

Әбілқас Сағынов атындағы  
Қарағанды техникалық  
университеті



Карагандинский  
технический университет  
имени Абылқаса Сагинова

**Ә. Ермаковтың 135 жылдығына арналған  
«ЖАСТАР ҒЫЛЫМЫНЫҢ ИННОВАЦИЯЛЫҚ ЖӘНЕ  
ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫҢ ДАМУЫНА  
ҚОСҚАН ҮЛЕСІ»**

**Республикалық студенттік ғылыми конференциясы  
ЕҢБЕКТЕРІ  
II БӨЛІМ**

**PROCEEDINGS  
of the Republican Student Scientific Conference  
«THE CONTRIBUTION OF YOUTH SCIENCE TO  
THE DEVELOPMENT OF INNOVATIVE AND  
DIGITAL TECHNOLOGIES»,  
dedicated to the 135th anniversary of A. Yermekov.  
PART II**

**ТРУДЫ  
Республиканской студенческой  
Научной конференции  
«ВКЛАД МОЛОДЕЖНОЙ НАУКИ В РАЗВИТИЕ  
ИННОВАЦИОННЫХ И ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»,  
посвященной 135-летию А. Ермакова.  
ЧАСТЬ II**



ӘОЖ 001:004  
КБК 72:32.973  
Ә11

**Ә. Ермековтың 135 жылдығына арналған «Жастар ғылымының инновациялық және цифрлық технологиялардың дамуына қосқан үлесі»** атты Республикалық студенттік ғылыми конференцияның еңбектері (2-3 сәуір 2026 ж.). 3 бөлімде. 2 бөлім. «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ. – Қарағанды: ҚарТУ баспасы, 2026. – 460 б.

ISBN 978-601-355-712-0

***Редакция алқасы***

- Мехтиев А.Д.** – Басқарма мүшесі - ҒЖИ жөніндегі Проректор т.ғ.к., профессор
- Исагулов А.З.** – Аппарат басшысы, т.ғ.д., профессор
- Сулеев Б.Д.** – ҚарТУ ҒЖИД директоры (жауапты хатшы), PhD, қауымдастырылған профессор
- Жолмагамбетов Н.Р.** – ҚарТУ Тау – кен факультетінің деканы, т.ғ.к., доцент
- Макашева А.М.** – ҚарТУ Машина жасау факультетінің деканы, т.ғ.д., профессор
- Токанов Д.Т.** – ҚарТУ Сәулет - құрылыс факультетінің деканы, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор
- Калинин А.А.** – ҚарТУ Инновациялық технологиялар факультетінің деканы, PhD
- Бирюков В.В.** – ҚарТУ Инженерлік экономика және менеджмент факультетінің деканы, э.ғ.д., доцент
- Булатбаев Ф.Н.** – ҚарТУ Энергетика, автоматика және теле байланыс факультетінің деканы, т.ғ.к., доцент
- Кызылбаева Ә.Ж.** – ҚарТУ Жол – көлік факультетінің деканы, PhD

ISBN 978-601-355-712-0

***Радиоэлектрондық байланыс  
жүйелеріндегі цифрлық және  
зияткерлік технологиялар***

DIGITAL AND INTELLIGENT TECHNOLOGIES IN RADIOELECTRONIC  
COMMUNICATION SYSTEMS

When we look at how wireless communication has evolved, one thing stands out: we have always treated the space between devices as something to overcome. We make better antennas to send signals further. We add more power to punch through walls. We design complex algorithms to fix errors caused by reflections.

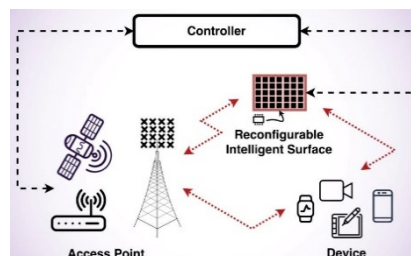
But what if the space itself could help? What if walls, instead of blocking signals, could bend them toward where they need to go? This is not a new idea in physics — we know how to control waves. The question is whether we can do it cheaply, simply, and at scale.

I have been following the development of 5G and the discussions around 6G for some time. What strikes me is how much we rely on brute force. Massive MIMO is brilliant — it uses many antennas to focus energy. But it also uses many amplifiers, many cooling systems, and a lot of electricity. When I read about terahertz frequencies for 6G, I wonder: are we going to build base stations that consume as much power as a small factory:

There must be another way. This led me to look at Reconfigurable Intelligent Surfaces, or RIS. The idea is simple: instead of radiating energy in all directions, why not put up surfaces that reflect energy exactly where it is needed? These surfaces do not generate radio waves; they just redirect what is already there. That means almost no extra power for transmission.

Imagine a wall covered with thousands of tiny patches. Each patch can change how it reflects radio waves. A small computer tells each patch what to do. When a signal hits the wall, the patches work together to make the signal bounce toward a specific spot — say, a phone in someone's hand.

Figure 1 shows this idea. The base station sends a signal toward the wall. The wall, acting like a smart mirror, reflects it exactly to the user. No new signal is created. Just redirected.

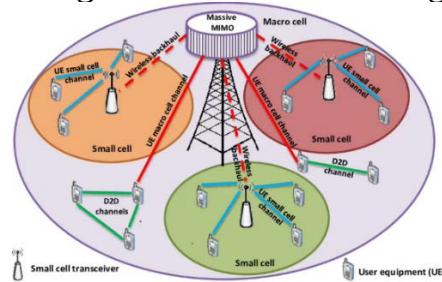


Picture 1 - How a Reconfigurable Intelligent Surface (RIS) Works

At the frequencies used by 5G (millimeter waves) and planned for 6G (terahertz), signals do not travel far and do not bend around obstacles. A person stepping behind a pillar can lose connection. Traditional solutions involve more base



stations, which means more cost and more energy. With RIS, we can put smart surfaces on pillars, walls, and ceilings. They catch the signal and throw it around corners. This is not just an improvement — it changes the game. Suddenly, high frequencies become practical indoors and in dense cities. If you look at how 5G networks are built today, you see a mix of large towers (macrocells) and small boxes (small cells) on streetlights and buildings. Figure 2 shows this typical setup. The idea is to have big coverage from towers and fill gaps with small cells.



Picture 2 – [Heterogeneous 5G architecture with macrocells and small cells](#)

But small cells still need power and a connection back to the network. What if we replaced many of them with passive RIS panels? The tower would still send the signal, but the panel would just reflect it locally. No new power supply, no new data cable. Just a smart piece of material on a wall. This seems to me like a natural evolution. We keep the expensive transmitters where they are, and we use cheap, low-power surfaces to distribute the signal. If I had to choose one area to push forward, it would be the control software. Hardware will improve over time — that is how technology works. But figuring out how thousands of surfaces coordinate with each other, track users, and avoid interference — that is a problem we need to solve now. What excites me most about this idea is that it changes the shape of a network. Today, a network is a collection of boxes that emit signals. Tomorrow, it could be a property of the environment itself. The walls around us become part of the infrastructure. The signal follows us, not because we carry a powerful device, but because the space we move through is alive to our presence.

This is not science fiction. It is engineering, materials science, and software coming together. And it might be the only way to make high-frequency communication practical and affordable for everyone.

#### Список использованной литературы

1. Grigoriev V.A., Lagutenko O.I. *Networks of the fifth generation*. - Moscow: Hotline - Telecom, 2020.
2. Babkov V.Y., Voznyuk M.A. *Communication systems with mobile objects. MIMO technologies*. - St. Petersburg: SPbSUT, 2019.
3. Björnson E., Høydis J., Sanguinetti L. *Massive MIMO Networks: Spectral, Energy, and Hardware Efficiency*. - Now Publishers, 2021
4. Saulin A.Y., Grebeshkov A.Y. Reconfigurable Intelligent Surfaces for 6G Networks: Design Principles and Modeling // *Electrosvyaz*. 2024.
5. Rashich A.V., Kislyakov A.N. Heterogeneous integration of microwave modules for advanced antenna arrays // *Components and Technologies*. - 2025.

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫМИ СЕТЯМИ НА ОСНОВЕ ИИ

В условиях цифровизации экономики и роста зависимости общества от телекоммуникационных сервисов особое значение приобретает обеспечение надёжности функционирования сетевой инфраструктуры. Телекоммуникационное оборудование работает в условиях высокой нагрузки, постоянного обмена данными и строгих требований к доступности сервисов. Даже кратковременные сбои могут привести к финансовым потерям, ухудшению качества обслуживания пользователей и снижению конкурентоспособности операторов связи. Для телекоммуникационных стартапов данная проблема усугубляется ограниченностью ресурсов и невозможностью внедрения дорогостоящих корпоративных систем мониторинга.

Традиционные системы контроля сетевой инфраструктуры в большинстве случаев основаны на пороговом принципе анализа параметров оборудования. Такой подход позволяет фиксировать критические состояния, однако обладает рядом ограничений, включая высокий уровень ложных срабатываний, отсутствие адаптации к динамике изменения параметров и невозможность прогнозирования потенциальных отказов. В результате обслуживание инфраструктуры носит реактивный характер, при котором меры принимаются после возникновения сбоя, что увеличивает время простоя оборудования.

Перспективным направлением повышения эффективности мониторинга является использование технологий искусственного интеллекта и методов машинного обучения. Интеллектуальный анализ телеметрических данных позволяет выявлять скрытые закономерности в работе оборудования, учитывать историческую динамику параметров и формировать адаптивные модели поведения сети. Интеллектуальные системы способны автоматически обнаруживать аномалии, прогнозировать деградацию оборудования и формировать рекомендации по оптимизации управления инфраструктурой, обеспечивая переход к проактивной модели эксплуатации.

В рамках исследования рассматривается концепция интеллектуальной системы мониторинга и управления телекоммуникационным оборудованием, ориентированной на применение в стартап-среде. Предлагаемая система реализуется на основе модульной архитектуры, включающей подсистемы сбора телеметрии, хранения и предварительной обработки данных, аналитического анализа и визуализации результатов. Сбор информации осуществляется с использованием стандартных

протоколов мониторинга, что обеспечивает совместимость с существующей инфраструктурой и снижает затраты на внедрение.

Аналитический модуль системы реализует методы машинного обучения для анализа временных рядов, классификации состояний оборудования и обнаружения аномалий. Использование интеллектуальных алгоритмов позволяет учитывать тренды изменения параметров, выявлять признаки перегрузки и формировать прогнозы возможных отказов. Дополнительно реализуется механизм адаптивного определения аномальных состояний, позволяющий снизить количество ложных тревог и повысить достоверность уведомлений.

Экспериментальная оценка проводилась на имитационной модели телекоммуникационной сети, включающей маршрутизатор, коммутатор и серверный узел, при воспроизведении штатных режимов работы, перегрузок и аварийных состояний. Результаты показали повышение точности обнаружения аномалий с **78 % до 92 %** и снижение доли ложных уведомлений с **15 % до 5 %**, что соответствует уменьшению количества ошибочных тревог приблизительно в **3 раза**.

Дополнительно зафиксировано сокращение среднего времени реакции системы на критические отклонения с **5 до 2 минут**, что обеспечивает уменьшение простоя оборудования примерно на **60 %**. При среднем количестве 8 отказов в месяц суммарное время недоступности инфраструктуры сокращается с **40 до 16 минут**, что повышает показатель доступности сервисов до **99,97 %**.

Практический эффект внедрения выражается в снижении эксплуатационных затрат на 18–25 %, уменьшении количества аварий и оптимизации процессов технического обслуживания. Модульная архитектура и распределённая обработка телеметрии снижают нагрузку на центральные узлы примерно на 30 % и повышают масштабируемость системы.

Таким образом, внедрение технологий искусственного интеллекта в процессы мониторинга и управления телекоммуникационным оборудованием позволяет повысить устойчивость сетевой инфраструктуры, сократить время реагирования на сбои и обеспечить переход к проактивному управлению. Полученные результаты подтверждают перспективность дальнейших исследований в области интеллектуального мониторинга и расширения функциональности автоматизированных систем управления сетями.

#### *Источники*

1. Савчук Д.О., Фокин А.Б., Лазарев М.М. Искусственный интеллект в телекоммуникациях // Актуальные исследования. - 2025.
2. Кутузов Д.В., Осовский А.В., Старов Д.В. и др. Анализ и прогнозирование трафика телекоммуникационных систем на основе методов искусственного интеллекта // Вестник АГТУ. - 2024.
3. Обухов С.А., Елагин В.С. Применение моделей искусственного интеллекта в сетях связи 5G/6G для классификации сетевого трафика // ВКИТ. - 2024.

## АДАПТИВНЫЕ АНТЕННЫЕ КОМПЛЕКСЫ КАК ФАКТОР ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И СПЕКТРАЛЬНОЙ ГИБКОСТИ СЕТЕЙ 5G/6G

Современный этап развития телекоммуникаций характеризуется исчерпанием частотного ресурса в традиционных диапазонах и ростом энергопотребления базовых станций. Простое наращивание мощности передатчиков ведет к росту интерференции. Выходом из сложившегося противоречия является переход от изотропного излучения к пространственной селекции сигналов, реализуемой интеллектуальными антенными системами (Smart Antennas).

В отличие от пассивных фазированных антенных решеток (ФАР), где диаграмма направленности формируется по жесткой программе, интеллектуальные антенны представляют собой киберфизические системы. Они включают в себя:

- Цифровой блок обработки, анализирующий сигнально-помеховую обстановку в реальном времени;
- Алгоритм адаптации (на базе LMS или RLS), который изменяет весовые коэффициенты каналов.
- Ключевое отличие - способность к подавлению помех путем формирования «нулей» диаграммы направленности в сторону источников шума, что недоступно простым секторным антеннам.

В работе обосновывается, что технологии Massive MIMO и Beamforming неразрывны. Massive MIMO (использование  $> 32$  антенных элементов) создает эффект виртуального увеличения апертуры антенны. Это позволяет сужать лучи до нескольких градусов. Однако узкий луч требует точного позиционирования. Предлагается рассматривать систему как единый пространственный мультиплексор, где каждый луч обслуживает конкретного пользователя на уникальной пространственной поднесущей.

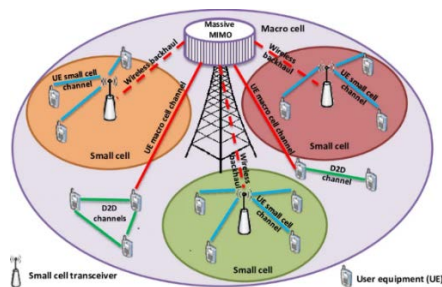
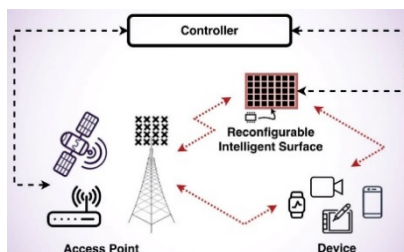


Рисунок 1 – Гетерогенная архитектура сети 5G с Massive MIMO и малыми сотами

Существующие решения часто работают реактивно - коррективка луча происходит после ухудшения сигнала. В рамках данной работы предлагается концепция проактивного формирования луча с использованием нейросетевого предиктора. Модель анализирует тренды изменения фазы сигнала от движущегося абонента (на основе данных акселерометров смартфона или истории хендверов) и заранее перенаправляет максимум диаграммы в точку вероятного нахождения пользователя. Это снижает задержки на переключение (handover) в сетях 5G и сокращает энергопотребление РА (усилителей мощности) за счет исключения повторных запросов на передачу данных (ARQ).

Планируемый переход на частоты выше 100 ГГц (суб-ТГц диапазон) в сетях 6G ставит новые задачи. Длина волны становится крайне малой, что увеличивает дифракционные потери. Интеллектуальные антенны в 6G эволюционируют в реконфигурируемые поверхности (RIS — Reconfigurable Intelligent Surfaces). По сути, вся окружающая среда (стены, окна) должна стать частью огромной адаптивной антенны, управляемой ИИ, что позволит огибать препятствия, недоступные для миллиметровых волн 5G. На рисунке 1 представлена архитектура взаимодействия элементов системы с использованием RIS: контроллер управляет поверхностью, которая динамически перенаправляет сигнал от точки доступа к конечному устройству, обеспечивая устойчивую связь даже в условиях сложной городской застройки.



[Рисунок 2 – Схема функционирования реконфигурируемой интеллектуальной поверхности \(RIS\)](#)

Таким образом, ценность интеллектуальных антенн заключается не просто в усилении сигнала, а в оптимизации использования частотно-временного ресурса. Дальнейшее развитие связано с внедрением методов глубокого обучения для прогнозной коммутации лучей и созданием метаматериалов с управляемыми параметрами.

#### **Список использованной литературы**

6. Massive MIMO Networks: Spectral, Energy, and Hardware Efficiency / E. Björnson, J. Hoydis, L. Sanguinetti. — Now Publishers, 2021.
7. Пространственное формирование луча для мобильных абонентов в сетях 5G заявитель и патентообладатель НИИ Радио. — 2023.
8. Перспективы применения реконфигурируемых поверхностей в сетях 6G // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. — 2024.

## ҒИМАРАТТАР МЕН ҚҰРЫЛЫСТАРДЫҢ ТЕХНИКАЛЫҚ ЖАҒДАЙЫН БАҚЫЛАЙТЫН МОНИТОРИНГ СҰРАҚТАРЫН ТАЛДАУ

Қазіргі кезде қалаларда жаңа ғимараттар мен әртүрлі құрылыс нысандары көп салынып жатыр. Уақыт өткен сайын кез келген ғимараттың жағдайы өзгеруі мүмкін. Мысалы, қабырғаларда жарықтар пайда болуы, іргетастың шөгуі немесе конструкциялардың аздап қисайып кетуі мүмкін. Мұндай өзгерістерді уақытында байқамаса, ғимараттың қауіпсіздігіне әсер етуі мүмкін. Сондықтан ғимараттар мен құрылыстардың техникалық жағдайын үнемі бақылап отыру өте маңызды. Ғимараттардың жағдайын бақылаудың тиімді тәсілдерінің бірі мониторинг жүйесін қолдану. Мониторинг жүйесі бұл ғимараттың жағдайы туралы мәліметтерді жинап, бақылап отыратын арнайы құрылғылар мен бағдарламалардың жиынтығы. Бұл жүйе ғимаратта пайда болатын өзгерістерді ерте анықтауға көмектеседі. Соның арқасында қауіпті жағдайлардың алдын алуға болады [1].

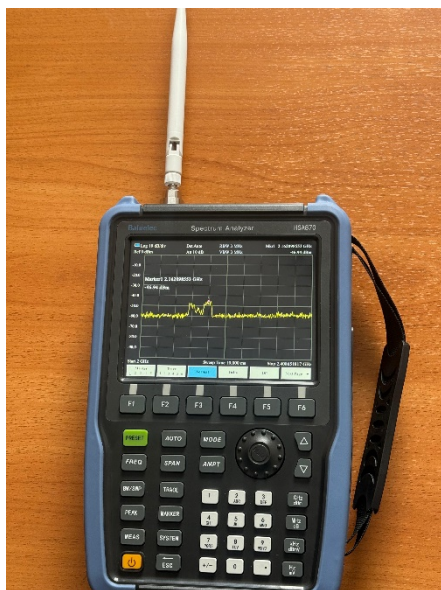
Ғимараттың жағдайын бақылау үшін әртүрлі датчиктер қолданылады. Олар конструкциялардың деформациясын, температураны және дірілді анықтайды. Датчиктерден алынған мәліметтер арнайы құрылғыға немесе компьютерге жіберіліп, өңделеді. Нәтижесінде ғимараттың техникалық жағдайы туралы қорытынды жасауға мүмкіндік туады.

Қазіргі кезде мониторинг жүйелері автоматты түрде жұмыс істей алады. Бұрын ғимараттардың жағдайын тексеру үшін мамандар арнайы барып тексеру жүргізетін. Бұл көп уақыт алатын және кейде барлық өзгерістерді бірден анықтау қиын болатын. Ал қазіргі мониторинг жүйелері датчиктер арқылы мәліметтерді үнемі жинап отырады. Егер қандай да бір өзгеріс байқалса, жүйе бұл туралы бірден хабар бере алады [2].

Мониторинг жүйесін жобалау кезінде оның негізгі құрамдас бөліктері ескеріледі. Жүйеде ғимараттағы әртүрлі физикалық параметрлерді өлшейтін датчиктер қолданылады. Олар конструкциялардың күйіндегі өзгерістерді анықтап, өлшенген мәліметтерді жүйеге жеткізеді. Датчиктерден алынған ақпарат арнайы мәліметтерді жинау құрылғысына беріледі. Бұл құрылғы барлық датчиктерден келген ақпаратты қабылдап, жинақтайды және өңдеуге дайындайды. Сонымен қатар ол мәліметтерді сақтау және әрі қарай талдау үшін басқа құрылғыларға жіберуге мүмкіндік береді. Жиналған мәліметтерді өңдеу үшін бағдарламалық қамтамасыз ету қолданылады. Бағдарламалық жүйе алынған ақпаратты өңдеп, ғимараттың техникалық жағдайы туралы мәліметтерді көрсетеді. Сонымен бірге ол мәліметтерді сақтау, салыстыру және өзгерістерді анықтау арқылы ғимараттың жағдайын бақылауға мүмкіндік береді [3].



Сонымен қатар мониторинг жүйелерінде алынған мәліметтерді қашықтықтан беру маңызды рөл атқарады. Мұндай жағдайда сымсыз байланыс технологиялары қолданылады. Сымсыз байланыс жүйелерінің жұмысын тексеру және сигнал сапасын анықтау үшін арнайы спектр анализаторы қолданылады (1 а сурет). Бұл құрылғы радиосигналдардың жиілігін және олардың деңгейін анықтауға мүмкіндік береді. Деректерді қашықтыққа жіберу үшін арнайы MikroTik RBLHGG-60ad антенналары пайдаланылады (1 ә сурет).



1 сурет – а) Спектралды анализатор құрылғысы ә) Сымсыз байланысқа арналған бағытталған MikroTik RBLHGG-60ad антенналары

Мұндай антенналар сигналды белгілі бір бағытта күшейтіп, деректерді тұрақты түрде жіберуге мүмкіндік береді. Осы құрылғыларды қолдану арқылы мониторинг жүйесінің жұмыс сапасын арттыруға және алынған мәліметтердің дәлдігін қамтамасыз етуге болады. Нәтижесінде ғимараттар мен құрылыстардың техникалық жағдайын тиімді бақылау және олардың қауіпсіз пайдаланылуын қамтамасыз ету мүмкіндігі артады. Қорытындылай келе, ғимараттар мен құрылыстардың техникалық жағдайын бағалауға арналған мониторинг жүйесін жобалау маңызды бағыттардың бірі болып табылады.

Пайдаланылған әдебиет тізімі

- 1.Константинов Ю.А., Синельникова И.Е. Мониторинг технического состояния зданий и сооружений.
- 2.Леденёв В.В., Ярцев В.П. Обследование и мониторинг строительных конструкций зданий и сооружений. – Тамбов: ТГТУ, 2017.
- 3.Коробейников О.П., Панин А.И., Гусев Э.И., Трубина И.В. Мониторинг технического состояния зданий, сооружений и инженерных систем. – Нижний Новгород, 2011.

## ARDUINO ПЛАТФОРМАСЫ НЕГІЗІНДЕ ӨРТ СӨНДІРУШІ РОБОТТЫ ЖОБАЛАУ

Қазіргі таңда өндірістік және азаматтық инфрақұрылымның күрделенуі техногендік апаттардың алдын алу мәселесін өзекті етіп отыр. Өрт – ең қауіпті төтенше жағдайлардың бірі болып табылады, себебі ол қысқа уақыт ішінде үлкен материалдық шығынға және адам өміріне қауіп төндіреді. Жоғары температура, түтін және жарылыс қаупі бар ортада адамның жұмыс істеуі шектеулі болғандықтан, интеллектуалды автоматтандырылған жүйелерді енгізу қажеттілігі артып келеді. Осы тұрғыда роботтандырылған өрт сөндіру құрылғылары қауіпсіздік деңгейін арттырудың тиімді құралы болып табылады.

Жұмыстың мақсаты – микроконтроллерлік платформа негізінде жалынды анықтап, оған бағытталып қозғалып және бастапқы сатысында сөндіруге қабілетті мобильді роботты жобалау және тәжірибелік үлгісін құрастыру.

