕНИЕ ЕГО РЕСУРСА ПУТЕМ МОДЕРНИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ СТУПИЧНОГО УЗЛА	92
<b>Ibtasam U., Akhmediyev R.B., Kombayev K.</b> DIGITAL MEASUREMENTS IN THE DESIGN OF MACHINE PARTS BY RIGELSCAN PLUS 3D SCANNING TO INCREASE ACCURACY IN CNC MACHINING	97
<b>Кабдуллина Д.С., Дудкин М.В.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ АВТОГРЕЙДЕРА НА ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТЬ В ЭКСПЛУАТАЦИИ	102
<b>Калибек Ж.С., Дудкин М.В., Асангалиев Е.А.</b> МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ СОЛЯНЫХ БРИКЕТОВ-ЛИЗУНЦОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИИ	107
<b>Кылымбеков Н.К., Ғабдысалық Р.</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ШИБЕРОВ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ	113
<b>Корнилович А.М., Абдулина С.А.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОБРАЗОВАНИЕ ОСАДКОВ РАФИНАТОВ УРАНА В ТРУБОПРОВОДАХ ЭКСТРАКЦИОННОЙ ЛИНИИ УРАНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА	118
<b>Котельникова А.Ю., Мукашева Р.У.</b> МЕТОД МОНТЕ-КАРЛО	124
<b>Қуатов А.Қ., Рамазанова Р.А.</b> ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ СРОКА СЛУЖБЫ ФУТЕРОВКИ КОНВЕРТЕРА МЕДНОГО ПРОИЗВОДСТВА	130

<b>Кусаинов Т.К., Саденова М.А.</b> ҚҰРАМЫНДА ФТОРЫ БАР ШИКІЗАТТЫ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЯЛЫҚ ӨНДЕУ КЕЗІНДЕ КОМПОЗИЦИЯЛЫҚ МАТЕРИАЛДАРДЫ АЛУ МҮМКІНДІГІН ЗЕРТТЕУ	135
<b>Қадылбекова Д. Б., Рахметуллина Ж.Т.</b> ШЕКСІЗ ШАМАЛАРДЫҢ ҚАСИЕТТЕРІН ВИЗУАЛИЗАЦИЯЛАУ	139
<b>Қазимұллаев Ж.М., Комбаев К.К.</b> ТІЗБЕКТІ КОНВЕЙЕРДІҢ БӨЛШЕКТЕРІН ЭЛЕКТРОЛИТТІК ПЛАЗМАЛЫҚ ӨНДЕУДІ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП ТІСТІ ЖҰЛДЫЗШАЛАРДЫҢ БЕРІКТІГІН АРТТЫРУ	144
<b>Маданият Н. М., Әділқанова М.Ә.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА И ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ РУДЫ КИНГАШСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ	149
<b>Мейірбол Э., Қайырбаева Н.М., Мукашева Р.У.</b> СЫЗЫҚТЫҚ БАҒДАРЛАМАЛАУ ӘДІСТЕРІ АРҚЫЛЫ ПАЙДАНЫ ОҢТАЙЛАНДЫРУ	154
<b>Молдаханов Б.А., Дудкин В.М.</b> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТЬ НОВОЙ КОММУНАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ	159
<b>Муканов Т.О., Муздыбаева А.С., М.Кот</b> ИССЛЕДОВАНИЕ АСПЕКТОВ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ	164
<b>Муратханов Е. Д., Серіктаева А.С.</b> АУА РАЙЫН БОЛЖАУДА МАТЕМАТИКАЛЫҚ ӘДІСТЕРДІ ҚОЛДАНУ	169
<b>Нұртаза Ә. Д., Әділқанова М. Ә.</b> УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ МЕДНОЙ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ АКТОГАЙ	174
<b>Овчинников О.В., Рамазанова Р. А.</b> ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ	179
<b>Оралбек С.К., Вдовин В.Н., Машекенова А.Х.</b> ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТОВ ТРАНСПОРТИРОВКИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА «СУММ»	184
<b>Павлова Л.Н., Капаева С.Д.</b> ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАСТОЧНОЙ ОПРАВКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ВНУТРЕННИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОТВЕРСТИЙ ИЗ РАЗНОРОДНЫХ СТАЛЕЙ С ЦЕЛЬЮ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ	189
<b>Пятков С.В.</b> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАНАРНОГО МАГНЕТРОНА ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ НАНОСТРУКТУР	194