Жобаның аппараттық бөлігі басқару модулінен, сенсорлық жүйеден, қозғалыс механизмінен және сөндіру блогынан тұрады. Басқару ядросы ретінде Arduino Uno микроконтроллерлік тақтасы қолданылды. Бұл платформа цифрлық және аналогтық сигналдарды өңдеуге, сенсорлармен және атқарушы механизмдермен тиімді өзара әрекеттесуге мүмкіндік береді. Arduino платформасының ашық архитектурасы жүйені болашақта кеңейтуге жағдай жасайды. Қозғалыс жүйесін басқару үшін L298N қозғалтқыш драйвері пайдаланылды. Аталған драйвер Н-көпір схемасы негізінде жұмыс істейді және екі тұрақты ток қозғалтқышының айналу бағытын тәуелсіз басқаруға мүмкіндік береді. Қозғалтқыштардың айналу жылдамдығы импульстік-кеңдік модуляция (PWM) әдісі арқылы реттеледі. PWM әдісі энергияны тиімді пайдаланып, қозғалыстың бірқалыптылығын және маневр дәлдігін арттырады. Өрт көзін анықтау үшін инфрақызыл жалын датчиктері қолданылды. Датчиктер 760–1100 нм диапазонында жұмыс істеп, жану процесінде бөлінетін сәулеленуді тіркейді. Бірнеше сенсорды әртүрлі бағытта орналастыру арқылы кеңістіктегі жалын бағытын анықтау жүзеге асырылды. Сенсорлардан алынған сигналдар аналогтық-цифрлық түрлендіру арқылы микроконтроллерге беріледі және арнайы алгоритм бойынша өңделеді. Жобада басқару элементтері енгізілді. Басқару алгоритмі ережелік логика және салыстырмалы талдау принципіне негізделген. Яғни, микроконтроллер әр сенсордың көрсеткішін салыстырып, ең жоғары сигнал мәніне сәйкес бағытты анықтайды. Егер сол жақ сенсор мәні жоғары болса – робот солға бұрылады, оң жақ жоғары болса – оңға қозғалады, ал орталық сенсор максималды мән көрсетсе – робот



тікелей алға жылжиды. Бұл тәсіл қарапайым адаптивті шешім қабылдау моделін іске асырады.

Роботтың жұмыс алгоритмі келесі кезеңдерден тұрады:

- қоршаған ортаны үздіксіз сканерлеу;
- жалын сигналының қарқындылығын талдау;
- қозғалыс бағытын есептеу;
- өрт ошағына дейін жақындау;
- сөндіру механизмін іске қосу.



Сурет 1 – Өрт сөндіргіш роботтың құрылымдық схемасы

Сөндіру механизмі ретінде шағын қуатты су немесе ауа ағынын бағыттайтын модуль қолданылды. Қуат көзінің тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін кернеу реттегіш және сүзгілеуші конденсаторлар орнатылды, бұл микроконтроллердің қайта жүктелуін болдырмайды. Зертханалық сынақ барысында робот жалынды 1–2 метр қашықтықтан анықтап, бағытталаып қозғалу қабілетін көрсетті. Жүйе шағын көлемдегі ашық жалынды бастапқы кезеңде локализациялауға мүмкіндік берді. Нәтижелер роботтың тұрақты жұмыс істейтінін және алгоритмнің сенімді екенін дәлелдеді.

Жобаның артықшылықтары:

- құрылымдық қарапайымдылығы;
- элементтік базаның қолжетімділігі;
- энергияны үнемді пайдалану;
- масштабтау және жетілдіру мүмкіндігі.

Болашақта жүйені жетілдіру үшін бейнекамера негізінде жалынды тану алгоритмдерін, машиналық оқыту элементтерін және толық автономды навигация жүйесін енгізу жоспарлануы мүмкін. Бұл роботтың интеллектуалдық деңгейін арттырып, өндірістік ортада қолдану аясын кеңейтеді.

*Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:*

1. Банци М. *Arduino негіздері*. – М.: БХВ-Петербург, 2015. – 320 б.
2. Сиков А.В. *Робототехника негіздері*. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 352 б.

## ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНОГО КАЛЬКУЛЯТОРА НА ЯЗЫКЕ PYTHON ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

В рамках данной работы был разработан программный инженерный калькулятор для автоматизированной обработки экспериментальных данных электрической цепи.

Основным инструментом реализации выбран язык программирования Python, который широко применяется в инженерных расчётах, цифровом моделировании и анализе данных. Выбор Python обусловлен его интерпретируемой архитектурой, математической строгостью вычислений, встроенной поддержкой численных операций и развитой стандартной библиотекой.

Интерпретируемый характер выполнения кода обеспечивает поэтапное исполнение алгоритма, что повышает прозрачность вычислительного процесса и облегчает контроль корректности реализованных математических выражений.

| NR | I пост | U пост | R | I эф | U эф | U эф' | Z | Z' | L | L' | Lcp | L'cp | ΔL | ΔL' |
|----|--------|--------|---|------|------|-------|---|----|---|----|-----|------|----|-----|
|    |        |        |   |      |      |       |   |    |   |    |     |      |    |     |

Рисунок 1 - Интерфейс программного калькулятора

**Определение индуктивности катушки**

**Ввод измерений**

I пост (А)  
 U пост (В)  
 Iэф (А)  
 U без серд (В)  
 U с серд (В)

| №    | Iпост | Uпост | R      | Iэф   | Uэф    | Uэф'   | Z      | Z'     | L       | L'      | Lcp     | L'cp    | ΔL      | ΔL'     |
|------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1    | 0.260 | 3.200 | 12.308 | 0.180 | 10.600 | 11.200 | 58.889 | 62.222 | 0.18331 | 0.19415 | 0.17833 | 0.19561 | 0.01613 | 0.00240 |
| 2    | 0.330 | 6.000 | 18.182 | 0.220 | 12.200 | 14.200 | 55.455 | 64.545 | 0.16676 | 0.19713 | 0.17833 | 0.19561 | 0.01613 | 0.00240 |
| 3    | 0.390 | 7.000 | 17.949 | 0.250 | 15.200 | 16.000 | 60.800 | 64.000 | 0.18491 | 0.19554 | 0.17833 | 0.19561 | 0.01613 | 0.00240 |
| ИТОГ |       |       |        |       |        |        |        |        |         |         |         |         |         |         |
|      |       |       |        |       |        |        |        |        |         |         | 0.17833 | 0.19561 | 0.01613 | 0.00240 |

**Ход вычислений**

--- Измерение №3 ---

Активное сопротивление:  
 $R = 7.0 / 0.39 = 17.949 \text{ Ом}$

Полное сопротивление:  
 $Z = 15.2 / 0.25 = 60.800 \text{ Ом}$

Индуктивность катушки:  
 $L = \sqrt{(60.800^2 - 17.949^2)} / 314.16$   
 $L = 0.184907 \text{ Гн}$

Статистическая обработка результатов:  
 $L_{cp} = 0.178326 \text{ Гн}$   
 $\Delta L = 0.016127 \text{ Гн}$

Рисунок 2 - Окно с результатами вычислений

Разработанное программное решение предназначено для автоматизации обработки экспериментальных измерений параметров электрической цепи. Алгоритм включает ввод исходных данных (напряжение, сила тока, частота), проверку корректности значений и расчёт искомых параметров по заданным формулам с последующей обработкой серии измерений. Все вычисления реализованы средствами Python с использованием стандартных арифметических операторов и функций библиотеки, что обеспечивает точность и воспроизводимость результатов.

В процессе разработки применялись базовые структуры данных, циклы и условные операторы для обработки массива измерений и контроля входных параметров. Перевод физических формул в программный код позволил формализовать инженерный алгоритм и исключить арифметические ошибки. Программа автоматически формирует таблицу результатов, повышая наглядность анализа и демонстрируя практическую значимость применения Python в инженерных расчётах.

#### Список литературы

1. Лутц М. Изучаем Python. - 5-е изд. - СПб.: Питер, 2021. - 832 с.
2. Саммерфилд М. Программирование на Python 3. Подробное руководство. - М.: ДМК Пресс, 2020. - 768 с.
3. McKinney W. Python for Data Analysis. - 2nd ed. - Sebastopol: O'Reilly Media, 2017. - 544 p.
4. Downey A. B. Think Python: How to Think Like a Computer Scientist. - 2nd ed. - O'Reilly Media, 2015. - 300 p.
5. Официальная документация языка Python [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://docs.python.org> - Дата обращения: 19.02.2026.

## 5G ЖЕЛІСІ НЕГІЗІНДЕГІ IOT ЕНГІЗУ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ

Заттар интернеті (IoT) технологияларын бесінші буын (5G) желісі негізінде енгізу қазіргі заманғы кәсіпорындар мен қалалық инфрақұрылымды цифрлық трансформациялаудың негізгі бағыттарының бірі болып табылады. 5G желісі деректерді аса жоғары жылдамдықпен жеткізуді, кідірістің (latency) минималды болуын және құрылғылардың жаппай қосылуын (mMTC) қамтамасыз етеді. Бұл «ақылды» қалалар, өнеркәсіптік автоматтандыру (Industry 4.0), телемедицина, энергетика және логистика салаларында жоғары сенімділік пен тұрақтылыққа негізделген шешімдерді жүзеге асыруға мүмкіндік береді (сурет 1).



Сурет 1 - IoT негіздері

IoT-ты 5G негізінде енгізу тиімділігі техникалық, экономикалық және ұйымдастырушылық көрсеткіштер арқылы бағаланады. Техникалық критерийлерге желінің өткізу қабілеті, қосылу тұрақтылығы, жүйенің ауқымдылығы және ақпараттық қауіпсіздік деңгейі жатады. Экономикалық тиімділік операциялық шығындардың азаюы, жабдықтардың бос тұрып қалу уақытын қысқарту, ресурстарды оңтайландыру және еңбек өнімділігін арттыру арқылы анықталады. Ұйымдастырушылық әсер нақты уақыт режимінде деректерді өңдеу және интеллектуалды аналитиканы енгізу арқылы басқарушылық шешімдердің сапасын жақсартудан көрінеді.

IoT пен 5G интеграциясының қосымша артықшылығы – жабдықтардың істен шығуын болжау, көлік ағындарын, энергия тұтынуды және логистикалық процестерді басқару үшін жасанды интеллект пен машиналық

оқыту технологияларын қолдану мүмкіндігі. Бұл реактивті басқару моделінен болжауға және автоматтандыруға негізделген проактивті модельге көшуге ықпал етеді.

IoT-ты 5G негізінде енгізу тиімділігін бағалау кезінде бастапқы инфрақұрылымдық инвестициялардың жоғары болуы, киберқауіпсіздік тәуекелдері, жабдықтардың үйлесімділігі және нормативтік-құқықтық шектеулер ескерілуі тиіс. Кешенді талдау жобаның өтелу мерзімін (ROI) анықтауға, стратегиялық артықшылықтарды бағалауға және тұрақты цифрлық даму моделін қалыптастыруға мүмкіндік береді.

5G желісі негізіндегі IoT енгізу технологиялық және экономикалық тұрғыдан айтарлықтай тиімділік береді, ұйымдардың бәсекеге қабілеттілігін арттырып, жаңа буын цифрлық экожүйені қалыптастырады. Сонымен қатар бұл цифрлық егіздер (Digital Twin) тұжырымдамасын дамытуға ықпал етіп, өндірістік процестерді виртуалды ортада дәл модельдеуге және тәуекелдерді азайтуға мүмкіндік береді.

Өнеркәсіпте IoT пен 5G нақты уақыт режимінде деректер жинау арқылы жабдықтың жай-күйін бақылап, ақаулардың алдын алуды қамтамасыз етеді. Нәтижесінде жөндеу шығындары азайып, өндіріс тиімділігі артады. Көлік және логистика саласында жүктерді қадағалау, маршруттарды оңтайландыру және қозғалысты интеллектуалды басқару жүзеге асады, бұл қауіпсіздік пен экологиялық тиімділікті арттырады.

Энергетика секторында «ақылды» желілерді (Smart Grid) дамыту арқылы энергияны тиімді бөлу және тұтынуды дәл болжау мүмкіндігі кеңейеді. Ал әлеуметтік-экономикалық тұрғыдан алғанда, 5G негізіндегі IoT жаңа жұмыс орындарын құрып, инновациялық экожүйенің дамуына және экономиканың тұрақты өсуіне ықпал етеді.

Жалпы, 5G негізіндегі IoT енгізуді бағалау тек қаржылық көрсеткіштермен шектелмей, ұйымның ұзақ мерзімді икемділігі мен инновациялық әлеуетін де қамтуы қажет.

#### *Әдебиеттер тізімі*

1. Dahlman E., Parkvall S., Sköld J. 5G NR: Келесі буын сымсыз қолжетімділік технологиясы. - Academic Press, 2020.
2. A cybersecurity review in IoT 5G networks– 5G-мен біріктірілген IoT жүйелеріндегі киберқауіпсіздік мәселелеріне шолу жасалған зерттеу. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2542660524004190>
3. Vaezi M., Azari A., Khosravirad S., Shirvanimoghaddam M., Choi J. 5G жетімдіктері және 6G-ге өту жолындағы ұялы және кең ауқымды IoT жүйелері туралы шолу // IEEE Access. – 2021. – №9. – Б. 78451–78493.
4. Shafi M., Molisch A. F., Smith P. J. және т.б. 5G: стандарттар, сынақтар, қиындықтар және енгізу тәжірибесі туралы шолу // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – 2017. – №35(6). – Б. 1201–1221.

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ КОНУСНОЙ ДРОБИЛКИ С ФУНКЦИЕЙ ОБНАРУЖЕНИЯ НЕДРОБИМЫХ ОБЪЕКТОВ

Современные горнодобывающие предприятия предъявляли высокие требования к надежности конусных дробилок как ключевого оборудования среднего и мелкого дробления. Основной проблемой являлось попадание недробимых объектов, вызывавшее перегрузку, износ и аварийные остановки.

Актуальность работы была обусловлена необходимостью снижения простоев и повышения ресурса оборудования. Существующие системы защиты не обеспечивали раннего выявления твердых включений, что приводило к запаздыванию срабатывания.

Целью диссертации являлась разработка интеллектуальной системы автоматического управления с ранним обнаружением аварийных режимов, автоматической разгрузкой камеры и восстановлением рабочего состояния.

На рисунке 1 представлена структура дробильного комплекса, включающая конвейеры, дробильную камеру, гидросистему, маслосистему, систему охлаждения и пылеотводитель. Все подсистемы были интегрированы в алгоритмы управления и реализованы в программной логике системы.

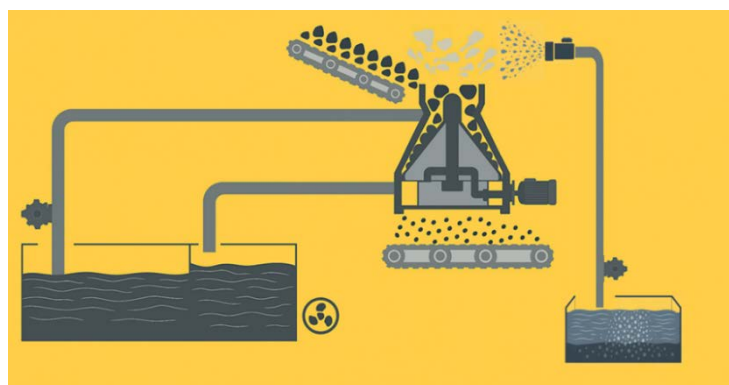


Рисунок 1 – Визуализация дробильного комплекса.

На рисунке 2 представлена панель оператора, разработанная в среде GT Designer3. Интерфейс обеспечивает визуальный контроль состояния насосов, температуры масла, давления в гидросистеме, состояния охладителя и пылеотводителя. Также отображаются аварийные сигналы и ток электродвигателя дробилки. Реализация панели управления позволила создать удобную среду мониторинга и оперативного вмешательства оператора в случае необходимости. Важно отметить, что логика управления всеми вспомогательными системами — смазкой, охлаждением,





## СЫМСЫЗ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРҒА НЕГІЗДЕЛГЕН ҚҰРЫЛЫС АЛАҢДАРЫНЫҢ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ БАҚЫЛАУ ЖҮЙЕЛЕРІНЕ ШОЛУ

Қазіргі құрылыс саласында мониторинг тек параметрлерді тіркеумен шектелмейді. Нысанның техникалық жағдайын болжау, ақауларды ерте анықтау және апаттық тәуекелдерді азайту маңызды. Бұл міндеттерді шешу үшін интеллектуалды мониторинг жүйелері қолданылады [1].

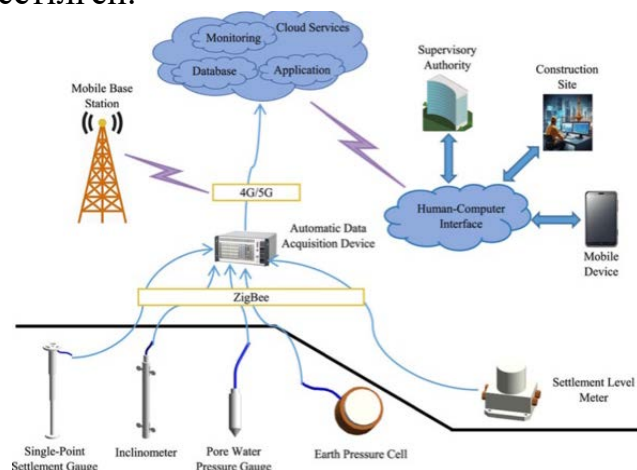
Интеллектуалды мониторинг - сенсорлар арқылы алынған деректерді автоматты түрде талдап, қауіпті жағдайларды болжайтын көпдеңгейлі жүйе. Сымсыз телекоммуникациялық технологиялар деректерді үздіксіз жинауға мүмкіндік береді, ал жасанды интеллект оларды терең өңдеуді қамтамасыз етеді. Интеллектуалды мониторинг жүйесінің құрылымы келесі элементтерден тұрады:

- сенсорлық модульдер (деформация, діріл, температура, ылғалдылық);
- сымсыз байланыс арнасы (LoRaWAN, NB-IoT немесе 5G);
- деректерді жинау шлюзі;
- бұлттық сервер;
- машиналық оқыту алгоритмдері;
- цифрлық егіз моделі.

Цифрлық егіз (Digital Twin) - нақты құрылыс нысанының виртуалды моделі, ол нақты уақыттағы деректер негізінде жаңартылып отырады.

Құрылыс нысандарын интеллектуалды мониторингтеу саласындағы ғылыми жарияланымдарды талдау барысында 2024 жылы Journal of Building Engineering журналында жарияланған Wucheng Xu және т.б. «Dynamic wireless sensor network-based structural health monitoring system for retractable roof structure» мақаласы қарастырылды [2]. Бұл жұмыста үлкен масштабты конструкциялар үшін динамикалық сымсыз сенсорлық желі (ССЖ) ұсынылып, оның желі архитектурасы мен байланыс тиімділігі талданған. Мақалада ССЖ-ның динамикалық конфигурациясы реттелетін шатыр құрылымындағы мониторинг үшін қолданылған, бұл жүйе сенсорлық түйіндер мен коммуникациялық модульдер арқылы ұзақ мерзімді бақылауды қамтамасыз етті. Авторлар динамикалық ССЖ-ның дәстүрлі статикалық жүйелерге қарағанда энергия тұтыну, мәліметтерді беру қашықтығы және желілік топологияны сақтау сияқты маңызды артықшылықтары бар екенін көрсетеді. Бұл зерттеу интеллектуалды құрылыс мониторинг жүйелерінің тиімділігі мен адаптивтілігін арттыруда сымсыз телекоммуникациялардың маңыздылығын дәлелдейді. Алайда, зерттеу негізінен объектінің белгілі бір түріне - жылжымалы шатырдың

дизайнына бағытталған. Жүйені құрылыс нысандарының басқа түрлеріне бейімдеу кезінде желі топологиясын динамикалық басқарудың өзі жеткіліксіз болуы мүмкін. Мұндай жағдайларда деректерді өндіру алгоритмдерін енгізу жүйенің тиімділігін едәуір арттыра алады. Төмендегі суретте құрылыс нысанын интеллектуалды мониторингтеу жүйесінің архитектурасы көрсетілген.



Сурет 1 - Құрылыс нысанын интеллектуалды мониторингтеу жүйесінің архитектурасы

Құрылыс нысандарын интеллектуалды мониторингтеу архитектурасы әдетте деректерді жинаудан бастап, оны талдау мен шешім қабылдауға дейінгі бірнеше деңгейден тұрады: деректерді жинау (сенсорлар, камералар, дрондар), деректерді беру (5G, Wi-Fi, LoRaWAN), деректерді өңдеу (AI және машиналық оқыту алгоритмдері) және пайдаланушы интерфейсі (бақылау панелі, мобильді қосымшалар) [3].

Интеллектуалды мониторинг жүйелері құрылыс нысандарының техникалық жағдайын нақты уақыт режимінде бақылауға және қауіпті өзгерістерді ерте кезеңде анықтауға мүмкіндік береді. Сымсыз телекоммуникациялық технологияларды бұлттық сервистермен және деректерді интеллектуалды талдау алгоритмдерімен біріктіру жүйенің сенімділігін, ауқымдылығын және тиімділігін арттырады. Мұндай кешенді архитектура құрылыс нысандарының қауіпсіздігін қамтамасыз етудің перспективалы бағыты болып табылады.

*Қолданылған әдебиеттер тізімі:*

1. Jiang T., Chen Z., Li Y. Data-driven structural health monitoring and damage detection using machine learning algorithms // *Automation in Construction*. - 2021. - Vol. 129. - URL: 10.1016/j.autcon.2021.103600.
2. Xu W., Zheng X., Shen Y., Luo Y. Dynamic wireless sensor network-based structural health monitoring system for retractable roof structure // *Journal of Building Engineering*. - 2024. - URL: 10.1016/j.job.2024.111302.
3. Tang S., Shelden D. R., Eastman C. M., Pishdad-Bozorgi P., Gao X. A review of building information modeling (BIM) and structural health monitoring integration for intelligent infrastructure // *Automation in Construction*. - 2019. - Vol. 106. - URL: 10.1016/j.autcon.2019.102911.

## ҚҰРЫЛЫС НЫСАНДАРЫНЫҢ ТЕХНИКАЛЫҚ ЖАЙ-КҮЙІН ҚАШЫҚТАН МОНИТОРИНГТЕУ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ СЫМСЫЗ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ

Ғимараттар мен құрылыстардың техникалық жай-күйін бақылау өнеркәсіптік қауіпсіздікті қамтамасыз етудің маңызды міндеті болып табылады. Қазіргі уақытта сенсорлардың автономды жұмысын, орнату икемділігін және нақты уақыт режимінде деректерге қашықтан қол жеткізуді қамтамасыз ететін сымсыз телекоммуникациялық технологиялар кеңінен қолданыла бастады.

Wi-Fi, ZigBee, BLE, LoRaWAN және NB-IoT құрылыс нысандарының техникалық жағдайын қашықтан бақылауда қолданылатын сымсыз деректерді беру технологиялары, олар байланыс қашықтығы, деректерді беру жылдамдығы, энергия тұтыну деңгейі және сигналдың кедергілерге төзімділігі бойынша бір-бірінен ерекшеленеді [1]. Төмендегі 1 кестеде осы технологиялардың салыстырмалы талдауы көрсетілген.

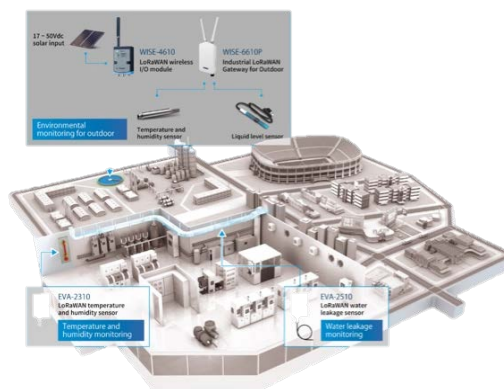
Кесте 1

Технологияларды салыстырмалы талдау

| Технология | Қашықтық    | Деректер жылдамдығы | Энергия тұтыну | Бетон арқылы өтуі | Экономикалық тиімділік |
|------------|-------------|---------------------|----------------|-------------------|------------------------|
| Wi-Fi      | 50-100 м    | Жоғары              | Жоғары         | Төмен             | Орташа                 |
| ZigBee     | 10-100 м    | Төмен               | Төмен          | Орташа            | Жоғары                 |
| BLE        | 10-50 м     | Төмен               | Өте төмен      | Орташа            | Жоғары                 |
| LoRaWAN    | 2-15 км     | Төмен               | Өте төмен      | Жоғары            | Жоғары                 |
| NB-IoT     | 10 км дейін | Орташа              | Төмен          | Өте жоғары        | Орташа                 |

Жүргізілген талдау көрсеткендей, технологияны таңдау объектінің жұмыс жағдайымен, датчиктердің автономиясымен және қажетті деректер диапазонымен анықталады. Төмендегі 1-суретте LoRaWAN технологиясын қолдана отырып, құрылыс алаңын қашықтан бақылау жүйесінің құрылымдық архитектурасы көрсетілген. Жүйенің жұмыс істеу принципі келесідей: сенсорлар бақыланатын дизайн немесе жабдық параметрлерінің өзгеруін тіркейді, содан кейін деректер LoRaWAN протоколы арқылы шлюзге жіберіледі [2].

Әрі қарай, WAN желісі арқылы ақпарат мониторинг нәтижелерін талдау, сақтау және көрсету орындалатын қашықтағы серверге жіберіледі.



Сурет 1 - LoRaWAN технологиясына негізделген сымсыз құрылыс алаңын бақылау жүйесінің архитектурасы

Ұсынылған сызба LoRaWAN технологиясының өнеркәсіптік және құрылыс мониторингінде практикалық қолданылуын көрсетеді. Бұл оның үлкен аумақты және күрделі конструктивтік құрылымы бар нысандарды пайдалану кезінде тиімді екенін дәлелдейді.

Құрылымдық мониторинг тақырыбы бойынша ғылыми жарияланымдарды талдау барысында 2020 жылы «Remote Sensing» журналында жарияланған М. Е. Наке, М. Asikuzzaman, I. U. Khan және т.б. «Comparative Study of IoT-Based Topology Maintenance Protocol in a Wireless Sensor Network for Structural Health Monitoring» мақаласы қарастырылды. Зерттеуде сымсыз сенсорлық желілердің тұрақтылығы энергия тиімділігіне және ақауға төзімділікке тәуелді екені көрсетілген [3].

Жүргізілген салыстырмалы талдау құрылыс нысандары үшін желілік сипаттамалармен қатар бетон конструкцияларының қалыңдығы, объектілердің қашықтығы және датчиктердің автономдылығы ескерілуі тиіс екенін дәлелдейді. Жүргізілген зерттеу құрылыс нысандарын қашықтан бақылауға арналған әмбебап сымсыз технология жоқ екенін растайды. Wi-Fi жылдам, бірақ энергия шығыны жоғары; ZigBee мен BLE жергілікті желілерге тиімді; ал LoRaWAN және NB-IoT қашықтан мониторингке қолайлы [4]. Құрылыс нысандарының техникалық жағдайын тиімді қашықтан бақылау үшін сенімділік, энергия тиімділігі және ауқымдылықты қамтамасыз ететін гибриді сымсыз байланыс архитектурасын қолдану орынды болып табылады.

Қолданылған әдебиеттер тізімі:

1. Пахомов Ю. Н., Шишкин В. Н. Беспроводные сенсорные сети: теория и практика применения. - Москва: Горячая линия - Телеком, 2013. - 312 б.
2. Raza U., Kulkarni P., Sooriyabandara M. Low Power Wide Area Networks: An Overview // IEEE Communications Surveys & Tutorials. - 2017. - Vol. 19, No. 2. - P. 855. - URL: 10.1109/COMST.2017.2652320.
3. Haque M.E., Asikuzzaman M., Khan I.U. et al. Comparative Study of IoT-Based Topology Maintenance Protocol in a Wireless Sensor Network for Structural Health Monitoring // Remote Sensing. - 2020. - Vol. 12(15). - 2358. URL: [doi.org/10.3390/rs12152358](https://doi.org/10.3390/rs12152358)
4. Mekki K., Bajic E., Chaxel F., Meyer F. A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment // ICT Express. - 2019. - Vol. 5, №1. - P. 1-7. URL: 10.1016/j.icte.2017.12.005.

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ

Современное развитие радиоэлектроники и телекоммуникаций невозможно представить без широкого применения методов цифровой обработки сигналов. Переход от аналоговых систем к цифровым стал одним из важнейших этапов технологической эволюции средств связи, радиолокации, навигации и передачи данных. Цифровая обработка сигналов обеспечивает высокую помехоустойчивость, гибкость настройки оборудования, возможность программной реконфигурации и интеграции различных функций в единую аппаратно-программную платформу.

В условиях постоянного роста объёмов передаваемой информации и усложнения спектральной обстановки применение современных алгоритмов обработки сигналов становится ключевым фактором повышения эффективности телекоммуникационных систем.

Основой цифровой обработки сигналов является представление непрерывного сигнала в дискретной форме с помощью процессов дискретизации и квантования.

В соответствии с теоремой Котельникова–Шеннона, для корректного восстановления сигнала частота дискретизации должна быть не менее чем в два раза выше максимальной частоты спектра исходного сигнала. После преобразования аналогового сигнала в цифровую форму становится возможным применение широкого набора математических алгоритмов, реализуемых на цифровых сигнальных процессорах, микроконтроллерах, программируемых логических интегральных схемах и специализированных интегральных микросхемах. Это позволяет выполнять фильтрацию, модуляцию, демодуляцию, кодирование, декодирование и другие операции с высокой точностью и повторяемостью. Одним из важнейших направлений цифровой обработки сигналов в телекоммуникациях является цифровая фильтрация. В отличие от аналоговых фильтров, цифровые фильтры обладают стабильными характеристиками, не зависят от разброса параметров электронных компонентов и могут быть легко изменены программным способом.

Применяются как фильтры с конечной импульсной характеристикой (FIR), так и фильтры с бесконечной импульсной характеристикой (IIR). FIR-фильтры обеспечивают линейную фазовую характеристику и высокую устойчивость, что особенно важно в системах передачи данных, тогда как IIR-фильтры позволяют достигать требуемых характеристик при меньшем числе вычислений. Цифровая фильтрация используется для подавления

шумов, выделения полезного сигнала, компенсации искажений канала связи и формирования спектра передаваемого сигнала.

Другим важным направлением является применение быстрых алгоритмов спектрального анализа, в частности быстрого преобразования Фурье. Анализ спектра сигнала необходим при проектировании и эксплуатации радиосистем для оценки распределения энергии по частотам, обнаружения помех, анализа модуляции и диагностики оборудования.

Использование быстрого преобразования Фурье значительно снижает вычислительную сложность обработки и позволяет реализовывать анализ в режиме реального времени. Это особенно актуально для радиолокационных систем, систем мониторинга спектра и современных базовых станций мобильной связи.

Значительное место в цифровой обработке сигналов занимают методы цифровой модуляции и демодуляции. В современных телекоммуникационных системах применяются такие виды модуляции, как фазовая манипуляция, квадратурная амплитудная модуляция, ортогональное частотное мультиплексирование. Цифровые методы позволяют передавать большие объёмы информации при ограниченной полосе частот и обеспечивают высокую устойчивость к помехам и замираниям сигнала. Ортогональное частотное мультиплексирование, например, широко используется в системах Wi-Fi, LTE и других стандартах связи, так как позволяет эффективно использовать спектр и снижать влияние многолучевого распространения сигнала. Особое значение приобретают методы адаптивной обработки сигналов. В реальных условиях радиоканал подвержен замираниям, интерференции и изменению параметров среды распространения. Адаптивные алгоритмы позволяют динамически изменять коэффициенты фильтров, параметры усиления и модуляции в зависимости от текущих условий канала. Это повышает качество связи, снижает вероятность ошибок и оптимизирует использование энергетических ресурсов. Применение адаптивных антенн и алгоритмов пространственной обработки сигналов позволяет формировать направленные диаграммы излучения и подавлять помехи, что существенно увеличивает пропускную способность системы.

*Список использованной литературы:*

1. Попов, О.Б. Цифровая обработка сигналов в трактах звукового вещания: учебное пособие для вузов / О.Б. Попов, С.Г. Рихтер. - М.: Горячая линия-Телеком, 2012. - 341 с.
2. Солонина, А.И. Цифровая обработка сигналов и MATLAB: учебное пособие / А.И. Солонина, Д.М. Клионский, Т.В. Меркучева. - СПб.: БХВ-Петербург, 2013. - 512 с.
3. Айфичер, Э. Цифровая обработка сигналов: практический подход / Э. Айфичер. - М.: Вильямс, 2016. - 274 с.

## РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО РЕГУЛЯТОРА ТЕМПЕРАТУРЫ

Электронный регулятор температуры представляет собой устройство, разработанное для автоматического контроля и регулирования температуры в определённой системе или окружающей среде. Он является важной частью многих технических систем и находит широкое применение в различных областях, включая промышленность, бытовые приборы, медицинское оборудование, автомобильную промышленность и многое другое.

Основная цель электронного регулятора температуры состоит в том, чтобы поддерживать заданное значение температуры внутри определённого диапазона, обеспечивая стабильность и точность работы системы. Это особенно важно в случаях, когда даже незначительные изменения температуры могут повлиять на качество или эффективность процесса.

Принцип работы электронного регулятора температуры заключается в непрерывном измерении текущей температуры и сравнении её с заданным значением. На основе этого сравнения устройство автоматически корректирует параметры системы управления, такие как скорость вращения вентилятора, мощность подаваемого тепла или количество подаваемого охлаждающего воздуха, чтобы достичь и поддерживать желаемую температуру.

Преимущества электронных регуляторов температуры включают в себя высокую точность, быстроедействие, возможность автоматизации процессов и гибкость настройки. Это позволяет значительно улучшить качество производства, экономить энергию, снижать издержки и обеспечивать более комфортные условия эксплуатации для конечных пользователей.

Электронные регуляторы температуры могут быть реализованы различными способами, включая использование микроконтроллеров, датчиков температуры, управляющих элементов (таких как транзисторы или твердотельные реле) и программного обеспечения для обработки данных и принятия управляющих решений.

Электронный регулятор температуры - это устройство, которое контролирует и регулирует температуру в соответствии с заданными параметрами. Его основная задача заключается в поддержании определённого уровня тепла или холода внутри системы, обеспечивая стабильность и надёжность работы.



Принцип работы РТ основан на обратной связи. Система состоит из трех основных компонентов: датчик температуры, устройство сравнения и управляющий элемент.

Датчик температуры: это устройство, которое измеряет текущую температуру в среде или системе. В зависимости от требований и условий применения, могут использоваться различные типы датчиков, такие как термисторы, термопары или цифровые датчики температуры на основе полупроводников.

Устройство сравнения: этот компонент сравнивает измеренное значение температуры с заданным уровнем. Если текущая температура отличается от желаемого значения, устройство сравнения отправляет соответствующий сигнал управляющему элементу.

Управляющий элемент: это устройство, которое регулирует тепловой или холодильный процесс для достижения и поддержания желаемой температуры. Обычно в качестве управляющего элемента используются твердотельные реле, транзисторы или термостаты.

Электронные регуляторы температуры часто обладают дополнительными функциями, такими как:

Программируемые режимы работы: некоторые РТ позволяют настраивать различные режимы работы в зависимости от времени суток или дня недели. Например, можно установить более высокую температуру в периоды дня, когда помещение находится в использовании, и более низкую температуру в ночное время или в периоды отсутствия людей.

Системы защиты и безопасности: РТ могут быть оснащены функциями защиты от перегрева, автоматического отключения в случае неисправности или аварии, а также сигнализации о возможных проблемах. Это повышает надежность и безопасность работы системы.

Интеграция с другими системами: некоторые электронные регуляторы температуры могут интегрироваться с другими устройствами и системами умного дома или промышленного оборудования. Это позволяет централизованно управлять всеми аспектами климатического контроля и энергопотребления.

Таким образом, электронные регуляторы температуры представляют собой мощный инструмент для поддержания оптимальных климатических условий в различных областях применения, обеспечивая эффективность, надежность и удобство использования.

*Список использованных источников:*

1. Петров, И.С. "Основы электроники и микроконтроллеров", Книга, Электроника, 20-40, 2019.
2. Сидоров, А.А. "Программное обеспечение для электронных регуляторов", Книга, Программирование, 60-75, 2018
3. Горшков, В.Д. "Техническое обеспечение автоматизированных систем контроля температуры", Книга, Технологии, 140-155, 2021.

## СПУТНИКОВАЯ СВЯЗЬ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ( DIRECT-TO-CELL)

В последние годы мобильная связь стала необходимой частью жизни человека. В горах, пустынях, океанах и малонаселённых территориях сигнал часто отсутствует. Одним из самых перспективных направлений является спутниковая связь нового поколения Direct-to-Cell, которая позволяет обычным смартфонам подключаться напрямую к спутникам без дополнительного оборудования.

Технология Direct-to-Cell представляет собой систему спутниковой мобильной связи, при которой спутник выполняет роль космической базовой станции. В отличие от традиционной спутниковой связи, где требуется специальный терминал или антенна, здесь используется обычный мобильный телефон. Спутник передаёт сигнал на стандартных частотах сотовой связи, поэтому устройство воспринимает его как обычную сеть оператора. Благодаря этому пользователь может отправлять сообщения, совершать звонки и передавать данные даже в местах, где нет наземной инфраструктуры .



Рисунок 1: ( космическая базовая станция )

Одним из ключевых преимуществ Direct-to-Cell является глобальное покрытие. Спутники находятся на низкой околоземной орбите и движутся вокруг планеты, обеспечивая связь практически на всей её поверхности. Это особенно важно для удалённых регионов, морских и воздушных перевозок, геологических экспедиций и сельских территорий. Кроме того, технология играет большую роль в чрезвычайных ситуациях — при землетрясениях, наводнениях и пожарах, когда наземные сети могут быть повреждены. В таких условиях спутниковая связь позволяет координировать спасательные работы и передавать сигналы бедствия.

Развитие Direct-to-Cell связано с появлением новых спутниковых группировок и интеграцией космической и наземной связи. Например, компания SpaceX развивает спутниковую сеть Starlink, а также сотрудничает с оператором T-Mobile для реализации прямой спутниковой связи со смартфонами. В ближайшие годы ожидается расширение возможностей Direct-to-Cell — от передачи текстовых сообщений до полноценного мобильного интернета через спутник.



Рисунок 2 : ( развитие STARLINK )

Несмотря на преимущества, технология имеет и определённые сложности. Основными из них являются ограниченная скорость передачи данных, задержки сигнала и необходимость большого количества спутников для стабильного покрытия. Однако развитие микроэлектроники, антенн и цифровой обработки сигналов постепенно решает эти проблемы. Direct-to-Cell рассматривается как важный этап эволюции мобильной связи и будущих сетей 6G. В перспективе такие системы могут стать частью глобальной коммуникационной инфраструктуры, объединяющей наземные и космические сети в единую систему связи. Это делает технологию одной из самых значимых и актуальных в современном телекоммуникационном мире.

**Список использованной литературы**

1. Maral G., Bousquet M. *Satellite Communications Systems*. — Wiley, 2023.
2. Pratt T., Bostian C., Allnutt J. *Satellite Communications*. — Wiley, 2024.
3. Sklar B. *Digital Communications: Fundamentals and Applications*. — Pearson, 2023.
4. Доклады 3GPP по интеграции спутников и 5G-сетей, 2024–2025.
5. Материалы компании SpaceX по технологии Direct-to-Cell, 2025.

## ИМИТАЦИОННОЕ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ КИБЕРАТАК В КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЯХ

Имитационное моделирование кибератак используют тогда, когда нужно изучать поведение атак и реакцию защиты в контролируемой среде, не подвергая риску реальную инфраструктуру и данные. Суть подхода - построить модель сети/сервиса и затем воспроизвести типовые сценарии нарушителя так, чтобы наблюдать измеримые эффекты, а также сравнивать разные стратегии противодействия.

Ключевое требование к качественной симуляции - опора не на абстрактные «придуманные» атаки, а на формализованные данные и воспроизводимую методику задания параметров. Один из практичных способов «приземлить» сценарии к реальности - связывать модель с общепринятыми базами знаний об уязвимостях и техниках атак (CVE, CWE, CAPEC) и использовать численные метрики критичности, в частности CVSS, чтобы получать сравнимые оценки опасности и приоритета угроз. В работе, посвященной марковскому моделированию кибератак, показано, как через взаимосвязь CVE–CWE–CAPEC можно оценивать входные параметры модели, формировать вектор вероятностей возникновения кибератак и вектор ущербов, а также как проблема численной оценки параметров может решаться через метрики CVSS (при этом часть параметров, таких как вероятности отражения/«задержек» атак, авторы отмечают как получаемые по экспертным оценкам или статистике). Это важно именно для симуляции: при заданных правилах получения параметров разные исследователи могут повторить эксперимент и сравнить результаты, а не полагаться на субъективные допущения.

На практике удобно задавать несколько «классов» воздействий, которые хорошо наблюдаются по метрикам и типичны для сетевой среды (например, варианты отказа в обслуживании, попытки несанкционированного доступа, целенаправленные атаки на сервисы и протоколы) - именно такие примеры сценариев приводятся в обзорах применения имитационного моделирования в кибербезопасности.

Метрики результата в таких исследованиях обычно делятся на две группы. Первая группа - сетевые и сервисные показатели качества: пропускная способность, задержка, потери пакетов, доля ошибок, доступность сервиса, время деградации и восстановления. Вторая группа - собственно метрики безопасности, позволяющие дать количественную оценку «насколько система выдерживает атаки» и каков ожидаемый риск. В рамках марковского подхода удобно использовать две формализованные метрики: среднее время до отказа безопасности (как среднее число

переходов до попадания в поглощающее состояние) и средний риск при отказе безопасности (как сумма произведений ущербов на вероятности реализации соответствующих атак). Такая пара метрик полезна тем, что она связывает динамику атаки (как процесс во времени/состояниях) и последствия (ущерб), позволяя сравнивать варианты архитектуры или защитных мер не только по «графикам задержки», но и по оценке риска.

Имитационное воспроизведение кибератак в этом смысле не сводится к простому «запуску атаки в песочнице». Это последовательный эксперимент, построенный так, чтобы его можно было повторить и проверить. Сначала задают модель инфраструктуры и нормальных фоновых процессов: топологию, характеристики каналов, профиль легитимного трафика, перечень критичных сервисов и исходные показатели качества работы. Затем выбирают сценарии воздействий, которые соответствуют реальным классам угроз и дают измеримые последствия - например, перегрузку канала, истощение ресурсов сервера или нарушение корректности сетевых ответов. После этого параметры сценариев привязывают к реальным источникам и формализованным метрикам - таким как CVE/CWE/CAPEC и шкалы CVSS - чтобы обоснование критичности и условий атаки опиралось не на «ощущения», а на стандартизированные описания и оценки. Далее заранее определяют, какие именно показатели будут считаться результатом эксперимента: сетевые и сервисные метрики качества (время отклика, пропускная способность, потери пакетов, доля отказов), а при необходимости - метрики уровня безопасности и риска. И уже потом проводят серию повторяемых прогонов: меняют конфигурации защиты, правила фильтрации, лимиты, политики маршрутизации или параметры сервисов и сравнивают, при каких настройках система дольше сохраняет работоспособность, быстрее восстанавливается и демонстрирует меньший ожидаемый ущерб. Такой подход помогает выявлять слабые места архитектуры, проверять эффективность контрмер, получать сопоставимые данные наблюдений и делать выводы, которые остаются воспроизводимыми при повторении эксперимента на тех же исходных условиях.

*Список использованной литературы:*

1. Баженов А.В., Гуц А.К. «Программное обеспечение для моделирования сети и имитации атак на компьютерную сеть» (Математические структуры и моделирование, 2018) <https://msm.omsu.ru/jrns/jrn48/BazhGu.pdf>
2. Трапезников Е.В., Магазев А.А., Касенов А.А. «Марковская модель кибератак и ее применение к анализу защищенности информации в автоматизированных системах» (Моделирование, оптимизация и информационные технологии, 2024). <https://moitvvt.ru/journal/pdf?id=1554>

## ARDUINO ПЛАТФОРМАСЫ НЕГІЗІНДЕ РОБОТ-ПАУКТЫ ЖОБАЛАУ

Қазіргі таңда робототехника ғылымы мен техникасының қарқынды дамуы мобильді роботтарға деген сұраныстың артуына алып келді. Роботтар өндірісте, медицинада, қауіпсіздік саласында және білім беру жүйесінде кеңінен қолданылып келеді. Робототехниканың өнеркәсіптік дамуы 1961 жылы General Motors кәсіпорнында алғашқы өндірістік робот – Unimate іске қосылған уақыттан бастау алады. Осы кезеңнен бастап автоматтандырылған жүйелер адам еңбегін жеңілдетіп, қауіпті аймақтарда жұмыс істеуге мүмкіндік берді.

Мобильді роботтардың ішінде көпаяқты, яғни паук тәрізді роботтар ерекше орын алады. Олардың негізгі артықшылығы – күрделі және тегіс емес жер бедерінде тұрақты қозғалу қабілеті. Доңғалақты роботтар тегіс бетте тиімді болғанымен, кедергілер көп ортада олардың қозғалысы шектеледі. Ал көпаяқты роботтар тірек нүктелерін кезектестіре ауыстыру арқылы тепе-теңдігін сақтап, кедергілерден өте алады. Сондықтан мұндай роботтар барлау, бақылау және іздестіру-құтқару жұмыстарында тиімді шешім болып табылады.

Осы жұмыстың мақсаты – Arduino платформасы негізінде көпаяқты робот-паукты жобалау, оның құрылымдық сұлбасын әзірлеу және қозғалыс алгоритмін құру. Жобада басқару құрылғысы ретінде Arduino Nano микроконтроллері қолданылды. Бұл тақша ATmega328P микроконтроллері негізінде жұмыс істейді және 16 МГц тактілік жиілікке ие. Arduino Nano-ның ықшам өлшемі оны мобильді робот конструкциясына ыңғайлы орналастыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар PWM арналары сервоприводтарды дәл басқаруға жағдай жасайды.

Роботтың қозғалыс механизмі металл редукторлы сервоприводтар арқылы жүзеге асырылады. Әрбір аяқ бірнеше буыннан тұрады және жеке сервоприводпен басқарылады. Сервоприводтар 0 ден 180 аралығында бұрылып, PWM сигналы арқылы реттеледі. Қозғалыс алгоритмі кадамдық (gait) принципіне негізделген: бір аяқ көтеріледі, ал қалған аяқтар тірек ретінде қалып, тепе-теңдікті қамтамасыз етеді. Содан кейін аяқ алға жылжып, тірекке қойылады және келесі аяқ қозғалысқа өтеді. Мұндай тәсіл роботтың тұрақтылығын арттырып, құлау ықтималдығын азайтады.

Қуат көзі ретінде 18650 типті литий-ионды аккумуляторлар қолданылды. Бұл аккумуляторлар жоғары энергия тығыздығымен және тұрақты кернеуімен ерекшеленеді. Аккумуляторлардың қауіпсіз жұмысын қамтамасыз ету үшін BMS 2S 15A қорғаныс платасы орнатылды. Ол артық зарядтан, терең разрядтан және қысқа тұйықталудан қорғау функцияларын орындайды. Кернеуді тұрақтандыру мақсатында LM2596 төмендеткіш

түрлендіргіші пайдаланылды. Бұл модуль аккумулятор кернеуін 5 В деңгейіне дейін төмендетіп, микроконтроллер мен басқа электрондық компоненттердің тұрақты жұмысын қамтамасыз етеді.

Роботты қашықтан басқару Bluetooth модулі арқылы жүзеге асырылады. Смартфон немесе компьютер арқылы жіберілген командалар микроконтроллерде өңделіп, сервоприводтарға беріледі. Бұл роботты қолжетімсіз немесе қауіпті аймақтарда пайдалану мүмкіндігін кеңейтеді. Сонымен қатар болашақта роботты камерамен, ультрадыбыстық датчиктермен және инерциялық өлшеу модульдерімен жабдықтау арқылы оның функционалдық мүмкіндіктерін арттыруға болады.

Жобалау нәтижесінде күрделі жер бедерінде қозғала алатын, автономды қорек көзі бар және қашықтан басқарылатын робот-пауктың жұмыс прототипі әзірленді. Ұсынылған шешім білім беру мақсаттарында, сондай-ақ шағын барлау және бақылау жүйелерінде қолдануға жарамды. Arduino платформасының ашық архитектурасы жобаны жетілдіруге және жаңа функциялар қосуға мүмкіндік береді.

### Сурет 1 – Arduino платформасындағы робот-пауктың прототипі

Қорытындылай келе, Arduino негізінде робот-паукты жобалау микроконтроллерлік жүйелерді, мехатрониканы және басқару алгоритмдерін тәжірибелік тұрғыда меңгеруге мүмкіндік береді. Ұсынылған жоба мобильді робототехника саласындағы перспективалы бағыттардың бірі болып табылады және болашақта интеллектуалды басқару элементтерімен толықтырылуы мүмкін.

*Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:*

3. Monk S. *Programming Arduino: Getting Started with Sketches*. – New York: McGraw-Hill Education, 2016. – 177 б.
4. Siciliano B., Khatib O. *Springer handbook of robotics*. – Cham: Springer, 2016. – 2223 б.



## ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ПОМЕХ ТЕХНОЛОГИИ LTE

В современном мире стремительное развитие мобильной связи требует внедрения высокоскоростных технологий передачи данных. Технология Long-Term Evolution (LTE) является одной из самых перспективных, обеспечивая «открытый» интернет-доступ с высокой скоростью (до 326,4 Мбит/с на прием) и возможностью обслуживания абонентов, движущихся со скоростью до 250 км/ч. На сегодняшний день сети LTE запущены более чем в 100 странах, а количество пользователей исчисляется сотнями миллионов, что подтверждает актуальность исследований в данной области. В Республике Казахстан внедрение LTE также является приоритетной задачей для обеспечения качественной связи.

Однако с ростом количества беспроводных сетей остро встает проблема влияния условий распространения радиоволн и помех на качество предоставляемых услуг. Различные препятствия, многолучевое распространение и переотражения сигнала приводят к его затуханию и искажению. Существующие математические модели, разработанные для аналоговых сетей и частот до 2 ГГц, не всегда адекватно описывают современные условия. В связи с этим целью работы, выполненной авторами исходной статьи, являлась экспериментальная оценка параметров внутренних и внешних помех технологии LTE для конкретных городских условий.

Эксперимент проводился на базе станции сотовой связи LTE, расположенной в городе Алматы (между улицами Ержанова и Пугачева). В ходе работы были сняты основные параметры оборудования и произведен расчет ключевых показателей, влияющих на зону покрытия и качество сигнала. В таблице 1 представлены основные параметры технологии, которые использовались при анализе.

Таблица 1

Основные параметры технологии LTE

| Параметр        | Значение / Описание |
|-----------------|---------------------|
| Диапазон частот | 450 МГц - 2,7 ГГц   |
| Ширина полосы   | 1,4 - 20 МГц        |

Продолжение таблицы 1

| Параметр          | Значение / Описание                                 |
|-------------------|-----------------------------------------------------|
| Модуляция (DL/UL) | 64 QAM, QPSK, 16 QAM / QPSK, 16 QAM                 |
| MIMO              | 2x2, 4x4                                            |
| Радиус ячейки     | 5 – 30 км (теоретически), 1,9 км (экспериментально) |

В процессе математического моделирования авторами были выполнены расчеты уровня собственных шумов приемника, коэффициента полезного действия (КПД) антенно-фидерного тракта, а также уровня внешних шумов. Для определения потерь сигнала учитывалась высота застройки (типовые здания принимались из расчета 3 метра на этаж) и расстояние между передатчиком и приемной антенной. Напряженность поля и напряжение сигнала на входе приемника связывались через действующую длину антенны. Ключевым результатом расчетов стало определение отношения сигнал/шум (S/N) на входе приемника, которое при заданных параметрах составило не менее 3,35 отн. ед., что с учетом необходимого запаса обеспечивает устойчивую связь.

На основе проведенных расчетов и с использованием рекомендаций МККР (Международного консультативного комитета по радио) был определен радиус зоны уверенного обслуживания. Результаты показали, что при использовании аппаратуры сотовой связи в зоне обслуживания радиусом порядка 1,9 км связь в направлении «абонентская станция – базовая станция» будет устанавливаться в 90% времени и мест с отношением сигнал/шум на выходе приемника не хуже 16 дБ.

В ходе замеров параметров LTE выяснилось, что основные потери сигнала связаны с расстоянием от базовой станции и особенностями городской застройки. Технология при этом гарантирует устойчивую связь и хорошее покрытие как рядом с источником сигнала, так и на границе соты. Полученные данные помогут при планировании и настройке сетей LTE в условиях плотной застройки, характерной для крупных городов Казахстана.

*Список использованной литературы:*

1. Тихвинский В.О., Тереньтев С.В. *Управление и качество услуг в сетях GPRS/UMTS*. – М.: Эко-Трендз, 2007.
2. Шахнович И.П. *Современные технологии беспроводной связи*. – М.: Мир связи, 2009. – 192 с.
3. Тихвинский А.О., Нургожин Б.И., Айтмагамбетов А.З. *Сети мобильной связи от 4G к 5G: технологии, приложения и регулирование* // Казахстан: «Ак-Шагыл», Алматы, 2014. – 372 с.
4. Вишневецкий В.М., Портной С.Л., Шахнович И.В. *Энциклопедия LTE. Путь к 4G*. – М.: Техносфера, 2009. – 156 с.

## МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

Современные телекоммуникационные сети характеризуются стремительным ростом объёмов передаваемой информации и увеличением числа пользователей мобильной связи. В связи с этим возрастает количество базовых станций, обеспечивающих стабильную передачу данных и покрытие территории. Однако расширение инфраструктуры мобильных сетей приводит к значительному увеличению энергопотребления, что повышает эксплуатационные расходы операторов связи и оказывает негативное влияние на окружающую среду. Поэтому разработка и внедрение методов повышения энергоэффективности базовых станций является актуальной задачей в области радиоэлектроники и телекоммуникаций.

Одним из наиболее эффективных методов снижения энергопотребления является применение интеллектуальных режимов управления мощностью передатчиков. Базовые станции могут автоматически изменять уровень излучаемой мощности в зависимости от количества активных абонентов и интенсивности трафика. В периоды низкой нагрузки оборудование переводится в энергосберегающий режим, что позволяет значительно сократить потребление электроэнергии без ухудшения качества связи. Данный подход особенно эффективен в ночное время, когда нагрузка на сеть существенно снижается.

Другим перспективным направлением является использование современных высокоэффективных усилителей мощности. Традиционные усилители характеризуются значительными потерями энергии в виде тепла. Применение усилителей с повышенным коэффициентом полезного действия позволяет уменьшить энергетические потери и снизить требования к системам охлаждения оборудования. Кроме того, внедрение цифровых методов обработки сигналов способствует оптимизации передачи данных и уменьшению избыточных энергозатрат.

Важную роль в повышении энергоэффективности играет внедрение технологий интеллектуального управления сетью. Использование алгоритмов анализа трафика позволяет прогнозировать нагрузку на базовые станции и оптимально распределять ресурсы сети. Современные системы способны автоматически отключать неиспользуемые модули оборудования или перераспределять нагрузку между соседними станциями. Это способствует снижению энергопотребления и увеличению срока службы телекоммуникационного оборудования.

Дополнительным способом уменьшения энергозатрат является применение возобновляемых источников энергии для питания базовых станций. Использование панелей и ветровых генераторов особенно актуально в удалённых районах, где отсутствует централизованное электроснабжение. Такие решения позволяют не только снизить эксплуатационные расходы, но и повысить надёжность работы телекоммуникационной инфраструктуры.

Также перспективным направлением является внедрение технологий виртуализации телекоммуникационной инфраструктуры. Использование виртуальных базовых станций позволяет переносить часть вычислительных процессов в облачные центры обработки данных, что снижает энергопотребление локального оборудования. Существенную роль играет оптимизация систем охлаждения, так как значительная часть электроэнергии расходуется именно на поддержание температурного режима аппаратуры. Современные решения включают использование жидкостного охлаждения и интеллектуального контроля температуры, что повышает эффективность работы оборудования. Дополнительно применяются энергосберегающие антенны, позволяющие более точно направлять радиосигнал в сторону абонентов. Это уменьшает потери мощности и снижает уровень электромагнитных помех.

Развитие сетей пятого и последующих поколений также стимулирует создание энергоэффективных технологий передачи данных. В результате повышается устойчивость телекоммуникационных сетей и обеспечивается их дальнейшее технологическое развитие.

Таким образом, повышение энергоэффективности базовых станций мобильной связи достигается за счёт комплексного применения современных радиоэлектронных технологий, интеллектуальных алгоритмов управления и альтернативных источников энергии. Развитие данных направлений способствует снижению энергопотребления телекоммуникационных сетей, повышению экономической эффективности их эксплуатации и уменьшению негативного воздействия на окружающую среду.

*Список использованной литературы:*

1. Айвазян А. Г., Худавердян С. Х. Анализ энергоэффективности базовых станций сотовой связи // *Радиотехнические и телекоммуникационные системы*. — 2021.
2. Тихвинский В. О., Терентьев С. В., Коваль В. А. *Сети мобильной связи 5G: технологии, архитектура и услуги*. — М.: Медиа Паблишер, 2020.
3. Хамидов Х. А., Мухамедаминов А. О., Каюмова А. М. *Мобильные сети 5G: задачи и технологии* // *Электротехника, электроника, информационные технологии*. — 2021.
4. Особенности построения Anyhaul сетей 5G RAN // *Вестник АГТУ*. — 2020.
5. *Технологии связи пятого поколения 5G: учебно-методические материалы*. — Москва, 2019.

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ШАРОВОЙ ЗАГРУЗКИ В ШАРОВЫХ МЕЛЬНИЦАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ DIGITAL TWIN

Процесс измельчения руды является одной из наиболее энергоемких операций на горно-обогатительных предприятиях. На долю данного передела приходится до 50–70 % энергозатрат фабрики, что делает задачу повышения эффективности управления шаровыми мельницами актуальной научно-технической задачей.

На Нурказганской обогатительной фабрике процесс измельчения осуществляется в шаровых мельницах МШЦ 4500×6000 и МШЦ 4000×5500, работающих в замкнутом цикле с батареями гидроциклонов.

Основной задачей данной стадии является получение требуемой крупности помола, обеспечивающей содержание готового класса –74 мкм для эффективного протекания последующих операций флотации.

Одной из ключевых проблем эксплуатации шаровых мельниц является невозможность прямого измерения внутримельничных параметров, таких как уровень шаровой загрузки и распределение мелющих тел. Традиционный контроль осуществляется путем периодических остановок оборудования и ручных измерений с использованием шаблонов. Данный метод обладает высокой погрешностью и не позволяет получать данные в режиме реального времени.

В современных условиях для решения данной задачи применяются методы косвенного мониторинга, основанные на анализе технологических параметров, поступающих в автоматизированную систему управления технологическим процессом (АСУ ТП). К таким параметрам относятся:

- мощность электропривода мельницы;
- вибрационные характеристики корпуса;
- акустические сигналы;
- давление масла в системе смазки;
- производительность по исходной руде.

Целью работы является разработка системы мониторинга шаровой загрузки на основе цифрового двойника, интегрированного в структуру АСУ ТП обогатительной фабрики.

В предлагаемой архитектуре система цифрового двойника получает данные от контрольно-измерительных приборов через SCADA-систему предприятия. Передача данных осуществляется по промышленному протоколу OPC-UA, который обеспечивает обмен информацией между системой АСУ ТП и аналитической моделью.



Рисунок 1 – Интеграция цифрового двойника шаровой мельницы Нурказганского ГОКа

Результаты моделирования показывают, что применение системы мониторинга позволяет повысить устойчивость технологического режима и снизить вероятность переизмельчения руды. Кроме того, использование цифрового двойника способствует снижению энергопотребления и повышению эффективности работы измельчительного оборудования.

Список использованных источников:

- 1) Ануфриев А. С., Лебедик Е. А., Бажин В. Ю. Новые подходы для повышения эффективности автоматизированных систем управления переделами рудоподготовки // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 2. – С. 76–92.
- 2) Babaeimorad, S., Fattahi, P., Fazlollahtabar, H., & Shafiee, M. (2024). An integrated optimization of production and preventive maintenance scheduling in industry 4.0. *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*. <https://doi.org/10.22190/FUME230927014B>
- 3) Božanić, D., Epler, I., Puška, A., Biswas, S., Marinković, D., & Koprivica, S. (2024). Application of the DIBR II–rough MABAC decision-making model for ranking methods and techniques of lean organization systems management in the process of technical maintenance. *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*, 22(1), 101-123. <https://doi.org/10.22190/FUME230614026B>
- 4) Cohen M.W., Coelho V.N. Open-Pit Mining Operational Planning using Multi Agent Systems // *Procedia Computer Science*, 2021. -V. 192. -Pages 1677-1686, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.08.172>
- 5) Deryabin S., Temkin I, Zykov S. About some issues of developing Digital Twins for the intelligent process control in quarries // *Procedia Computer Science*, Volume 176, 2020, Pages 3210-3216, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.09.128>

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СООРУЖЕНИЙ

В современных условиях развития инженерной инфраструктуры и увеличения сроков эксплуатации зданий и сооружений особую актуальность приобретает задача повышения надежности и безопасности их функционирования. Существенная часть инженерных сооружений эксплуатируется в условиях воздействия переменных механических нагрузок, температурных колебаний, влажности и других внешних факторов, что со временем приводит к изменению их напряженно-деформированного состояния и снижению эксплуатационных характеристик. Традиционные методы контроля технического состояния, основанные на периодических визуальных осмотрах и регламентных обследованиях, не всегда позволяют своевременно выявлять начальные стадии развития дефектов и прогнозировать дальнейшее поведение конструкций. В связи с этим возрастает интерес к применению автоматизированных систем мониторинга для перехода к прогнозно-ориентированным методам управления эксплуатацией сооружений.

Современные системы мониторинга технического состояния сооружений формируют значительные объемы данных, получаемых от распределенных датчиков, регистрирующих температурные, влажностные, деформационные и динамические параметры. Эти данные, как правило, представляются в виде табличных массивов и отражают сложные, многопараметрические и нелинейные процессы, протекающие в конструкциях в процессе эксплуатации. При этом традиционные методы анализа таких данных зачастую ограничиваются сравнением текущих значений с допустимыми порогами или использованием упрощенных аналитических моделей, что снижает информативность мониторинга и не позволяет в полной мере оценить тенденции изменения технического состояния объекта во времени.

В рамках планируемой работы предполагается рассмотреть возможность применения методов искусственного интеллекта для прогнозирования технического состояния инженерных сооружений на основе данных мониторинга. Основное внимание планируется уделить анализу табличных экспериментальных данных, полученных в ходе лабораторных исследований и моделирования процессов, характеризующих состояние конструкций. Особенностью рассматриваемых данных является их неоднородность, наличие шумов, пропусков и взаимосвязей между отдельными параметрами, что требует разработки подходов к

предварительной обработке информации, включая очистку данных, нормализацию и формирование информативных признаков.

В качестве инструмента прогнозирования в работе планируется использовать методы машинного обучения, позволяющие строить модели, способные адаптироваться к структуре исходных данных без необходимости явного задания аналитических зависимостей. В рамках проектируемой системы планируется рассмотреть возможность прогнозирования изменения контролируемых параметров во времени, а также оценки вероятности возникновения неблагоприятных тенденций, которые могут свидетельствовать о потенциальном ухудшении технического состояния объекта.

Одним из ожидаемых преимуществ применения методов искусственного интеллекта является возможность автоматизации анализа больших массивов измерительных данных и снижение влияния субъективного фактора при интерпретации результатов мониторинга. Предполагается, что разрабатываемая интеллектуальная модель сможет функционировать в составе программного модуля обработки данных, интегрируемого в существующие системы мониторинга, и обеспечивать обновление прогнозов по мере поступления новой информации.

Планируемая работа направлена на обоснование и разработку подхода к применению методов искусственного интеллекта для прогнозирования технического состояния сооружений на основе данных мониторинга. Ожидается, что результаты исследования позволят определить целесообразность использования интеллектуальных методов обработки данных в задачах оценки и прогнозирования технического состояния инженерных объектов и могут быть использованы при создании перспективных систем предиктивного мониторинга, ориентированных на повышение надежности, безопасности и долговечности сооружений.

*Список использованной литературы:*

1. Московский государственный строительный университет (доц. кафедры ИСАТС), Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ) Применение искусственного интеллекта для обнаружения дефектов в строительных конструкциях // Строительство и архитектура. – 2023 [https://riorpub.com/ru/nauka/article/70028/view?utm\\_source=chatgpt.com](https://riorpub.com/ru/nauka/article/70028/view?utm_source=chatgpt.com)
2. Бизина Е. И., Железнов Е. М., Гришин А. К. Применение технологий искусственного интеллекта для мониторинга строительства с использованием беспилотных летательных аппаратов // Строительство и архитектура. – 2025. [https://naukaru.ru/ru/nauka/article/100416/view?utm\\_source=chatgpt.com](https://naukaru.ru/ru/nauka/article/100416/view?utm_source=chatgpt.com)
3. Интеллектуальные системы : учебное пособие для вузов. — М. : Юрайт, 2020. — 352 с.



## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ДИНАМИЧЕСКОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ QoS В ЦИФРОВОЙ IP-СЕТИ

В работе представлено исследование механизмов динамической маршрутизации и обеспечения качества обслуживания в цифровой IP-сети на основе имитационного моделирования в среде Cisco Packet Tracer. Проведён сравнительный анализ протоколов RIP v2 и OSPF, а также исследована устойчивость сети при отказе канала связи и применении механизмов приоритизации трафика [1].

Современные цифровые сети передачи данных требуют автоматической адаптации к изменению топологии и сетевой нагрузки. Динамическая маршрутизация позволяет обеспечивать устойчивость функционирования сети без ручного вмешательства администратора [1],[2].

Целью работы является исследование эффективности протоколов динамической маршрутизации и механизмов QoS при изменении состояния IP-сети.

Моделирование выполнено в среде Cisco Packet Tracer. Сетевая топология включала три маршрутизатора, три коммутатора и три локальные сети, соединённые магистральными каналами связи [3].

Схема моделируемой сети представлена на рисунке 1.

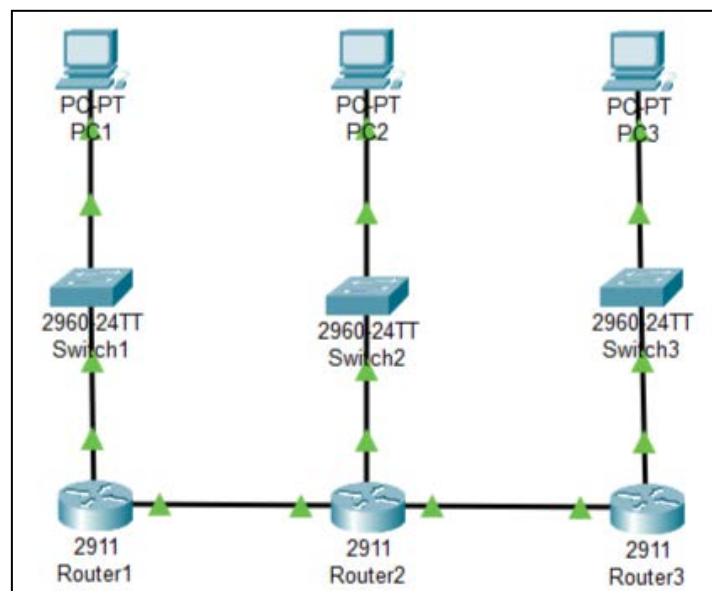


Рисунок 1 - Топология моделируемой IP-сети

На первом этапе была выполнена настройка протокола RIP v2 и проверка таблицы маршрутизации.

Далее был настроен протокол OSPF, обеспечивающий автоматический расчёт кратчайших маршрутов и более быструю сходимость сети.

Для обеспечения приоритизации сетевого трафика реализован механизм QoS с использованием политики обработки пакетов [3],[4].

Эксперимент показал, что протокол OSPF обеспечивает более быструю сходимость по сравнению с RIP v2. При имитации отказа канала время восстановления маршрутизации составило 5–10 секунд для OSPF и до 30 секунд при использовании RIP [5].

Результаты сравнительного анализа протоколов представлены в таблице 1.

Таблица 1  
Сравнение протоколов динамической маршрутизации

| Параметр                | RIP v2                 | OSPF               |
|-------------------------|------------------------|--------------------|
| Тип алгоритма           | Дистанционно-векторный | Канально-состояний |
| Метрика                 | Количество переходов   | Стоимость канала   |
| Время сходимости        | 20–30 с                | 5–10 с             |
| Масштабируемость        | Низкая                 | Высокая            |
| Устойчивость при отказе | Средняя                | Высокая            |

Реализация QoS позволила обеспечить приоритетную обработку трафика из выбранного сегмента сети и повысить устойчивость передачи данных [5].

Выводы:

- 1) Динамическая маршрутизация обеспечивает автоматическую адаптацию IP-сети к изменению топологии.
- 2) Протокол OSPF характеризуется более высокой скоростью сходимости по сравнению с RIP v2.
- 3) Механизмы QoS повышают устойчивость передачи данных при изменении нагрузки.
- 4) Имитационное моделирование является эффективным инструментом анализа цифровых сетей связи.

Список использованных источников:

1. Tanenbaum A., Wetherall D. *Computer Networks*. - 5th ed. - Pearson, 2011.
2. Kurose J., Ross K. *Computer Networking: A Top-Down Approach*. - 7th ed. - Pearson, 2017.
3. Oppenheimer P. *Top-Down Network Design*. - Cisco Press, 2010.
4. Cisco Systems. *OSPF Configuration Guide*. - Cisco Documentation, 2023.
5. Cisco Systems. *Quality of Service Networking Overview*. - Cisco Documentation, 2022

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ РАДИОСИСТЕМ  
НА БАЗЕ USRP B210 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ GNU RADIO

В условиях интенсивного развития беспроводных технологий и систем радиосвязи нового поколения особую актуальность приобретает концепция программно-определяемого радио (Software Defined Radio, SDR), основанная на программной реализации основных функций радиотракта. Такой подход позволяет отказаться от жёсткой аппаратной привязки и обеспечивает высокую гибкость при проектировании и анализе радиосистем. Одной из распространённых аппаратных платформ, используемых в исследованиях SDR, является универсальный программно-определяемый радиомодуль USRP B210, который в сочетании с программной средой GNU Radio предоставляет широкие возможности для изучения принципов построения современных систем радиосвязи.

Целью данной работы является исследование архитектуры и функциональных возможностей программно-определяемых радиосистем на базе USRP B210 с использованием среды GNU Radio, а также анализ их применения для моделирования беспроводных каналов связи. В рамках работы рассматриваются основные принципы построения SDR-систем, структура программной обработки сигналов и возможности параметрической настройки радиотракта. Программно-определяемый подход позволяет проводить исследование алгоритмов обработки сигналов и протоколов связи на уровне программных моделей без необходимости физической реализации аппаратной части [1].

В ходе исследования проведён анализ аппаратных характеристик USRP B210, включая поддерживаемые диапазоны частот, ширину полосы пропускания и архитектуру приёмо-передающих трактов. Программная среда GNU Radio рассмотрена как инструмент для моделирования цифровых радиосистем, основанный на использовании блоков обработки сигналов и графовой структуры их соединения [2]. Проанализированы базовые функциональные модули SDR-системы, такие как генерация сигналов, цифровая модуляция, фильтрация, спектральный анализ и визуализация, а также принципы их взаимодействия в рамках программной модели радиоканала.

Связка USRP B210 и GNU Radio обладает значительным исследовательским потенциалом для изучения принципов построения беспроводных систем связи. Рассматриваемая платформа позволяет выполнять теоретическое моделирование радиотрактов, анализ спектральных характеристик сигналов и исследование влияния параметров системы на качество передачи данных. Полученные выводы подтверждают

целесообразность применения SDR-подхода в образовательных и научно-исследовательских задачах.

Таким образом, в работе рассмотрены теоретические основы и архитектурные особенности программно-определяемых радиосистем на базе USRP B210 с использованием GNU Radio. Проведённый анализ демонстрирует, что данный подход является перспективным инструментом для исследования современных беспроводных технологий, а также может служить основой для дальнейших научных работ в области радиосвязи и телекоммуникаций.

Дополнительно следует отметить, что программно-определяемый подход в радиосвязи позволяет проводить детальный анализ влияния параметров радиоканала на характеристики передаваемых сигналов. В среде GNU Radio возможно теоретическое исследование таких параметров, как полоса пропускания, уровень шума, коэффициенты усиления и типы модуляции, что делает данную платформу удобным инструментом для изучения основ цифровой радиосвязи. Использование программных моделей способствует более глубокому пониманию процессов формирования, передачи и приёма радиосигналов без необходимости применения специализированного измерительного оборудования.

Особое значение в рамках исследовательской работы имеет модульная архитектура GNU Radio, основанная на использовании блоков цифровой обработки сигналов. Каждый блок реализует отдельную функцию, такую как генерация, фильтрация, преобразование или анализ сигналов, что позволяет рассматривать радиосистему как совокупность взаимосвязанных программных компонентов. Такой подход облегчает анализ структуры радиотракта и способствует изучению принципов построения современных беспроводных систем связи на концептуальном уровне.