<b>Сагандыкова К.М., Сарманова А.Е, Қазғұмарова Ә.Р., Қонарбаева Г.Н. ЖҮРГІЗУШІЛЕРДІ ДАЯРЛАУ ЖҮЙЕСІН ЖЕТІЛДІРУДІҢ КЕЙБІР СҰРАҚТАРЫ</b>	198
<b>Сайнулдинова А.Б., Рамазанова Р.А. АҚТОҒАЙ КЕН ОРНЫНЫҢ СУЛЬФИДТІ КЕНДЕРІН ӨНДЕУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ЖЕТІЛДІРУ</b>	203
<b>Сайнулдинова Б., Мукашева Р.У. МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ДВОЙСТВЕННОЙ ЗАДАЧИ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ К БОЛЬШИМ ДАННЫМ</b>	209
<b>Солтанбекова Қ.Қ., Мухамедова Р.О., Рахметуллина Ж.Т. ДЮАМЕЛЬ ЖӘНЕ ГРИН ОПЕРАТОРЛАР ӘДІСТЕРІНЕ ШОЛУ</b>	214
<b>Тлеужанов М.О., Мукашева Р.У., Калиева К.С. ИНСТРУМЕНТЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЕКТА В МАТЕМАТИКЕ</b>	219
<b>Тлеужанов Б.Б., Бақыт Ғ.Б., Ибраев Б.М. ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОРОДА ДЛЯ ЧАСТИЧНОГО ЗАМЕЩЕНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ТЕПЛОВОЗНЫХ ДИЗЕЛЯХ</b>	224
<b>Төлөвхан Х, Т., Серьянова Д.Қ., Қонарбаева Г.Н. ҚАЗІРГІ ТАҢДАҒЫ КӨЛІКТІК ЛОГИСТИКАНЫҢ ТИІМДІЛІГІ</b>	230
<b>Төреханова М.Т., Кадыров Ж.Н. ТІК ФРЕЗЕРЛЕРДІҢ ДӘЛДІГІН БАҚЫЛАУҒА АРНАЛҒАН ҚҰРЫЛҒЫНЫ ЖЕТІЛДІРУ</b>	235
<b>Третьяков Н.Д., Ғабдысалық Р. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ НА ТОЛЩИНУ И КАЧЕСТВО ПОКРЫТИЙ ДЕТАЛЕЙ ГИДРОЦИЛИНДРОВ</b>	240
<b>Шунаков Д.Э., Муздыбаева А.С., Муздыбаев М.С., Мырзабекова Д.М. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ БАРАБАННЫХ ТОРМОЗНЫХ МЕХАНИЗМОВ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПРИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ</b>	245
<b>Янус Я.Ф., Блинаева Е.В. СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ NiMo-КАТАЛИЗАТОРОВ ГИДРООЧИСТКИ ВГО НА ОСНОВЕ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩИХ АЛЮМООКСИДНЫХ НОСИТЕЛЕЙ</b>	250
<b>Байгереев С.Р., Гурьянов Г.А., Ликунев А.В. ПОВЫШЕНИЕ ПРЕДЕЛА ТОНКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ УВЕЛИЧЕНИЕМ ЭНЕРГОНАПРЯЖЕННОСТИ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ</b>	255
<b>Таймулдин Ш.Р., Машекенова А.Х. ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ДИАГНОСТИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ ДАМЫТУ ЖАҒДАЙЫНДА РУЛЬДІК БАСҚАРУДЫҢ ТЕХНИКАЛЫҚ ЖАҒДАЙЫНЫҢ ЖОЛ ҚАУІПСІЗДІГІНЕ ӘСЕРІ (АЛДЫҒЫ ДОҢҒАЛАҚТЫ АВТОМОБИЛЬДЕР МЫСАЛЫНДА)</b>	260

*Научное издание*

**«ТВОРЧЕСТВО МОЛОДЫХ – ИННОВАЦИОННОМУ  
РАЗВИТИЮ КАЗАХСТАНА»**

*Материалы*

*XI Международной научно-технической конференции  
студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых, посвященной  
80-летию профессора Кульсеитова Жениса Оразхановича  
(ВКТУ, 10, 11 апреля 2025 г.)*

Часть I

Сборник издан методом прямого копирования авторских статей

Ответственный за выпуск *О.Н. Николаенко*

Редактор *С.С. Мамыраздыкова*

Подписано в печать 22.04.2025. Формат 60x84/16.

Печать ризографическая. Бумага офсетная.

Усл.печ.л. 14,76. Уч.-изд.л. 14,79.

Тираж 20. Заказ № 361-2025.

Цена договорная.

Восточно-Казахстанский технический  
университет им. Д. Серикбаева  
070004, г. Усть-Каменогорск, ул. Протозанова, 69.