Анализ научных источников показывает, что использование SDR-платформ в образовательной и исследовательской деятельности способствует сокращению разрыва между теоретическими знаниями и практическими аспектами радиосвязи. В отличие от традиционных лабораторных установок, программно-определяемые решения позволяют сосредоточиться на изучении алгоритмов и архитектурных решений, что особенно важно при подготовке специалистов в области телекоммуникаций и радиотехники.

*Список использованной литературы:*

1. Елисеев А. А. Программно-определяемое радио и его применение // Электросвязь. — 2019.
2. GNU Radio Documentation. Software Defined Radio Toolkit // Free Software Foundation.

## «ДЕМОНСТРАЦИЯ FM-ПЕРЕДАЧИ АУДИОСИГНАЛА НА МАЛОЙ ДАЛЬНОСТИ»

Частотная модуляция (Frequency Modulation, FM) является одним из наиболее распространённых способов модуляции аналоговых сигналов в радиосвязи. Она широко применяется в радиовещании, системах беспроводной связи, телеметрии и учебных радиотехнических экспериментах. Основным преимуществом FM по сравнению с амплитудной модуляцией является повышенная помехоустойчивость и лучшее качество передаваемого аудиосигнала.

Демонстрация FM-передачи аудиосигнала на малой дальности представляет собой наглядный способ изучения принципов радиопередачи, модуляции и демодуляции сигналов. Такие системы, как правило, работают в диапазоне УКВ (VHF) и имеют малую выходную мощность, что делает их безопасными и удобными для лабораторных и учебных целей. Малодалняя FM-передача используется в учебных стендах, любительских радиопередатчиках и экспериментальных проектах.

Принцип работы FM-передатчика заключается в изменении мгновенной частоты несущего колебания в соответствии с амплитудой передаваемого аудиосигнала. В качестве источника аудиосигнала может использоваться микрофон, генератор низкой частоты или аудиовыход электронного устройства. Сформированный модулированный сигнал усиливается и подаётся на антенну, обеспечивая распространение радиоволн на ограниченное расстояние.

Приёмная часть системы включает FM-приёмник, который осуществляет выделение полезного сигнала из радиочастотного спектра, демодуляцию и восстановление исходного аудиосигнала. В учебных демонстрациях часто используются стандартные FM-радиоприёмники или программно-определяемые радиосистемы (SDR), что позволяет визуализировать спектр сигнала и процесс демодуляции.

Практическая демонстрация FM-передачи позволяет наглядно изучить влияние параметров модуляции на качество сигнала, таких как девиация частоты, уровень шума и ширина полосы пропускания. Кроме того, в ходе эксперимента можно исследовать влияние расстояния и препятствий на устойчивость радиосвязи.

Таким образом, демонстрация FM-передачи аудиосигнала на малой дальности является эффективным учебным инструментом для освоения основ радиотехники и телекоммуникаций. Она способствует лучшему пониманию физических принципов передачи информации и формирует практические навыки работы с радиочастотными устройствами.

В рамках изучения аналоговых систем связи особое значение имеет практическое исследование методов модуляции радиосигналов. Частотная модуляция занимает важное место среди аналоговых видов модуляции благодаря своей высокой помехоустойчивости и широкому применению в радиовещании и беспроводных системах связи. Использование FM-передачи на малой дальности позволяет безопасно и наглядно продемонстрировать основные принципы радиосвязи в учебных и лабораторных условиях.

Одной из ключевых задач демонстрации FM-передачи аудиосигнала является формирование у обучающихся целостного представления о процессе передачи информации по радиоканалу. В ходе эксперимента можно проследить полный цикл передачи сигнала: от формирования низкочастотного аудиосигнала до его модуляции, излучения, приёма и последующей демодуляции. Такой подход способствует лучшему усвоению теоретического материала и развитию практических навыков работы с радиотехническими устройствами.

Особое внимание при проведении демонстрации уделяется анализу параметров модуляции. Изменение девиации частоты позволяет исследовать влияние глубины модуляции на качество принимаемого аудиосигнала и ширину спектра радиосигнала. Это даёт возможность на практике подтвердить теоретические положения о спектральной эффективности и требованиях к полосе пропускания FM-сигналов.

Также в ходе демонстрации рассматривается влияние внешних факторов на устойчивость радиосвязи. Наличие шумов, отражений радиоволн и физических препятствий позволяет проанализировать поведение FM-сигнала в реальных условиях распространения. Благодаря этому обучающиеся получают представление о преимуществах частотной модуляции по сравнению с амплитудной модуляцией в условиях помех.

*Список использованной литературы:*

1. Гоноровский, И. С. Радиотехнические цепи и сигналы : учебник для вузов / И. С. Гоноровский. — М.: Радио и связь, 2016. — 608 с.
2. Скляр, Б. Цифровая связь. Основы и приложения : учебное пособие / Б. Скляр. — М.: Вильямс, 2013. — 1104 с.
3. Хоровиц, П. Искусство схемотехники : в 2 т. Т. 1 / П. Хоровиц, У. Хилл. — М.: Бином, 2024. — 704 с.
4. Haykin, S. Communication Systems / S. Haykin. — 5th ed. — New York: Wiley, 2019. — 928 p.
5. Исследование частотной модуляции : методические указания к лабораторной работе. — Томск: ТУСУР, 2018. — 24 с.

## ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ТИПОВ МОДУЛЯЦИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ РАДИОМОНИТОРИНГА

В условиях современной цифровой трансформации радиоэлектронных систем связи наблюдается резкое усложнение сигнально-помеховой обстановки. Внедрение концепций программно-определяемого радио (SDR) и когнитивных сетей требует создания интеллектуальных узлов, способных к автономной идентификации параметров сигналов в реальном времени. Одной из наиболее приоритетных задач в этой области является автоматическое распознавание видов модуляции (Automatic Modulation Classification, AMC), которое служит фундаментом для эффективного управления радиочастотным спектром и обеспечения электромагнитной совместимости различных радиотехнических средств.

Традиционные подходы к распознаванию модуляции, основанные на анализе статистических параметров (кумулянтов и моментов высших порядков), демонстрируют высокую точность лишь в условиях стационарных каналов с высоким отношением сигнал/шум. Однако в реальных условиях эксплуатации, при наличии многолучевого распространения, доплеровского сдвига частоты и интенсивных промышленных помех, эффективность классических методов существенно снижается. Это обуславливает переход к использованию интеллектуальных технологий на базе глубоких нейронных сетей, которые способны извлекать скрытые признаки сигнала непосредственно из сырых IQ-данных (синфазной и квадратурной составляющих).

Процесс интеллектуального анализа в современных цифровых узлах связи включает в себя использование сверточных нейронных сетей (CNN), которые преобразуют временные последовательности отсчетов сигнала в иерархические структуры признаков. Применение архитектур глубокого обучения позволяет системе не только различать базовые виды модуляции (ASK, FSK, PSK), но и эффективно идентифицировать сложные многопозиционные форматы, такие как QAM-16, QAM-64 и выше. Ключевым преимуществом нейросетевых классификаторов является их инвариантность к малым фазовым и частотным искажениям, что критически важно для стабильности работы мобильных узлов связи. Кроме того, использование рекуррентных слоев (LSTM) позволяет учитывать временные зависимости в сигнале, что повышает достоверность распознавания в условиях глубоких замираний.

Интеграция обученных моделей в аппаратную часть приемо-передающих трактов (на базе специализированных сигнальных процессоров или ПЛИС) требует оптимизации вычислительных затрат. Современные методы квантования и прунинга нейросетей позволяют сохранять высокую точность классификации при значительном сокращении энергопотребления и времени задержки обработки. Это открывает возможности для создания адаптивных модемов, которые могут самостоятельно подстраиваться под текущие условия канала, выбирая наиболее эффективный протокол передачи данных без участия оператора.

В заключение следует отметить, что интеллектуализация алгоритмов обработки сигналов является безальтернативным путем развития современной радиоэлектроники. Внедрение нейросетевых технологий в системы радиомониторинга позволяет на порядок повысить оперативность обнаружения и идентификации сигналов в перегруженном эфире. При этом, несмотря на высокую эффективность программных методов защиты от помех, физическая среда передачи остается определяющим фактором надежности. Полная замена медных кабелей на оптоволоконные линии связи в инфраструктуре цифровых узлов позволит нивелировать внешние электромагнитные наводки, обеспечивая тем самым максимальную эффективность работы интеллектуальных алгоритмов обработки информации.

Интеграция обученных моделей в аппаратную часть приемо-передающих трактов (на базе специализированных сигнальных процессоров или ПЛИС) требует оптимизации вычислительных затрат. Современные методы квантования и прунинга нейросетей позволяют сохранять высокую точность классификации при значительном сокращении энергопотребления и времени задержки обработки. Это открывает возможности для создания адаптивных модемов, которые могут самостоятельно подстраиваться под текущие условия канала, выбирая наиболее эффективный протокол передачи данных без участия оператора.

Особое внимание в развитии интеллектуальных узлов связи уделяется переходу от простых каскадов CNN к гибридным архитектурам, сочетающим механизмы внимания (Attention mechanisms) и трансформеры. В отличие от стандартных сверток, такие модели способны фокусироваться на наиболее информативных участках сигнального созвездия или временной области, игнорируя импульсные помехи. Это позволяет достигать стабильности классификации даже при отрицательных значениях отношения сигнал/шум ( $\text{SNR} < 0$  дБ).

*Список использованных источников:*

1. Исследование алгоритмов цифровой обработки сигналов. / С.В. Витязев, С.И. Бакулин. - М.: Горячая линия-Телеком, 2021. - 412 с.
2. Интеллектуальные радиоэлектронные системы связи / А.Н. Терехов, С.В. Кисляков. - М.: Радио и связь, 2020. - 356 с.
3. Теория и техника цифровой связи / И.А. Коновалов. - М.: Советское радио, 2019. - 512 с.



## СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ДЕФЕКТОВ В КАБЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: ОБЗОР ДАННЫХ

В настоящее время кабельно-проводниковая отрасль Республики Казахстан представлена ОЮЛ «Ассоциация кабельных заводов Казахстана», в состав которой входят двенадцать ведущих предприятий страны. Деятельность Ассоциации направлена на развитие индустрии и укрепление сотрудничества с сектором электротехнического машиностроения. Одним из ключевых участников этого объединения является карагандинское предприятие ТОО «КазЦентрЭлектроПровод» (г. Сарань). Завод активно взаимодействует с государственными органами, участвует в крупных тендерах и сотрудничает с международными компаниями, работающими в нефтегазовом и горнодобывающем секторах. На фоне глобального перехода к беспроводным технологиям производство кабельной продукции также претерпевает значительные изменения. Традиционные медножильные кабели постепенно вытесняются волоконно-оптическими решениями. Оптическое волокно обеспечивает передачу сигналов в виде фотонов, что дает ряд неоспоримых преимуществ: сверхвысокую скорость передачи данных (от 1 до 10 Гбит/с на расстоянии 1 км), минимальные потери сигнала, отличную помехозащищенность, компактность и возможность передачи данных на дистанции до 400–800 км. ТОО «КСЕР» стало одним из первых в стране предприятий, внедривших эти технологии, и сегодня является ведущим поставщиком продукции для реализации госпрограммы «Цифровой Казахстан».

Несмотря на использование высокотехнологичного оборудования и регулярное повышение квалификации персонала, полностью исключить риск возникновения дефектов в процессе производства невозможно. Проблема точного определения места повреждения изоляции остается крайне острой. Существующие методы контроля имеют погрешность около  $\pm 5$  метров, что заставляет производителей обрезать до 10 метров готового изделия. При стоимости кабеля от нескольких сотен до тысяч тенге за метр такие потери оборачиваются серьезными финансовыми убытками. Для решения данной проблемы предлагается внедрение автоматизированной системы контроля качества, основанной на управлении частотой следования частичных разрядов. Данная технология позволяет проводить испытания при пониженном напряжении, что снижает наложение импульсов друг на друга и значительно повышает точность локализации дефекта. Стоит отметить, что процесс производства имеет и свои сложности: трудоемкость сварки оптических волокон, возможное затухание сигнала в местах стыков,

чувствительность к ионизирующему излучению и необходимость строгого соблюдения техники безопасности для защиты зрения сотрудников от светового излучения. На этапе приемо-сдаточных испытаний многие дефекты остаются скрытыми (на стадии «зародышей») и проявляются только в процессе эксплуатации. Именно поэтому необходимо внедрять системы контроля непосредственно в производственный цикл, на этап наложения изоляции. Это позволит своевременно регистрировать и устранять повреждения, исключая поставку бракованной продукции клиенту и сокращая расходы на ремонт кабельных линий в полевых условиях.

Ключевым техническим решением является внедрение адаптивной системы контроля, основанной на методе регистрации частичных разрядов (ЧР) с управляемой частотой следования импульсов. В отличие от стандартных высоковольтных испытаний «на проход», данный метод позволяет проводить диагностику при пониженном напряжении, что исключает риск необратимого повреждения структуры диэлектрика в момент проверки. Управление частотой импульсов решает проблему интерференции (наложения) сигналов, характерную для длинномерных кабельных изделий, и позволяет достичь точности локализации дефекта до 0,5–1 метра.

Применение такой системы на этапе наложения изоляции обеспечивает:

- снижение материальных затрат: сокращение объемов вынужденной обрезки кабеля (scrap rate) на 15–20% за счет точного определения координат микротрещин;
- повышение эксплуатационной надежности: выявление скрытых дефектов («зародышей» пробоя), которые не фиксируются стандартными приемо-сдаточными испытаниями, но проявляются при эксплуатации в агрессивных средах нефтегазового сектора;
- цифровизацию качества: возможность формирования «цифрового паспорта» для каждой строительной длины кабеля, что соответствует стратегии развития «Цифровой Казахстан».

Таким образом, интеграция средств автоматического контроля в производственный цикл позволит отечественным предприятиям кабельной индустрии не только снизить себестоимость продукции, но и обеспечить соответствие жестким международным стандартам качества (IEC/IEEE), укрепляя позиции Республики Казахстан на рынке высокотехнологичного электротехнического оборудования.

*Список использованных источников:*

1. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Волоконно-оптический\\_кабель](https://ru.wikipedia.org/wiki/Волоконно-оптический_кабель)
2. <https://kcep.kz/>

## ИСПОЛЬЗОВАНИЯ AI ДЛЯ ПРОГРАММЫ ОПТИМИЗАЦИЙ МАРШРУТИЗАЦИЙ ИНТЕРНЕТА

Современный Интернет представляет собой сложную распределённую систему, состоящую из миллионов узлов, маршрутизаторов и каналов связи, по которым в реальном времени передаются огромные объёмы данных. Эффективность функционирования такой сети во многом определяется механизмами маршрутизации, то есть процессами выбора оптимального пути передачи пакетов от источника к получателю. Классические алгоритмы маршрутизации, такие как OSPF, RIP и BGP, основаны на заранее заданных правилах и метриках и не всегда способны быстро адаптироваться к динамическим изменениям сети, таким как перегрузка каналов, отказ оборудования или резкие колебания трафика. В связи с этим всё большую актуальность приобретает применение методов искусственного интеллекта (Artificial Intelligence, AI) для оптимизации маршрутизации интернет-трафика.

Искусственный интеллект в задачах маршрутизации позволяет перейти от статических и полуавтоматических подходов к адаптивным и самообучающимся системам управления сетью. Под AI в данном контексте понимаются методы машинного обучения, глубокого обучения и обучения с подкреплением, которые способны анализировать большие объёмы сетевых данных, выявлять скрытые закономерности и принимать решения на основе текущего и прогнозируемого состояния сети. Это особенно важно для современных сетей, где требования к качеству обслуживания (QoS), задержкам, пропускной способности и надёжности постоянно растут.

Одной из ключевых задач оптимизации маршрутизации является минимизация задержки передачи данных и предотвращение перегрузки сетевых узлов. Классические алгоритмы обычно используют фиксированные веса каналов, которые пересчитываются сравнительно редко. В отличие от них, AI-алгоритмы могут динамически изменять веса рёбер графа сети на основе анализа текущей нагрузки, истории трафика и прогнозируемых изменений. Например, модель машинного обучения может предсказать рост нагрузки на определённый канал и заранее перенаправить трафик по альтернативным маршрутам, тем самым предотвращая деградацию качества связи.

Особое место в интеллектуальной маршрутизации занимает обучение с подкреплением (Reinforcement Learning, RL). В этом подходе система рассматривается как агент, который взаимодействует с сетевой средой и получает вознаграждение за успешные решения, такие как снижение задержки или уменьшение потерь пакетов. Со временем агент обучается

выбирать оптимальные маршруты в различных сетевых условиях. Преимуществом данного метода является его способность работать в динамических и слабо формализованных средах, что делает его особенно перспективным для крупных и гетерогенных сетей, включая сети провайдеров и дата-центров.

Язык программирования Python широко используется для реализации интеллектуальных алгоритмов маршрутизации благодаря своей простоте, гибкости и богатой экосистеме библиотек. С помощью библиотек NetworkX можно моделировать топологию сети в виде графа, а такие фреймворки, как TensorFlow и PyTorch, позволяют разрабатывать и обучать нейронные сети для анализа и прогнозирования сетевых параметров. Дополнительно библиотеки Scikit-Learn и Stable Baselines упрощают внедрение алгоритмов машинного обучения и обучения с подкреплением в практические приложения. Использование Python значительно сокращает время разработки и позволяет быстро тестировать различные модели и подходы.

Несмотря на очевидные преимущества, использование искусственного интеллекта в задачах маршрутизации связано и с рядом проблем. К ним относятся высокая вычислительная сложность некоторых моделей, необходимость наличия больших объёмов качественных обучающих данных, а также вопросы интерпретируемости решений, принимаемых нейронными сетями.

В заключение можно отметить, что использование искусственного интеллекта для оптимизации маршрутизации интернета является перспективным и активно развивающимся направлением. Совмещение AI-алгоритмов с современными сетевыми архитектурами и инструментами программной автоматизации открывает новые возможности для создания адаптивных, надёжных и высокоэффективных сетей. В дальнейшем развитие вычислительных технологий и методов машинного обучения позволит ещё шире внедрять интеллектуальную маршрутизацию в глобальных и корпоративных сетях, обеспечивая устойчивую работу интернета в условиях постоянно растущей нагрузки.

*Список использованной литературы:*

1. **F. Aktas, M. Yilmaz, H. T. Mouftah**, "AI-Enabled Routing in Next-Generation Networks: A Survey," *Computer Networks*, vol. 245, no. 110012, 2025.
2. **Э. Г. Ахметшина**, "Автоматизация маршрутизации и управление ресурсами с использованием искусственного интеллекта в компьютерных сетях," *Вестник кибернетики*, №2, 2024.
3. **S. Thakur**, "AI-Driven Energy-Efficient Routing in IoT-Based Wireless Sensor Networks," *Sensors*, vol. 25, no. 7408, 2025.
4. **I. Bhattacharjee**, "AI-Driven Routing: Transforming Network Efficiency and Resilience," *Preprints*, no. 2025022005, 2025.
5. **R. Priyadarshi, A. Kumar, S. Sharma**, "AI-Based Routing Algorithms for Improving Latency and Reliability in Wireless Networks," *Scientific Reports*, vol. 15, no. 8677, 2025.

## ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ И ПОСТРОЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

В условиях стремительного развития цифровых технологий компьютерные сети становятся фундаментальной основой функционирования современной информационной инфраструктуры. Практически все сферы деятельности – промышленность, образование, медицина, транспорт, государственное управление и бизнес – опираются на устойчивые, безопасные и масштабируемые сетевые решения. В связи с этим вопросы построения и эффективного управления сетями приобретают стратегическое значение и относятся к области цифровых и интеллектуальных технологий в радиоэлектронных системах связи [1].

Построение компьютерной сети представляет собой комплексный процесс проектирования архитектуры передачи данных, включающих выбор топологии, сетевого оборудования, протоколов связи и механизмов обеспечения безопасности. Основой современных сетей является многоуровневая модель взаимодействия открытых систем (OSI) и стек протоколов TCP/IP, которые обеспечивают стандартизацию передачи данных между различными устройствами. Грамотное понимание принципов работы физического, канального сетевого и транспортного уровней позволяет обеспечить надежную маршрутизацию, контроль ошибок и устойчивость соединений.

Одним из ключевых этапов построения сети является выбор топологии. Наиболее распространенными являются звездообразная, шинная, кольцевая и ячеистая (mesh) топологии. В корпоративных и промышленных сетях чаще всего применяется звездообразная структура с использованием коммутаторов и маршрутизаторов, обеспечивающая централизованное управление и масштабируемость. При этом современные тенденции развития сетевых технологий направлены на переход к программно-определяемым сетям (SDN), где управление осуществляется централизованно с помощью программных контроллеров [2].

Управление сетью включает в себя мониторинг состояния оборудования, контроль пропускной способности каналов связи, анализ сетевого трафика и обеспечение информационной безопасности. Для этих целей применяются специализированные протоколы и системы управления, такие как SNMP, NetFlow, системы обнаружения вторжений и средства централизованного логирования. Эффективное администрирование сети позволяет своевременно выявлять неисправности, предотвращать перегрузки и минимизировать время простоя.

В условиях цифровой трансформации возрастает роль интеллектуальных технологий в управлении сетевой инфраструктурой. Использование методов искусственного интеллекта и машинного обучения позволяет анализировать большие объемы сетевых данных, прогнозировать нагрузку, автоматически выявлять аномалии и кибератаки. Интеллектуальные алгоритмы способны адаптировать параметры маршрутизации и распределения трафика в режиме реального времени, что значительно повышает отказоустойчивость и производительность сетей.

Особое внимание уделяется вопросам кибербезопасности. Современные сети подвергаются множеству угроз: несанкционированный доступ, DDoS-атаки, вредоносное программное обеспечение, перехват данных. Для защиты применяются межсетевые экраны, системы шифрования, виртуальные частные сети (VPN), сегментация сети и многофакторная аутентификация. Комплексный подход к безопасности является обязательным элементом управления современной сетевой инфраструктурой [3].

Развитие технологий беспроводной связи (Wi-Fi 6, 5G), интернета вещей (IoT) и облачных вычислений предъявляет новые требования к архитектуре сетей. Увеличивается количество подключенных устройств, возрастает объем передаваемых данных, повышаются требования к скорости и задержке передачи информации. Это требует внедрения гибких архитектур, визуализации сетевых функций (NFV) и использования облачных платформ для управления инфраструктурой.

Таким образом, основы управления и построения сетей являются ключевым элементом цифровой экономики и относятся к сфере цифровых и интеллектуальных технологий в системах связи. Современные сети должны быть не только производительными и масштабируемыми, но и интеллектуальными, способными к самоанализу и адаптации. Внедрение инновационных решений в области сетевого администрирования способствует повышению устойчивости информационных систем, снижению эксплуатационных затрат и обеспечению безопасности данных в условиях глобальной цифровизации общества.

#### *Список литературы*

1. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. *Компьютерные сети*. – 5-е изд. – СПб.: Питер, 2019. – 960 с.
2. Куроуз Дж., Росс К. *Компьютерные сети. Нисходящий подход*. – 7-е изд. – М.: Вильямс, 2021. – 912 с.
3. Олифер В. Г., Олифер Н. А. *Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы*. – 5-е изд. – СПб.: Питер, 2020. – 992 с.

## 5G ЖЕЛІСІ НЕГІЗІНДЕ ИОТ ЕНГІЗУ ТИІМДІЛІГІ

5G желілері мен Заттар интернеті (IoT) технологияларын қалалық инфрақұрылымға енгізу қазіргі цифрлық трансформацияның негізгі драйверлерінің бірі болып табылады. 5G технологиясы жоғары деректер жылдамдығын, минималды кідіріс пен желілік сыйымдылықты қамтамасыз етеді, бұл миллиондаған құрылғыны бір уақытта қосуға мүмкіндік береді. Осы мүмкіндіктерді IoT жүйелерімен біріктіру ақылды қалалық шешімдерге жол ашады: мысалы, интеллектуалды көше жарықтандыру, ақылды тұрақтар, энергия тиімді есептегіштер және коммуналдық инфрақұрылымды басқару. Ақылды тұрақтар арқылы жүргізушілер бос орындарды тез табады, іздеу уақытын 40%-ға дейін қысқартады, бұл көлік қозғалысының тиімділігін арттырып, CO<sub>2</sub> шығарындыларын азайтады. Ақылды көше жарықтандыру жүйелері қозғалысқа және ауа райына бейімделе отырып электр энергиясын 40%-ға дейін үнемдеуге мүмкіндік береді, ал мектептер мен ауруханаларда интеграцияланған микроклиматтық бақылау жүйелері энергияны 20-30%-ға азайтып, тұрғындардың жайлылығын сақтайды.

Сумен жабдықтау мен ағынды суларды басқаруда 5G сенсорлары мен ақылды есептегіштер су шығынын 25%-ға дейін төмендетеді, құбырдағы қысымды автоматты реттеу сорғы станцияларына түсетін жүктемені азайтады және апаттық үзілістер қаупін азайтады. Көлік саласында ақылды бағдарламалар мен бейне сенсорлар кептелісті 20%-ға азайтып, қозғалтқыш тозуын төмендетеді. Сондай-ақ көпірлер мен туннельдердегі материалдық кернеу сенсорлары арқылы болжамды техникалық қызмет көрсету жоспарлы жөндеуге ауысып, ірі құрылымдық ақаулардан алдын алады.

Денсаулық сақтау саласында 5G мен IoT телемедицина мен роботтық хирургияны қолдайды, пациенттердің жағдайын нақты уақыт режимінде бақылауға мүмкіндік береді және шалғай аудандарда медициналық қолжетімділікті арттырады. Сонымен қатар, қаланың цифрлық егізі нақты уақыт деректерін пайдаланып, көлік, энергия және коммуналдық ағындарды оңтайлы жоспарлауға мүмкіндік береді, бұл ұзақ мерзімді шығындарды азайтады және басқару тиімділігін арттырады.

5G технологиясының негізгі компоненттері - миллиметрлік толқындар, MIMO антенналары, SDN және NFV технологиялары деректерді жоғары жылдамдықпен жеткізу, желілік ресурстарды икемді басқару және бірнеше құрылғыны бір уақытта қосу мүмкіндігін қамтамасыз етеді. IoT сенсорлары қоршаған орта мен процестер туралы нақты ақпарат жинап, оны нақты уақыт режимінде талдай отырып, автоматтандырылған және болжамды шешімдер қабылдауға мүмкіндік береді.

Ақылды қалаларда 5G және IoT интеграциясы тұрғындардың өмір сапасын арттырумен қатар, энергия шығынын, коммуналдық қызметтер мен көліктің пайдалану шығындарын айтарлықтай төмендетеді. Бұл технологиялар қалалық инфрақұрылымды белсенді экономикалық активке айналдырады, пассивті ресурстарды өзін-өзі оңтайландыратын жүйеге түрлендіріп, қала экожүйесін тиімді, қауіпсіз және тұрақты етеді. Қорытындылай келгенде, 5G мен IoT синергиясы тек ақпараттық байланыс құралы ретінде ғана емес, физикалық және цифрлық әлемдерді біріктіретін әмбебап платформа ретінде маңызды болып табылады, бұл интеллектуалды қалаларды, энергия тиімді жүйелерді, автономды көліктерді және заманауи экономиканың жаңа бизнес модельдерін қалыптастыруға негіз жасайды.

Пайдаланылған дереккөздердің тізімі:

1 5G технологиялары мен стандарттары. 5G желілеріндегі интернет жылдамдығы. URL: <http://wimax.livebusiness.ru/tags/5G/>

2 Заттар интернеті жаңалықтары. Қазақстан 5G-ден қаншалықты алыс?. URL: <https://iot.ru/gorodskaya-sreda/standart-novogo-pokoleniya>

3 Заттар интернеті конференциясы. URL: <https://iotconf.ru/ru/news/internet-veshchey-i-seti-5g>

4 Заттар интернеті дегеніміз не және ол туралы не білуіңіз керек. — Мәтін: электронды // HABRT:. — URL: <https://habr.com/ru/company/otus/blog/549550>

5 Щербинина М. Ю., Стефанова Н. А. Заттар интернеті тұжырымдамасы // К.Е. 2016. № 11. — 1333 бет — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-internet-veschey>.

6 Заттар интернеті: тұжырымдама, инфрақұрылым және перспективалар. — Мәтін: электронды // VC.Ru. — URL: <https://vc.ru/flood/95013-internet-veshchey-ponyatie-infrastruktura-i-perspektivy>



## БОРДЫҢ ЖАРТЫЛАЙ ӨТКІЗГІШ КРЕМНИЙ САПАСЫНА ӘСЕРІ

Бордың жартылай өткізгіш кремний сапасына әсері легирование кезінде оның жартылай өткізгіштік қасиеттерін анықтайтын негізгі қоспалардың бірі болып табылады. Кремнийдің кристалдық торына бор енгізу материалдың құрылымында оның сапасына әсер ететін өзгерістерге әкелуі мүмкін. Бордың кремний құрылымына әсері қоспаның таралуына байланысты: кремнийді термиялық өңдеу кезінде бор атомдарының таралу профилінің өзгеруі байқалады. Егер бор концентрациясы оның ерігіштік шегінен асып кетсе, күйдіру температурасында иондық имплантация бұзылған аймақ шекараларында концентрация шыңдары пайда болады. Бұл бор атомдарының кластерленуіне байланысты. Кремнийді бормен допинг кезінде әртүрлі ақаулар пайда болуы мүмкін. Зерттеулер көрсеткендей, кремнийді күйдіру кезінде бор иондары 900 °С температурада дислокациялық ілмектер, ал 1000 °С — та инъекциялық ілмектер пайда болады. Бұл ақаулар кремнийдің электрлік қасиеттеріне әсер етеді.

Имплантация және күйдіру кезінде, әсіресе допинг кезінде қалдық бұзылулардың пайда болуы байқалады. Бұл кремний атомдары тор түйіндеріндегі бор атомдарының орнын басуға ықпал ететін Воткинс әсерімен байланысты. Жалпы, бор қоспаларының кремнийдің кристалдық торына әсері соңғы өнімнің сапасына теріс әсер етеді. Шикізат өнімдерін қалыптастыру сатысында осы салдардың алдын алу үшін материалдарды металлургиялық қайта бөлу кезінде шихта материалдарының сапасын мұқият бақылау қажет. Мақсатты өнімді дәлірек қалыптастыру үшін әртүрлі өңдеу түрлерінен кейін бор изотоптарының кристалл тереңдігіне таралуын зерттеу үшін масс-спектрометрияны қоса алғанда, заманауи зерттеу және бақылау әдістерін қолдану керек. Рентгендік дифрактометрия да жақсы нәтиже көрсетеді. Бұл әдіс күйдіруден кейінгі кремний қабаттарының құрылымдық сипаттамаларын анықтауға мүмкіндік береді, мысалы, жазықтықаралық қашықтықтың өзгеруі және бұзылған қабаттың қалыңдығы. Толық бағалау үшін ақауларды анықтау үшін қолданылатын трансмиссиялық электронды микроскопияны (ПЭМ) қолдану қажет.

*Пайдаланылған дереккөздердің тізімі:*

1. В.И. Ободников, Е.Г. Тишковский Влияние исходного уровня легирования бором на его распределение, возникающее при термообработке в облученном ионами бора кремнии. Физика и техника полупроводников, 1998, том 32, № 4
2. M.G. Dowsett, E.A. Clark, M.N. Lewis. Proc 6th Int. Conf. SIMS-VI (1988) p. 725.

## ПРИМЕНЕНИЕ SDN И NFV В БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ СВЯЗИ

Современные беспроводные сети связи развиваются в условиях постоянного роста объёма передаваемого трафика, увеличения количества пользовательских и машинных устройств, а также появления новых сервисов, предъявляющих высокие требования к пропускной способности, задержке и надёжности передачи данных. Развитие технологий Интернета вещей, облачных вычислений, потокового видео и систем реального времени приводит к необходимости перехода от традиционных архитектур сетей к более гибким и адаптивным решениям. В этом контексте особую актуальность приобретают технологии программно-определяемых сетей (Software Defined Networking, SDN) и виртуализации сетевых функций (Network Functions Virtualization, NFV).

Традиционные беспроводные сети строятся на основе специализированного аппаратного оборудования, в котором функции управления, обработки и передачи данных тесно связаны между собой [1]. Такой подход усложняет модернизацию сети, ограничивает возможности масштабирования и увеличивает затраты на эксплуатацию. Любые изменения конфигурации требуют вмешательства в работу отдельных устройств, что снижает гибкость сети и увеличивает вероятность ошибок [1]. Применение SDN и NFV позволяет преодолеть данные ограничения за счёт перехода к программно-ориентированной архитектуре.

Технология SDN сеть передачи данных, в которой уровень управления сетью отделён от устройств передачи данных и реализуется программно. Управление сетью осуществляется централизованным SDN-контроллером, а сетевые устройства выполняют функции пересылки пакетов по заданным правилам. Такой подход упрощает администрирование сети и обеспечивает быструю адаптацию к изменениям сетевой нагрузки [2].

В беспроводных сетях связи SDN предоставляет широкие возможности для оптимизации использования радиоресурсов. Централизованное управление позволяет эффективно распределять пропускную способность между абонентами, управлять приоритетами трафика и обеспечивать заданные параметры качества обслуживания. Особенно важным является применение SDN в мобильных сетях, где необходимо учитывать динамическое перемещение пользователей. Использование SDN позволяет оптимизировать процессы хэндовера, снижать задержки и уменьшать потери пакетов при переходе абонентов между базовыми станциями [2].

Технология NFV направлена на виртуализацию сетевых функций, которые традиционно реализовывались с помощью специализированного оборудования. К таким функциям относятся маршрутизация, коммутация,

межсетевое экранирование, балансировка нагрузки, управление мобильностью и другие элементы сетевой инфраструктуры. В рамках NFV данные функции реализуются в виде программных модулей, разворачиваемых на стандартных вычислительных платформах. Это позволяет значительно сократить капитальные затраты и повысить гибкость развертывания сети [3].

Применение NFV в беспроводных сетях связи особенно важно при построении ядра мобильной сети. Виртуализация его элементов обеспечивает гибкое масштабирование ресурсов и упрощает внедрение новых сервисов. В сетях пятого поколения NFV играет ключевую роль в реализации концепции network slicing, позволяющей создавать логические сети с различными параметрами качества обслуживания для поддержки разнородных сервисов, включая системы реального времени [3].

Совместное применение SDN и NFV обеспечивает комплексный подход к модернизации беспроводных сетей связи. SDN отвечает за централизованное управление и программную настройку сетевых соединений, в то время как NFV обеспечивает гибкость и масштабируемость сетевых функций. Интеграция данных технологий позволяет операторам связи оперативно адаптироваться к изменениям требований пользователей, снижать эксплуатационные расходы и повышать надёжность сети. Несмотря на значительные преимущества, внедрение SDN и NFV сопровождается рядом технических и организационных проблем. Одной из ключевых задач является обеспечение безопасности сети, так как централизованный контроллер SDN может стать уязвимой точкой системы. Кроме того, виртуализированные сетевые функции должны обеспечивать высокую производительность и минимальные задержки, что требует эффективного управления вычислительными ресурсами. Также важным аспектом является необходимость стандартизации интерфейсов и протоколов взаимодействия между компонентами сети.

В целом, применение технологий SDN и NFV представляет собой перспективное направление развития беспроводных сетей связи. Их использование позволяет создавать гибкие, масштабируемые и экономически эффективные сетевые инфраструктуры, способные удовлетворить требования современных и будущих сервисов. В условиях перехода к сетям нового поколения данные технологии становятся неотъемлемой частью эволюции телекоммуникационных систем.

*Список использованных источников*

1. Фомин В. Н. Сети и системы связи нового поколения. — М.: Горячая линия – Телеком, 2020.
2. Васильев В. И. Программно-определяемые сети (SDN) // Электросвязь. — 2016.
3. Кузнецов А. А. Виртуализация сетевых функций и архитектура NFV // Вестник связи. — 2017.

**РАДИОЭЛЕКТРОНДЫҚ БАЙЛАНЫС ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ ЦИФРЛЫҚ ЖӘНЕ  
ЗИЯТКЕРЛІК ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ОҚЫТУҒА АРНАЛҒАН ЭЛЕКТИВТІ  
КУРС ӘДІСТЕМЕСІ**

Бүгінгі күні радиоэлектрондық байланыс жүйелері – цифрлық дамудың басты бөліктерінің бірі болып саналады. Мысалы, 5G/6G желілері, IoT экожүйелері, бағдарламалық анықталатын радио (SDR) және жасанды интеллект арқылы сигнал өңдеу сияқты технологиялар қазіргі инженерияның негізін қалайды. Осындай күрделі салаларды меңгеру жоғарғы оқу орнынан емес, мектеп қабырғасынан басталуы керек. Сондықтан бүгінде мектеп оқушыларына арнап, арнайы элективті курс ұйымдастыру маңызды болып отыр.

Осы мақсатта, осы кезде мектеп оқушыларына арнап радиоэлектроника және электроника негіздеріне оқыту мәселесі туралы элективті курс ұйымдастырылып, тәжірибеден өткізіліп жатыр. Бұл курстың басты ерекше лігі – дәстүрлі радиотехника тақырыптарын заманауи цифрлық құралдармен бірге оқытылуында.

Курс үш кезеңнен тұрады.

Бірінші кезеңде оқушылар:

- электр тізбектерінің негізгі заңдарын;
- ток, кернеу, кедергі ұғымдарын;
- аналогтық сигналдың табиғатын;
- жиіліктік модуляцияның қалай жұмыс істейтінін үйренеді.

Яғни, алдымен теориялық база қалыптастырады.

Екінші кезеңде оқушылар виртуалды зертхана – Tinkercad платформасында көмегімен радиоқабылдағыштың сұлбасын құрастырады. Бұл орта қауіпсіз және ыңғайлы болып саналады, себебі оқушылар қате жіберсе де, құрылғының бұзылуында аса қауіптер орындалмайды. Олар:

- резонанстық контурдың жұмысын;
- сигналды қабылдау және детектор арқылы ажырату процесін;
- сигналды күшейту кезеңдерін тәжірибе арқылы зерттейді;
- соңында шығармашылық тапсырма беріледі.

Осылайша теория мен практикамен байланыс құрады.

Үшінші кезеңде нақты құрылғымен жұмыс жасайды. Мұнда Arduino Uno микроконтроллері және электронды конструктор қолданылады. Радиоқабылдағыштан шыққан аналогтық сигнал сандықформатқа ауыстырылатын болады. Бұл процесс аналогтық – цифрлық түрлендіргіш

арқылы асады. Сигнал дискреттеліп, компьютер немесе ноутбукқа жүктеледі.

Бұл Arduino Uno платформасында іске асырылады. Ең қарапайым әрі оқушылар үшін тәжірибе жасауға қолайлы жұмыс Электронды конструктордың көмегімен іске асады.

Жобаның зияткерлік бөлігі ретінде қарапайым радиоқабылдағыштың жұмыс істеу принципі енгізіледі. Қарапайым радиоқабылдағышты түсіндіруде FM модуль, цифрлық сүзгілер және амплитудалық салыстыру алгоритмдері қолданылды. Дайындалып жатқан әдістемелік жобаның ауқымдылығы келесі элементтермен дәлелденеді:

- Классикалық радиотехника мен цифрлық электрониканы интеграциялау;
- Arduino Uno жинағымен виртуалды модельдеуді қатар қолдану;
- Аналогтық сигналдан цифрлық дерекке дейінгі толық іс әрекетті қадам қадамымен көрсету;
- Осы жоба арқылы оқушылардың инженерлік ойлауын, техникалық және кәсіби жобалау дағдыларын кешенді дамыту.

Қазіргі таңда бұл жобаны мектеп оқушыларына элективті курс ретінде өткізіп жатырмыз. Соның нәтижесінде оқушылардың пәнге қызығушылығының артуы, эксперименттік жұмыстарды орындауы және жобалық, шығармашылық ойлаулары жоғарлағаның байқауға болады. Бұл жобаның мазмұны қазіргі STEM – білім беру қағидаттарына сәйкес келеді және болашақта жасанды интеллект бағыттарына кәсіби бағдар бере алады.

Қорытындылай келе, радиоэлектрондық байланыс жүйелеріндегі цифрлық және зияткерлік технологияларды білім беру жүйесінде қолдану – оқушылардың инженерлік, кәсіпкерлік дағдыларын қалыптастырады. Біз ұсынып отырған курс моделі қарапайым және күрделі байланыс процестерін қол жетімді деңгейде түсіндіруге мүмкіндік береді және заманауи цифрлық қоғам талаптарына сай тұлғаны қалыптастыра алады деген сенімдеміз. Егер осы ұйымдастырылып жатқан курстың әдістемелік нұсқаулығын көргілеріңіз келсе, келесі сілтеме арқылы кіріп, көре аласыздар:

[Қарапайым радиоқабылдағыштар әдістемелік нұсқаулық.](#)

**ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР**

1. "Arduino Uno." Wikipedia: The Free Encyclopedia, [https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino\\_Uno](https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino_Uno).
2. Tinkercad Education Resources // [autodesk.com](https://autodesk.com)
3. Haykin S. Communication Systems. – Wiley, 2014.

АНАЛОГОВАЯ ОБРАБОТКА ГИТАРНОГО СИГНАЛА: РАЗРАБОТКА  
ПЕДАЛИ FUZZ

В настоящее время сохраняется устойчивый интерес к аналоговым устройствам обработки аудиосигнала, в частности к гитарным педалям эффектов, несмотря на широкое распространение цифровых процессоров. Одним из наиболее характерных и востребованных эффектов является эффект FUZZ, основанный на жёстком нелинейном искажении сигнала электрогитары. Классические fuzz-педали, разработанные в 1960-х годах, до сих пор используются как эталон звучания и активно применяются в рок- и блюзовой музыке.

Актуальность разработки педалей эффектов типа FUZZ обусловлена рядом факторов, включая высокую стоимость коммерческих устройств, ограниченную доступность элементной базы и сложность повторения оригинальных схем. В ряде современных педалей, например педаль Fuzz Factory компании ZVEX, используются германиевые транзисторы, обладающие специфическими электрическими характеристиками, формирующими характерный тембр эффекта. К их особенностям относятся мягкий характер клиппинга и низкое напряжение база–эмиттер, однако такие транзисторы являются дефицитными, имеют значительный разброс параметров и высокую температурную нестабильность, что усложняет практическое применение и повторяемость схемы.

Одной из наиболее известных классических схем является Fuzz Face, построенная на двухтранзисторной архитектуре с минимальным количеством элементов. Простота конструкции делает данную схему удобной основой для самостоятельной реализации и дальнейшей модернизации. Вместе с тем классические реализации Fuzz Face чувствительны к параметрам транзисторов и условиям эксплуатации, что требует оптимизации схемных решений.

Работа транзисторных каскадов в педалях эффектов типа FUZZ во многом определяется коэффициентом усиления транзистора по току, который характеризуется параметром  $h_{FE}$ . Данный параметр показывает отношение тока коллектора к току базы и определяется выражением:

$$h_{FE} = I_C + I_B \quad (1)$$

Где:

$h_{FE}$  – коэффициент усиления транзистора;

$I_C$  – ток коллектора транзистора;

$I_B$  – ток базы транзистора.

В классических fuzz-педалях, использующих германиевые транзисторы, значение  $h_{FE}$  имеет значительный разброс и может изменяться под воздействием температуры и условий эксплуатации. Это приводит к нестабильному режиму работы каскадов и изменению характера искажения сигнала. В частности, чрезмерно высокий коэффициент усиления может вызывать самовозбуждение схемы и рост уровня шумов, тогда как слишком низкий — снижение уровня и насыщенности эффекта.

В разрабатываемой педали предлагается использование более стабильных транзисторов с контролируемым диапазоном коэффициента усиления, что позволяет обеспечить предсказуемый режим работы схемы и повторяемость характеристик устройства. Подбор транзисторов с оптимальными значениями  $h_{FE}$  способствует формированию устойчивого fuzz-эффекта при сохранении характерного тембра и снижении чувствительности к внешним факторам.

Таким образом, разработка самодельной fuzz-педали на основе классической схемы Fuzz Face с применением доступных транзисторов является актуальной технической задачей, сочетающей практическую значимость, низкую стоимость и возможность использования в учебных и реальных аудиосистемах.

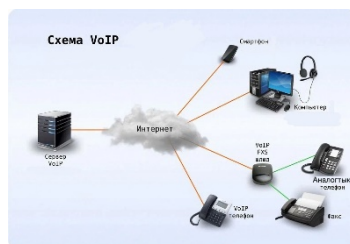
*Список использованной литературы:*

1. Self D. *Small Signal Audio Design*. – 2nd ed. – Oxford: Focal Press, 2014. – 672 с.
2. Bor, M., Roedig, U. "LoRa Transmission Parameter Selection" // *Proceedings of the 13th International Conference on Distributed Computing Sensor Systems (DCOSS)*, Ottawa, Canada, 2017. – pp. 27–34
- Horowitz P., Hill W. *The Art of Electronics*. – 3rd ed. – Cambridge: Cambridge University Press, 2015. – 1220 с.

## IP-ТЕЛЕФОНИЯ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ЗЕРТТЕУ

IP-телефония технологиялары қазіргі заманғы байланыс жүйелерінің маңызды бағыты болып табылады. Бұл технология дәстүрлі аналогтық телефон желілеріне балама ретінде пайда болып, деректерді интернет протоколы арқылы жеткізуге негізделген. IP-телефонияның басты артықшылығы-дауыстық сигналды цифрлық форматқа айналдырып, оны желі арқылы пакеттік түрде тасымалдау мүмкіндігі. Соның нәтижесінде байланыс сапасы артып, шығындар айтарлықтай азаяды.

IP-телефонияның теориялық негізі VoIP (Voice over Internet Protocol) ұғымымен тығыз байланысты. VoIP - интернет желісі арқылы дауысты жіберу технологиясы. Бұл жүйе дәстүрлі телефон станцияларынан ерекшеленіп, деректерді пакеттерге бөліп, IP-желі арқылы бағыттайды. Осы әдіс арқылы пайдаланушылар әлемнің кез келген нүктесімен жылдам әрі тиімді байланыс орната алады. 1-суретте VoIP схемасы берілген.



1-сурет VoIP схемасы

IP-телефонияның даму тарихы XX ғасырдың соңында интернет технологияларының қарқынды дамуымен басталды. 1990 жылдары алғашқы бағдарламалық телефон қосымшалары пайда болып, компьютер арқылы дауыстық қоңыраулар жасау мүмкіндігі туды. Кейінірек кеңжолақты интернеттің таралуы бұл саланың дамуын жеделдетті. Соның нәтижесінде IP-телефония корпоративтік және жеке секторларда кеңінен қолданыла бастады.

IP-телефония жүйесінің негізгі құрамдас бөліктеріне IP-телефондар, шлюздер, маршрутизаторлар және серверлер жатады. IP-телефон – желіге қосылатын арнайы құрылғы немесе бағдарламалық қосымша. Шлюздер дәстүрлі телефон желісі мен IP-желінің арасындағы байланысты қамтамасыз етеді. Ал серверлер қоңырауларды басқару, бағыттау және тіркеу функцияларын орындайды.

IP-телефонияда қолданылатын негізгі хаттамалардың бірі - Session Initiation Protocol. Бұл хаттама қоңырауларды орнату, өзгерту және аяқтау



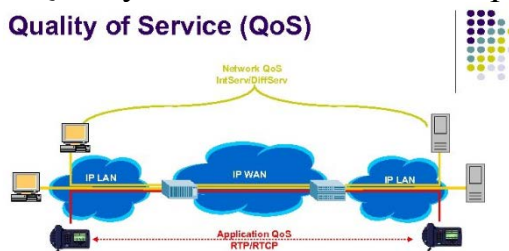
процестерін басқарады. Сонымен қатар, медиа-ағындарды тасымалдау үшін RTP (Real-time Transport Protocol) қолданылады. Аталған хаттамалар жүйенің тұрақты әрі сапалы жұмыс істеуін қамтамасыз етеді.

IP-телефонияның артықшылықтарының бірі - экономикалық тиімділік. Дәстүрлі телефон желілерімен салыстырғанда, халықаралық және қалааралық қоңыраулар арзанырақ жүзеге асырылады. Сонымен қатар, бір желі арқылы бір уақытта бірнеше қызмет түрін (дауыс, бейне, мәтін) ұсынуға мүмкіндік бар. Бұл ұйымдар үшін инфрақұрылымдық шығындарды азайтады.

IP-телефония тек қана дауыстық байланыспен шектелмейді. Қазіргі таңда бейнеконференциялар, онлайн жиналыстар және қашықтан оқыту платформалары осы технология негізінде жұмыс істейді. Мысалы, Skype және Zoom қосымшалары IP-телефония технологиясын пайдалана отырып, пайдаланушыларға бейне және аудио байланыс қызметін ұсынады.

IP-телефония жүйелерінің қауіпсіздігі маңызды мәселелердің бірі болып табылады. Себебі деректер ашық желі арқылы жіберіледі. Сондықтан шифрлау, аутентификация және желілік қорғаныс механизмдері қолданылады. VPN технологиялары мен TLS протоколы қауіпсіз байланысты қамтамасыз етуге көмектеседі.

Сапаны басқару (QoS-Quality of Service) IP-телефонияда ерекше рөл атқарады. Дауыс пакеттерінің кешігуі, жоғалуы немесе бұрмалануы байланыс сапасына кері әсер етуі мүмкін. Сондықтан желіде трафикті басымдықпен өңдеу және өткізу қабілетін оңтайландыру әдістері қолданылады. 2 суретте Quality of Service схемасы берілген.



2 сурет- Quality of Service

IP-телефония корпоративтік секторда кеңінен таралған. Көптеген компаниялар ішкі байланыс үшін IP-АТС жүйелерін енгізуде. Бұл жүйелер қоңырауларды автоматты бағыттау, дауыстық пошта және конференц-байланыс қызметтерін ұсынады. Нәтижесінде ұйым ішіндегі коммуникация тиімділігі артады.

Қорытындылай келе, IP-телефония технологиялары қазіргі заманғы байланыс жүйелерінің ажырамас бөлігіне айналды. Оның экономикалық тиімділігі, функционалдық мүмкіндіктері және икемділігі бұл технологияны кеңінен қолдануға жол ашты.

## ИНТЕРНЕТ ЗАТТАР (IOT) ЖӘНЕ ОНЫҢ РАДИОҚАТЫНАСТАР ЖҮЙЕСІНІҢ ЭВОЛЮЦИЯСЫНА ӘСЕРІ

Интернет заттар (IoT, Internet of Things) — қазіргі уақытта әлемдегі ең революциялық технологиялардың бірі болып табылады және ол көптеген салаларға, соның ішінде радиоқатынастар жүйесіне де елеулі әсер етуде. IoT — бұл әртүрлі физикалық құрылғылардың (датчиктер, машиналар, тұрмыстық техника және басқа да объектілер) бір-бірімен және орталық жүйелермен деректер алмасуын қамтамасыз ететін концепция. Бұл технологиялар дәстүрлі байланыс жүйелерінің, мысалы, Wi-Fi және мобильді желілердің эволюциясына әсер етеді, сондай-ақ олардың жұмыс өнімділігі, қауіпсіздігі және энергия тиімділігі бойынша жаңа міндеттер туғызады.

### **IoT-тің радиоқатынастар жүйесіне әсері**

Соңғы болжамдарға сәйкес, 2030 жылға қарай интернетке қосылған құрылғылардың саны 75 миллиардқа жетуі мүмкін. IoT дәстүрлі байланыс технологияларынан ерекшеленетін басты фактор — бұл қосылған құрылғылардың санының көптігі, олар деректерді нақты уақытта, минималды кідірістермен және үлкен қашықтықтарға жеткізуді талап етеді.

Қазіргі радиоқатынастар жүйелері көптеген құрылғылардан келетін үлкен трафик көлемін өңдеуге бейімделуі керек. Мысалы, дәстүрлі Wi-Fi желілері көптеген құрылғыларды тиімді түрде қолдай алмайды, бұл желінің жүктелуіне, байланыс сапасының төмендеуіне және кідірістердің көбеюіне әкеледі. Сондықтан желі инженерлері жаңа байланыс стандарттарын құру міндетін көтеріп отыр, олар құрылғылардың көп санын тиімді қолдауға, мысалы, 5G және оның болашақтағы нұсқаларын жасау.

Сонымен қатар, IoT жүйесінде жиі сымсыз сенсорлы желілер қолданылады, олар деректерді беру үшін тиімді радиоканалдарды қажет етеді. Бұл мәселе LoRaWAN (Long Range Wide Area Network), Sigfox және NB-IoT (Narrowband IoT) сияқты жаңа радиожелілердің дамуына алып келді. Бұл желілер үлкен қашықтықтарға деректерді беруді қамтамасыз ету үшін, бірақ өте аз энергия жұмсайтын құрылғыларды қолдайды. Мұндай желілер төмен жиіліктегі диапазондарды пайдаланады, бұл оларды батареямен жұмыс істейтін құрылғыларға, мысалы, ақылды үй жүйелері, экологиялық датчиктер және мониторинг құрылғылары үшін өте ыңғайлы етеді.

### **Алдағы болжамдар мен мүмкіндіктер**

IoT технологиясының дамуы болашақта радиоқатынастар жүйелерін одан әрі жетілдіруге ықпал етеді. Бұл тұрғыда 5G және оның кейінгі

нұсқаларының интеграциясы маңызды рөл атқарады. 6G желісі жоғары жылдамдықты деректерді беру, жақсартылған байланыс тығыздығы және кеңейтілген жиілік диапазоны сияқты мүмкіндіктерді қамтамасыз етеді. Бұл өз кезегінде IoT-тің автокөліктер, өндіріс, денсаулық сақтау және қалалық инфрақұрылым сияқты салаларда қолданылуын кеңейтеді.

Сонымен қатар, болашақта IoT жүйелерінде қызмет көрсету сапасын арттыру үшін интеллектуалды басқару жүйелерін және бейімделген алгоритмдерді қолдану кеңінен дамиды. Осылайша, IoT желілері тек қана құрылғылардан келген сұраныстарға жауап беріп қана қоймай, жүйелік ресурстарды қалай бөлу керектігі, байланыс сапасын қалай жақсарту және кідірістерді азайту бойынша шешімдер қабылдайтын болады.

**Кесте 1. IoT үшін әртүрлі технологиялардың сипаттамаларын салыстыру**

| Параметр                   | LoRaWAN                        | Sigfox                         | NB-IoT                          | 5G                              |
|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Қосылу қашықтығы           | 15 км дейін                    | 50 км дейін                    | 10 км дейін                     | 100 км дейін                    |
| Энергия тұтыну             | төмен                          | төмен                          | өте төмен                       | орташа                          |
| Деректерді беру жылдамдығы | төмен                          | төмен                          | орташа                          | жоғары                          |
| Құрылғылардың қосылуы      | 10,000 құрылғы/км <sup>2</sup> | 50,000 құрылғы/км <sup>2</sup> | 100,000 құрылғы/км <sup>2</sup> | миллион құрылғы/км <sup>2</sup> |
| Қатынасу түрі              | біржақты                       | біржақты                       | екіжақты                        | екіжақты                        |

Қорытындылай келе, IoT технологиясы радиоқатынастар жүйесіне терең әсер етеді және оның эволюциясына маңызды ықпал жасайды. Бұл технология жаңа стандарттар мен шешімдерді талап етеді, сондай-ақ байланыс жүйелерінің қауіпсіздігін, тиімділігін және энергия үнемдеуін арттыру міндетін қойып отыр. Болашақта 5G және 6G жүйелерімен біріктірілген сымсыз байланыс технологиялары IoT құрылғыларын қолдауға ықпал етеді, сондай-ақ ақылды қалалар мен автономды көлік құралдары сияқты салаларда кеңінен қолданылатын болады.

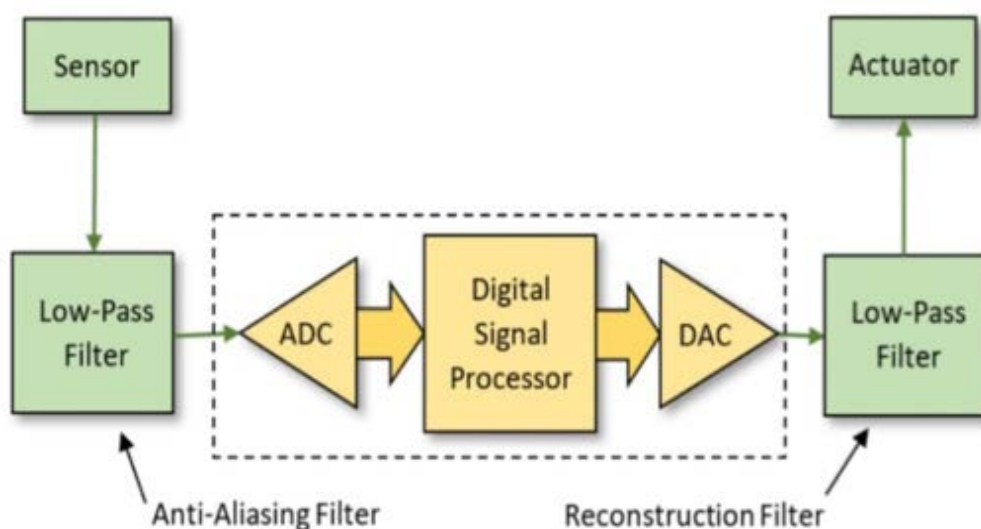
#### Қолданылған әдебиеттер

1. Журавлев, И. В. (2019). *Интернет вещей: принципы, технологии и перспективы развития*. Москва: Научное издание.
2. Шевченко, А. А. (2020). *5G и интернет вещей: вызовы и решения для радиосетей*. Киев: Техникалық баспа.
3. Беляев, С. С., & Сидоров, В. П. (2021). *Технологии интернета вещей в современных системах связи*. Санкт-Петербург: Издательство «Радио и связь».
4. Ким, Ч. Ю. (2022). *Будущее мобильных сетей: от 5G к 6G и IoT*. Алматы: Қазақ университеті.

## ЭЛЕКТРОНДЫҚ БАЙЛАНЫС ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ ЦИФРЛЫҚ СИГНАЛДАРДЫ ӨНДЕУ ӘДІСТЕРІ

Қазіргі ақпараттық қоғамда электрондық байланыс жүйелері адам өмірінің барлық салаларында маңызды рөл атқарады. Деректерді жоғары жылдамдықпен, сапалы және сенімді түрде жеткізу қажеттілігі цифрлық технологиялардың қарқынды дамуына алып келді. Осы тұрғыда цифрлық сигналдарды өңдеу әдістері телекоммуникациялық жүйелердің тиімді жұмыс істеуінің негізгі элементтерінің бірі болып табылады.

Цифрлық сигналдарды өңдеу – аналогтық сигналдарды цифрлық формаға түрлендіру, оларды кодтау, сүзгілеу, қысу және қалпына келтіру процестерінің жиынтығы. Бұл әдістер байланыс арналары арқылы ақпаратты аз шығынмен жеткізуге және кедергілердің әсерін төмендетуге мүмкіндік береді. Электрондық байланыс жүйелерінде сигналдарды өңдеу ақпарат сапасын жақсартып қана қоймай, желінің өткізу қабілетін тиімді пайдалануға жағдай жасайды.



Сурет 1 – Сандық сигналдарды өңдеу жүйесі

Цифрлық сигналдарды өңдеудің алғашқы кезеңі – дискреттеу және кванттау. Дискреттеу кезінде үздіксіз сигнал уақыт бойынша белгілі бір аралықтарда өлшенеді, ал кванттау барысында сигнал амплитудасы деңгейлерге бөлінеді. Бұл процестер нәтижесінде сигнал цифрлық код түрінде ұсынылады. Аналогтық-цифрлық түрлендіргіштердің сапасы берілетін ақпараттың дәлдігіне тікелей әсер етеді.

Қазіргі байланыс жүйелерінде сигналдарды қысу технологиялары кеңінен қолданылады. Бейне және дыбыс ақпаратын беру кезінде деректер

көлемін азайту желінің жүктемесін төмендетеді. Қысу алгоритмдері ақпараттың маңызды бөлігін сақтай отырып, артық мәліметтерді жояды. Бұл онлайн бейнеқоңыраулар, сандық теледидар және мультимедиялық қызметтердің тиімді жұмыс істеуіне мүмкіндік береді.

Цифрлық сигналдарды өңдеу әдістері ақпараттық қауіпсіздік мәселелерін шешуде де қолданылады. Шифрлау алгоритмдері деректерді қорғауға бағытталған. Электрондық байланыс жүйелеріндегі ақпарат алмасу кезінде құпиялылықты сақтау маңызды талаптардың бірі болып табылады.

Қорытындылай келе, цифрлық сигналдарды өңдеу әдістері электрондық байланыс жүйелерінің негізін құрайды. Олар ақпаратты сенімді жеткізуге, арна ресурстарын үнемдеуге және байланыс сапасын арттыруға мүмкіндік береді. Болашақта жасанды интеллект, үлкен деректер талдауы және жоғары жылдамдықты желілердің дамуы бұл саланың одан әрі жетілдірілуіне ықпал етеді.

*Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:*

Digital Signal Processing: Principles, Algorithms and Applications / A. V. ЦOppenheim, R. W. Schafer. — Pearson Education, 2014.

Understanding Digital Signal Processing / Richard G. Lyons. — Pearson, 2011.

Digital Communications / John G. Proakis, Masoud Salehi. — McGraw-Hill Education, 2008.

International Telecommunication Union. Telecommunication Standardization Sector (ITU-T) ұсыныстары мен стандарттары.

## ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТТІҢ БІЛІМ САЛАСЫНА ОҢ ЖӘНЕ ТЕРІС ӘСЕРЛЕРІ

Білім берудегі жасанды интеллект(ЖИ) бұл өзекті тақырып, өйткені технологиялар дамып, зерттеулер көбейіп келеді. Ол оқыту процесін жеңілдетіп, білім беру бағдарламаларын оқушылардың/оқытушылардың сұраныстарына сай бейімдейді. Яғни, білім беруде оқу процесін ұйымдастырудың сипатын өзгертуге мүмкіндік береді. Одан бөлек ЖИ білім беру саласында қазіргі кезде экзамен өткізу, оқушылардың жұмыстарын тексеру, кері байланыс беру, және т.б сияқты жұмыстар атқарып жатыр. Алайда, қаншалықты пайдасы болғанмен, теріс жақтары да бар. Бұл тезис ЖИ-нің білім беру саласына оң және теріс әсерлерін талқылайтын болады.

Қазіргі таңда ЖИ күннен күнге дамып келе жатыр. Оның жаңа түрлері шығарылып, оларға деген сұраныстар да көбейіп жатыр. Уақыт өткен сайын әртүрлі салаларға ЖИ-ні қолдану енгізіліп жатыр, ол салалардың ішінде оқу саласы да бар.

ЖИ пайда болғалы білім беру саласына үлкен өзгерістер енгізіп, көптеген мүмкіндіктерді қолжетімді қылдырды. Ең басты артықшылықтарының бірі ертерек айтылғандай ол – жекелендірілген оқыту. ЖИ оқушылардың қабілеттері мен деңгейлеріне сай әрқайсысына жеке оқу бағдарламасын, жоспарын құрай алады. Білім беру бағдарламалары көбінесе қарапайым үлгерімдері бірқалыпты орташа оқушыларға арналған болса, бұл ЖИ беретін мүмкіндік үлгерімдері төмен немесе дарынды оқушыларға әсіресе көп пайда әкеледі. Себебі ондай оқушылар мен қарапайым оқушылар арасында айырмашылық көп және олардың білім деңгейлері білім бағдарламасына сәйкес келмейуі мүмкін.

Келесі ЖИ-дің маңызды артықшылығы - оқу материалдарының меңгерілуінің жеңілдететіндігі. Кейде, оқушының үлгерілімі төмендеп, ол оқу бағдарламасынан қалып, немесе сабақ түсінбей жүрген жағдайларда ЖИ оқытушының орнын басып, оқушыға үлгерімімен мәселелерін шешіп бере алады. ЖИ - өте функциясы көп технология. ЖИ-дің мүмкіндіктері оқу материалдарын конспектілеп беруден бастап берілген сипатқа қарай қажетті суретті генерациялап беруге дейін барады. Ол кез келген қолданушының сұранысын орындап бере алады. Осы ЖИ-дің қасиетін оқушылар барынша пайдалануға тырысса, көптеген пайдаларға қол жеткізеді.

Сонымен қатар, ЖИ оқушыларға өз бетімен білім алуға да мүмкіндік береді. Қазіргі таңда көптеген платформалар, соның ішінде Duolingo, Khan

Academy және т.б ЖИ-ді қолданып, оқушыларға жеке оқу әдістерін, жоспарларын ұсынады.

Жалпы ЖИ-дің мүмкіндіктерінде шектеулер аз, немесе мүлдем жоқ. Сондықтан оның тиімділігі пайдаланушының қаншалықты оны пайдалану білетініне қарай бағаланады.

Зиянды жақтары қараластырылса, олардың ішінде ең теріс әсер әкелетін кемшіліктердің бірі ол оқушылардың жұмыстарды өз беттерімен істеуге икемсізденулері. Яғни, оқытушылар тарапынан берілетін тапсырмаларды оқушылар ЖИ арқылы істеуді әдет қылып алып, кейіннен ЖИ-ге осы мәселеде (тапсырма орындау) толығымен сеніп алады. Кейін олардың ЖИ-ге сеніп алғандықтарынан олар әртүрлі экзамендерге де дайындықтарды тоқтатып, экзамен барысында академикалық әділетсіздікті көрсетіп, экзамендерден өту үшін де ЖИ-ді қолдана бастайды. Бұл типтегі оқушылар кітап оқу, терең өздігінен зерттеу секілді білім саласындағы оқушы үшін маңызды істерді істеуге икемсіз болады. Бұл істерге икемсіздік кейін оқушының оқу үлгеріміне және болашағына теріс әсерін әкеледі. Осы тенденцияны тоқтату үшін оқушыларға дұрыс бағыт-бағдар беріп, оларға көптеген жасанды интеллектті дұрыс пайдалану жайлы ескертулер айтылып тұру қажет.

ЖИ-дің толығымен оқытушылардың орнын басып алу қаупі да мәселе болып саналады. Қазіргі таңда ЖИ өте жылдам дамып жатқандықтан, оқытушылардың болашақта керек емес болып қалу жағдайы шындыққа айналуға ықтималдылығы жоғарылай түседі. Үстіде айтылғандай, қазірдің өзінде “Knewton” сияқты ЖИ-дің жекелендірілген оқыту деген сияқты қабілеттері бар. Coursera, EdX және Udacity деген сияқты ЖИ-лерде тест және эсселерді тексертіп, оларды бағалау мүмкіндіктері бар. Бұл сияқты мысалдар оқытушылардың жұмыстары қауіп астында екенін көрсетеді.

Қорытындылай келе, ЖИ-дің білім беру саласына әсері екіжақты. Ол оқыту процесін жеңілдеткенмен, ЖИ-дің шамадан тыс қолданылуы білім беру саласына теріс әсерлерін әкелуі мүмкін. ЖИ тек көмекші құрал екенін оқушыларға да, оқытушыларға да ұмытпаған жөн. Сондықтан, ЖИ-ді білім саласында дұрыс пайдаланып, оның зиянды әсерлерінің болуын алдын алып, барынша азайту маңызды. Пайдаланушы қаншалықты ЖИ-ді дұрыс пайдаланып, қауіптерін, теріс жақтарын білсе, соншалықты ЖИ тиімді болып, оң әсерлерін әкеледі.

*Қолданылған әдебиеттер:*

1.Шобонов Н.А., Булаева М.Н., & Зиновьева С.А. (2023). ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ОБРАЗОВАНИИ. Проблемы современного педагогического образования, (79-4), 288-290. <https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyy-intellekt-v-obrazovanii-1>

2.Дробахина А.Н.(2021). ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ: ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ. Проблемы современного педагогического образования, (70-1), 125-128. <https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionnye-tehnologii-v-obrazovanii-iskusstvennyy-intellekt>

## ПЕРЕДАЧА ЭНЕРГИИ В РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

Передача энергии с использованием электромагнитной индукции является одним из фундаментальных физических принципов, широко применяемых в современной электротехнике и электронике. Данный метод основан на явлении наведения электродвижущей силы (ЭДС) в проводнике при изменении магнитного потока, пронизывающего замкнутый контур. Явление электромагнитной индукции было открыто М. Фарадеем и легло в основу работы трансформаторов, электрических машин и систем беспроводной передачи энергии.

Основной физический закон, описывающий процесс индукции, выражается законом Фарадея:

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi}{dt}$$

где

$\varepsilon$  — индуцированная ЭДС,

$\Phi$  — магнитный поток,

$t$  — время.

Магнитный поток, в свою очередь, определяется выражением:

$$\Phi = B * S * \cos\alpha$$

где

$B$  — магнитная индукция,

$S$  — площадь контура,

$\alpha$  — угол между вектором магнитной индукции и нормалью к поверхности.

Из приведённых формул следует, что для передачи энергии необходимо обеспечить изменение магнитного потока, которое достигается за счёт переменного тока в передающей катушке. Переменный ток создаёт переменное магнитное поле, которое индуцирует ЭДС во вторичной (приёмной) катушке, тем самым передавая энергию без прямого электрического контакта.

Одним из наиболее наглядных примеров практического применения электромагнитной индукции является беспроводная зарядка мобильных устройств. В таких системах передающая катушка, подключённая к источнику переменного тока, создаёт переменное магнитное поле. При размещении смартфона на зарядной платформе это поле наводит ЭДС в



приёмной катушке устройства, после чего энергия преобразуется в постоянный ток для зарядки аккумулятора.

Ещё одним примером являются индукционные зарядные системы для электрических зубных щёток и медицинских приборов, где отсутствие открытых контактов повышает безопасность и защищённость от влаги. Аналогичный принцип используется в индукционных плитах, где энергия передаётся непосредственно к посуде за счёт вихревых токов.

Эффективность передачи энергии при электромагнитной индукции зависит от расстояния между катушками, коэффициента магнитной связи и частоты переменного тока. С увеличением расстояния магнитное поле ослабевает, что приводит к снижению КПД, поэтому такие системы наиболее эффективны на малых расстояниях.

Таким образом, электромагнитная индукция выполняет ключевую функцию передачи энергии без физического соединения проводников. Данный принцип обеспечивает удобство, безопасность и надёжность, что делает его перспективным для дальнейшего развития беспроводных технологий питания и автоматизированных электронных систем.

*Список использованной литературы:*

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Том 2. Электричество и магнетизм. – М.: Наука, 2019.
2. Sadiku M. N. O. *Elements of Electromagnetics*. – Oxford University Press, 2018.

## ШУМ В ЭЛЕКТРОННЫХ ЦЕПЯХ И РОЛЬ ЦИФРОВЫХ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ

Развитие современных телекоммуникационных систем определяется не только совершенствованием аппаратуры, но и фундаментальными законами физики. Одним из главных факторов, ограничивающих характеристики систем связи, является шум.

Шум присутствует во всех электронных устройствах независимо от качества изготовления и схемотехнических решений. Он возникает даже при полном отсутствии входного сигнала и обусловлен тепловым движением носителей заряда в проводниках.

В радиосвязи шум определяет большое количество факторов, существенно влияющих на работу телекоммуникационных систем, таких как чувствительность приёмников, дальность связи, вероятность ошибки и скорость передачи информации

Следовательно, исследование природы шума и методов борьбы с ним является одной из базовых задач радиотехники и телекоммуникаций.

Физическая природа теплового шума заключается в том, что тепловое движение электронов в проводнике приводит к случайным флуктуациям напряжения на сопротивлении, которые называются и называется тепловым шумом.

Среднеквадратичное значение шумового напряжения определяется выражением:

$$U_{\text{ш}} = \sqrt{4kTR\Delta f} \quad (1)$$

где  $R$  – сопротивление,  $\Delta f$  - полоса частот наблюдения.

Таким образом, шум зависит только от физических параметров системы и не может быть устранён техническими средствами.

Качество передачи определяется SNR — отношением сигнал/шум:

$$SNR = \frac{P_c}{P_{\text{ш}}} \quad (2)$$

откуда следует, что увеличение мощности передатчика и скорости передачи не дадут ожидаемого эффекта.

По этой причине развитие радиосвязи пошло по пути цифровой обработки сигнала.

Современный этап развития радиосвязи связан с использованием методов машинного обучения. Для этого в основном применяются:

нейросетевые демодуляторы, когнитивное радио, интеллектуальная фильтрация.

Подобные системы анализируют спектр, выбирают свободную частоту и восстанавливают сигнал статистическими методами.

Таким образом, передаётся не энергия сигнала, а информация о вероятности его формы.

В нашей работе была рассмотрена возможность восстановления сигнала ниже уровня шума. Для этого в программной среде Python смоделирован канал связи с аддитивным белым гауссовским шумом (AWGN), исследована зависимость вероятности ошибки от отношения сигнал/шум (SNR), предложены цифровые методы подавления шума посредством различных алгоритмов.

На рисунке 1 представлена зависимость вероятности битовой ошибки BER от отношения сигнал/шум SNR без цифровой обработки.

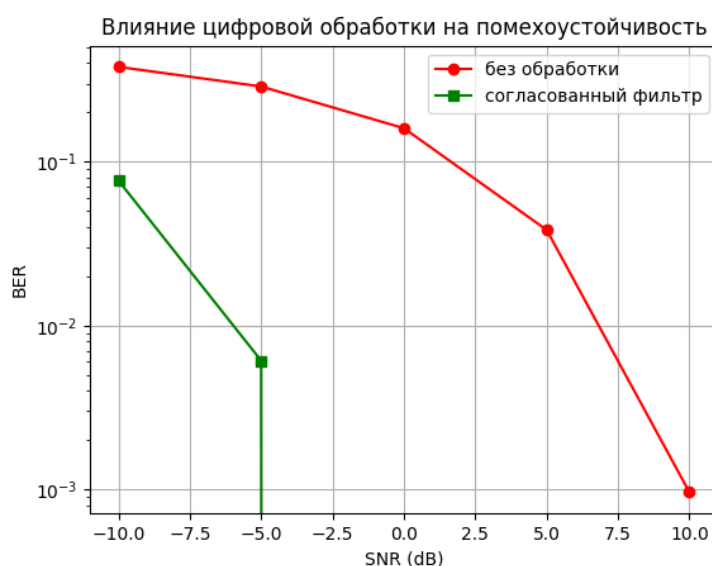


Рисунок 1

Таким образом, в работе показано, за счёт цифровых методов возможно восстановление сигнала при низком отношении сигнал/шум. Это свидетельствует о переходе телекоммуникаций от энергетического принципа передачи к информационно-статистическому.

#### Использованная литература

1. Скайлер Б. Цифровая связь: теоретические основы и практическое применение. — М.: Вильямс, 2016.
2. Прокис Дж. Цифровые коммуникации. — М.: Радио и связь, 2000.
3. Рябухин В.П., Титов В.В. Основы цифровой обработки сигналов. — СПб.: БХВ-Петербург, 2014.

## САНДЫҚ ТЕЛЕДИДАР ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ БЕЙНЕҚЫСУ СТАНДАРТТАРЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІ

Сандық теледидар жүйелеріндегі бейнеқысу стандарттарының тиімділігі қазіргі телекоммуникация және ақпараттық технологиялар саласының ең өзекті бағыттарының бірі болып табылады. Сандық теледидардың дамуы мультимедиялық контент көлемінің артуымен тығыз байланысты. Жоғары айқындықтағы (HD), Full HD, 4K және 8K форматтағы бейнелердің кеңінен таралуы деректер ағынының бірнеше есе өсуіне алып келді. Егер мұндай бейнелер қысусыз таратылатын болса, онда байланыс арналарының өткізу қабілеті жеткіліксіз болып, сақтау құрылғыларының жады тез толып қалар еді. Сондықтан бейнеқысу стандарттары сандық теледидар жүйесінің ажырамас бөлігіне айналды.



Сурет 1 – Сандық теледидар жүйелеріндегі бейнеқысу стандарттарының тиімділігі

Бейнеқысу дегеніміз – бейнеақпарат құрамындағы артық, қайталанатын және адам көзіне байқалмайтын мәліметтерді жою арқылы деректер көлемін азайту процесі. Бейне – бұл секундына ондаған кадрлардан тұратын динамикалық кескіндер жиынтығы. Әрбір кадр миллиондаған пиксельден құралады және олардың көпшілігі көршілес кадрларда өзгеріссіз қалады. Осы ерекшелікті пайдалана отырып, қысу алгоритмдері кеңістіктік және уақыттық артықтықты жояды. Кеңістіктік қысу бір кадр ішіндегі ұқсас аймақтарды өңдесе, уақыттық қысу кадрлар арасындағы айырмашылықтарды ғана кодтайды.

Кейінгі буын стандарттарының ішінде H.264/AVC ерекше орын алады. Бұл стандарт MPEG-2-мен салыстырғанда бірдей сапада шамамен екі есе аз битрейт қолдануға мүмкіндік берді. Оның тиімділігі қозғалысты болжаудың жетілдірілген алгоритмдерімен, айнымалы блок өлшемдерін қолданумен және энтропиялық кодтаудың заманауи әдістерімен түсіндіріледі. H.264 стандарты эфирлік сандық теледидарда, IPTV жүйелерінде және интернет арқылы бейне таратуда кеңінен қолданыс тапты. Нәтижесінде операторлар бір жиілік жолағында көбірек арна тарату мүмкіндігіне ие болды.

Сандық теледидар жүйелеріндегі бейнеқысу стандарттарының дамуы ақпараттық қоғам талаптарына сәйкес үздіксіз жетілдіріліп келеді. Қазіргі уақытта интернет-теледидар, мобильді құрылғылар және стримингтік платформалар бейнеқысу технологияларының сапасына тікелей тәуелді. Тиімді стандарттар пайдаланушыларға жоғары сапалы бейнені төмен жылдамдықтағы желілерде де көруге мүмкіндік береді.

Қорытындылай келе, сандық теледидар жүйелеріндегі бейнеқысу стандарттарының тиімділігі сапа мен битрейт арасындағы оңтайлы тепе-теңдікпен анықталады. Бейнеқысу технологиялары телекоммуникация саласының дамуына серпін беріп, ақпаратты тарату мүмкіндіктерін кеңейтеді.

#### *Пайдаланылған әдебиеттер тізімі*

1. Гольдштейн Б. С. Основы цифрового телевидения и видеокодирования. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2015.
2. Әбдіқадыров А. Қ. Сандық теледидар негіздері. – Алматы: Қазақ университеті, 2014.
3. Омаров Т. С. Бейнесигналдарды өңдеу және қысу технологиялары. – Алматы: Эверо, 2016.
4. Қалиев Е. Н. Телекоммуникация жүйелері. – Алматы: Білім, 2018.

## ЭЛЕКТРОТЕРМИЯДАҒЫ КРЕМНИЙ ТЫҒЫЗДЫҒЫ

Кристалдық кремний өндірісінде электроурлеу процесінің температураларындағы металл тығыздығы өте маңызды. Қалыпты жағдайда кремнийдің тығыздығы  $2,33 \text{ г/см}^3$  құрайды. Зерттеулер температура критикалық мәндерге дейін ( $2000^\circ\text{C}$ -тан жоғары) көтерілген сайын тығыздықтың  $2,57 \text{ г/см}^3$ -ке дейін аномальды түрде төмендейтінін көрсетеді. Дегенмен, процесті егжей-тегжейлі қарастырсақ, кремний тығыздығының градиенттік өсуі тек  $1414^\circ\text{C}$  температурадағы кремнийдің балқу температурасына сәйкес келетін өте тар аймаққа ғана тән. Одан әрі өсу

Температура ( $1441^\circ\text{C}$  жоғары) реакция тигелі кезіндегі доғалық разряд температураларында тығыздықтың  $2,33 \text{ г/см}^2$ -ден төмен мәндерге дейін біртіндеп төмендеуіне әкеледі. Процесті толығырақ талдау үшін кремний диоксидінің көміртекпен тотықсыздану шарттарын ескеру қажет. Бұл жоғары температуралы эндотермиялық реакция  $1600\text{-}1700^\circ\text{C}$  температурада басталады - тотықсызданудың алғашқы белгілері (аздап  $\text{SiO}_2$  және  $\text{CO}_2$  түзіледі),  $1800\text{-}1900^\circ\text{C}$  - реакция айтарлықтай қарқынды болады,  $\text{SiO}_2$  белсенді түрде  $\text{SiO}_2$ -ге (газ және  $\text{Si}$ ) дейін тотықсызданады.  $1900^\circ\text{C}$  жоғары температурада негізгі металл кремнийге дейін тотықсыздану жүреді [1]. Электр пешінің тигелыінде элементар кремнийдің пайда болуы  $1800\text{-}2000^\circ\text{C}$  температурада мүмкін. Бұл кремнийдің балқу температурасы  $1414^\circ\text{C}$ -тан айтарлықтай жоғары ( $400\text{-}600^\circ\text{C}$ -қа). Кремний балқу температурасынан айтарлықтай жоғары қызады және мұндай жағдайларда тығыздықтың градиенттік жоғарылауы мүмкін емес. Доғалық электротермия  $5000^\circ\text{C}$  дейінгі температурамен сипатталады. Егер біз  $2500^\circ\text{C}$  медианалық мәнін алсақ, онда эмпирикалық формула бойынша: кремнийдің тығыздығы  $2,26 \text{ г/см}^2$ -ден  $2,16 \text{ г/см}^2$ -ге дейін болады.

Кремний өндірісі қожының тән ерекшелігі - оның кремниймен салыстырғанда тығыздығының жоғары болуы: кремний үшін  $2,33 \text{ г/см}^3$ -ке қарсы  $2,84\text{--}2,9 \text{ г/см}^3$ . Демек, RTP жұмысы тұрақты бағыттан ауытқыған кезде, қож пештің түбіне түсіп, температурасы  $1600^\circ\text{C}$  дейін жететін түбі шөгіндісін түзеді [2]. Кремний мен қождың доғалық қайта балқыту температураларындағы тығыздықтарын салыстыру қождың тығыздығы металдың тығыздығынан 4 есеге асатынын көрсетеді  $17\%$ , ең төменгі қож тығыздығы  $2,35 \text{ г/см}^3$ .

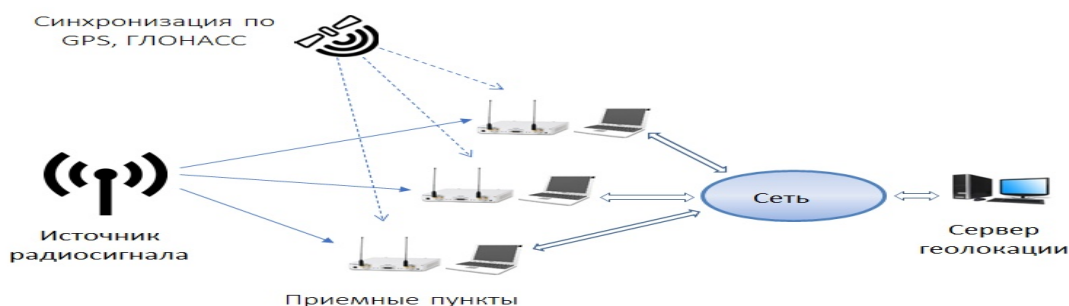
*Пайдаланылған дереккөздер тізімі*

1. Гасик, М. Ферроқорытпалар анықтамалығы: теория және технология // Оксфорд: Баттерворт-Хайнеманн, 2013. - 536 б.

2. Немчинова Н.В., Бузикова И.А. Кремний пешінің қождарының фазалық-химиялық құрамын зерттеу

## ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯ САЛАСЫНДАҒЫ РАДИОЛОКАЦИЯ

Радиолокация – радиотолқындардың көмегімен объектілердің орнын, қашықтығын, жылдамдығын және қозғалыс бағытын анықтауға мүмкіндік беретін заманауи технологиялардың бірі болып табылады. Радиолокациялық жүйелер авиацияда, теңіз навигациясында, әскери техникада, метеорологияда және ғарыштық зерттеулерде кеңінен қолданылады. Қазіргі цифрлық телекоммуникация жүйелерінің дамуымен бірге радиолокациялық құрылғылардың дәлдігі мен сенімділігі айтарлықтай артты.



Сурет 1 - Радиолокация

Радиолокацияның негізгі принципі электромагниттік толқындардың таралу қасиеттеріне негізделеді. Радиолокатор арнайы генератор арқылы жоғары жиілікті радиосигналды сәулелендіреді. Бұл сигнал кеңістікте таралып, қандай да бір объектіге соғылған кезде шағылып қайта қабылдағыш антеннаға оралады. Қайтарылған сигналдың кешігу уақыты бойынша объектіге дейінгі арақашықтық есептеледі.

Қашықтықты анықтау формуласы радиотолқындардың жарық жылдамдығымен таралуына негізделеді. Сигналдың жіберілу және қабылдану уақыты арасындағы айырмашылық өлшеніп, ол екіге бөлінеді, себебі толқын объектіге дейін барып қайта қайтады. Осылайша радиолокациялық станциялар бірнеше жүз километр қашықтықтағы нысандарды анықтай алады.

Радиолокациялық жүйенің негізгі элементтеріне таратқыш, қабылдағыш, антенна, сигналдарды өңдеу блогы және ақпаратты көрсету құрылғылары жатады. Таратқыш қысқа импульстік немесе үздіксіз сигналдарды генерациялайды. Антенна сигналды кеңістікке бағыттайды және шағылған толқынды қабылдайды.

Қабылдағыш жүйе әлсіз шағылған сигналдарды күшейтіп, шудан ажыратады. Заманауи радиолокаторларда цифрлық сигналдарды өңдеу әдістері кеңінен қолданылады. Арнайы алгоритмдер кедергілерді азайтып,

жалған сигналдарды жоюға мүмкіндік береді. Бұл әсіресе ұшақтарды басқару немесе ауа райын бақылау жүйелерінде маңызды.

Радиолокацияда Доплер эффектісі кеңінен пайдаланылады. Егер объект қозғалыста болса, қайтарылған сигнал жиілігі өзгереді. Осы өзгерісті өлшеу арқылы объектінің жылдамдығын анықтауға болады. Мұндай принцип жол полициясының жылдамдық өлшегіш құрылғыларында және әскери радарларда қолданылады.

Қазіргі радиолокациялық жүйелер фазалық антенналық торлар технологиясын қолданады. Бұл әдіс механикалық бұрылусыз сәуле бағытын электронды түрде өзгертуге мүмкіндік береді. Нәтижесінде бірнеше нысанды бір уақытта бақылау мүмкіндігі артады.

Метеорологиялық радиолокаторлар бұлттардың қозғалысын, жауын-шашын қарқындылығын және дауылдардың пайда болуын алдын ала анықтайды. Ал авиациялық радиолокация әуе кемелерінің қауіпсіз ұшуын қамтамасыз етеді. Теңіз радиолокациясы кемелердің соқтығысу қаупін азайтуға көмектеседі.

Радиолокациялық жүйелердің артықшылықтарына үлкен қашықтықта жұмыс істеуі, тәулік уақытына тәуелсіздігі және ауа райы жағдайларына салыстырмалы тұрақтылығы жатады. Дегенмен радиокедергілер, энергия шығыны және күрделі құрылым сияқты кемшіліктері де бар.

Қорытындылай келе, радиолокациялық жүйелер қазіргі телекоммуникация және қауіпсіздік саласының маңызды бөлігі болып табылады. Сандық өңдеу технологиялары мен жасанды интеллект элементтерін енгізу радиолокацияның мүмкіндіктерін одан әрі кеңейтуде. Болашақта автономды көлік, ғарыштық мониторинг және Smart City жобаларында радиолокациялық технологиялардың рөлі арта түседі.

**Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:**

- 1.Скляр Б. Цифрлық байланыс негіздері. – Мәскеу: Вильямс, 2016.
- 2.Skolnik M. Radar Handbook. – New York: McGraw-Hill Education, 2008.
- 3.Richards M. Fundamentals of Radar Signal Processing. – New York: McGraw-Hill, 2014.
- 4.ҚР байланыс және телекоммуникация стандарттары. – Астана, 2020.
- 5.Haykin S. Communication Systems. – John Wiley & Sons, 2001.



## ШУМ В РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ И СПОСОБЫ ЕГО СНИЖЕНИЯ

В радиотехнических и телекоммуникационных системах передача информации всегда сопровождается воздействием шумов и помех. Шум является одним из основных факторов, ограничивающих качество приёма и надёжность передачи сигналов. Его наличие приводит к искажению полезной информации, снижению отношения сигнал/шум и увеличению вероятности ошибок. В связи с этим изучение видов шумов и методов их снижения является важной задачей современной радиотехники.

Целью данного тезиса является рассмотрение основных видов шумов в радиотехнических системах и анализ наиболее распространённых способов уменьшения их влияния.

Шумом называют случайные электрические колебания, не несущие полезной информации и накладывающиеся на сигнал. Источники шумов делятся на внутренние и внешние.

К внутренним шумам относятся шумы, возникающие в электронных компонентах радиотехнических устройств. Основным из них является тепловой шум, обусловленный тепловым движением носителей заряда. Он присутствует во всех элементах и не может быть полностью устранён. Также распространён шот-шум, связанный с дискретной природой электрического тока в полупроводниковых приборах, и фликкер-шум, характерный для низких частот.

К внешним шумам относят атмосферные помехи, промышленные наводки и электромагнитные излучения от других устройств. В условиях городской застройки уровень таких шумов значительно возрастает.

Наличие шумов приводит к ухудшению параметров радиотехнических систем. Основным показателем является отношение сигнал/шум, которое определяет качество приёма. При его снижении в аналоговых системах наблюдаются искажения и фоновый шум, а в цифровых — увеличение вероятности ошибок при передаче данных. Это снижает надёжность и эффективность систем связи.

Для уменьшения воздействия шумов применяются различные методы. Одним из основных является фильтрация, позволяющая подавлять шумы вне полосы полезного сигнала. Широко используются полосовые и низкочастотные фильтры.

Важную роль играет экранирование и заземление, которые снижают влияние внешних электромагнитных помех. Также применяются малошумящие усилители, особенно во входных каскадах приёмников, что позволяет улучшить общее отношение сигнал/шум.

В цифровых системах эффективными являются методы кодирования и коррекции ошибок, позволяющие обнаруживать и исправлять искажения, вызванные шумом. Дополнительно используется усреднение сигналов, снижающее влияние случайных помех.

Шум является неотъемлемой частью радиотехнических систем и существенно влияет на качество передачи информации. Несмотря на невозможность полного устранения шумов, применение фильтрации, экранирования, малошумящих элементов и цифровых методов обработки сигналов позволяет значительно уменьшить их влияние. Это обеспечивает повышение надёжности и эффективности современных систем радиосвязи и телекоммуникаций. устройств

*Список использованной литературы:*

- 1.Скляр Б. Цифровая связь. Основы и практическое применение / Б. Скляр ; пер. с англ. — М. : Вильямс, 2016. — 1104 с.
- 2.Прокис Дж. Цифровая связь / Дж. Прокис ; пер. с англ. — М. : Радио и связь, 2000. — 800 с.
- 3.Левин Б. Р. Теоретические основы радиотехники : учеб. пособие / Б. Р. Левин. — М. : Радио и связь, 1989. — 528 с.
- 4.Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы : учебник для вузов / И. С. Гоноровский. — М. : Дрофа, 2006. — 512 с.
- 5.Куликов А. В., Смирнов В. И. Шумы и помехи в системах связи : учеб. пособие / А. В. Куликов, В. И. Смирнов. — М. : Горячая линия – Телеком, 2012. — 256 с.
- 6.Haykin S. Communication Systems / S. Haykin. — 5th ed. — New York : John Wiley & Sons, 2009. — 928 p.
- 7.Couch L. W. Digital and Analog Communication Systems / L. W. Couch. — 8th ed. — Boston : Pearson, 2013. — 896 p., 2025.

## ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТТІҢ ЖОҒАРЫ БІЛІМ ЖҮЙЕСІНЕ ӘСЕРІ: ҰМТЫЛЫС ПА, ӘЛДЕ ТОҚЫРАУ МА?

Бұл тезисте «Жасанды интеллекттің» жоғары білім берудегі студенттердің білім алуына тигізетін әсерлері жөнінде қозғалады. Оңтайлы технологияның аса үлкен ауқым алуы жас буынның келешектегі білімі мен дағдыларына қаншалықты өзгеріс жасайтыны талқыланады.

Жасанды интеллект (ЖИ) – бүгінгі кездегі ең тез әрі қарқынды дамып келе жатқан технологиялардың бірі. Ол күнделікті өмірдің сан алуан салаларына, әсіресе білім беру жүйесіне үлкен әсерін беруде. Көбімізге белгілі ЖИ-нің күллі жаһанға пайдасы расыменде орасан зор екенін талай зерттеуші, ғалымдар растағандығы барша әлемге мәлім. Ал оның жоғары оқу орнындағы атқаратын рөлі мен әсері санаға күдік тудыртады.

Әрине, ЖИ жоғары білім беру саласында жекелендірілген оқытуды қалыптастыруға, оқытушылардың жұмысын оңтайландыруға, ақпарат көздеріндегі қолжетімділікке жол ашты. Алайда жоғары оқу орындарындағы студенттерге кері әсері көптеп білініп жатқандығы жасырын емес. Кез келген тапсырманы, жұмысты бір мезетте орындап беретін бұл технология, студенттердің сыни және шығармашылық ойлау қабілеттері, әрі қызығушылықтарының дамуын тежелуіне алып келуі мүмкін.

Жоғарыда келтірілгендей ЖИ жоғары оқу орындарында болып жатқан көптеген процесстердің атқарылуына аса қатты әсер етуде. Мәселен, автоматтандырылған бағалау жүйелері студенттердің жұмыстарын бағалауда әділдікке, бір жағынан оқытушылардың уақытын үнемдеуге қол жеткізді. Сондай-ақ виртуалды кеңесшілер студенттерге кез келген оқу материалдарын оңай табуға, әрі ақпараттарды дұрыс сұрыптауға, өзі қалаған оқу траекториясын құруға жол ашты. Бұл аталғандар, әлбетте білімге деген қолжетімділікті дамытады, бірақ оның студенттердің өзіндік ойлау қабілеттеріне әсері қандай? – деген сауал туындайды.

Жасанды интеллект күн сайын даму үстінде, ал студенттер басқада ЖИ қолданушылары секілді осы технологияның мүмкіндіктерін барынша пайданып қалуды көздейді. Атап айтқанда өзіндік, курсттық, шығармашылық, лабараторлық, бақылау және т. б. жұмыстарын, тіпті эссе және есепке дейін ЖИ-тен дайын жауапты алуды жөн көреді. Ал бұл іс-әрекеттердің әрдайым орын алуы олардың ойлау қабілеттеріне үлкен зиян келтіретіні айтпасада белгілі.

Біріншіден, логикалық ойлауы, яғни өз бетінше талдау дағдыларына деген зейіні төмендейді. Ал адам қарапайым логикалық ойлауын тежесе бұл оның санасының біртіндеп құлдырауына әкеліп соқтырады.

Екіншіден, өз бетімен шешім қабылдауда мәселелер жиі туындай бастайды. Қиындықтарды еңсеруде өз-өзіне деген сенімсіздік туындайды. Жалпы алғанда студенттердің ең танымал сылтауларының бірі уақытты үнемдей алмау салдарынан өз мүмкіндіктерін жеткілікті қолданбау. Іс жүзіне келетін болсақ сол ЖИ-ні пайдаланғаннан үнемделген уақытты болашағына керекті болатын білімге емес, адамға уақытша ләззат беретін дофаминдерге жұмсауы. Атап айтқанда түрлі әлеуметтік желілерде ұзақ уақыт өткізу, мобильді және компьютерлік ойындар ойнау және т. б.

ЖИ-тің студенттердің білім алу сапасына қалай әсер беретіндігіне кішігірім зерттеу жасалынған болатын. Инновациялық технологиялар факультетіндегі белгілі бір академиялық топқа (25 студент) жүргізілген өте шағын бақылау нәтижесінде, жалпы студенттердің ЖИ-ті қаншалықты қолданатындығы және қандай мақсатта іске жарататындығына көз жеткізілді. Тарқатып айтқанда, тек топтың (20-25%)-і тапсырмаларды өз алдына орындап, ЖИ-ті тек қосымша көмек ретінде қолданатыны белгілі болды. Ал қалған (75-80%)-і өзіндік ойлау, саралаудың орнына, барлық жұмысты ЖИ-ке тапсырып академиялық әділдікті бұзып жүргендігі байқалынды. Жасалынған кішігірім зерттеу нәтижесіне келе отыра, студенттердің технологияға аса тәуелді болып бара жатқандығы, әрі сыни және шығармашылық ойлау қабілеттерінің біртіндеп төмендеп бара жатқандығының бейнесі айқындалған болатын. Бұл дегеніміз қазіргі жоғары білім беру жүйесінде ЖИ-ті тиімді пайдалану стратегияларын тез арада қолға алу қажеттілігін білдіреді.

ЖИ өз мүмкіндігінің көлемі аясында кез келген сұранысты орындайды, ал студенттер сол алынған нәтижені қаншалықты өмірде пайдалана алатындығы көңілге кірбін салады. Бұл процесс жасанды интеллекттің танымалдылыққа ие болған сәтінен бастап күні бүгінге дейін жалғасын тауып келе жатыр. Егерде дәл осылай жалғасса болашақта білікті, өз ісінің мамандары тіптен азаятыны сөзсіз. Сондықтан да кез келген білім беру жүйесінде жасанды интеллектті ақылмен ойланып пайдаланған жөн. Заманауи дәуірімізде технологиялар қай жағынан болсын дамыса да, оның келешегі жастардың қолында екендігін есте ұстаған абзал.

#### ***Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:***

1. Бостром Н. (2016). Искусственный интеллект. Этапы. Угрозы. Стратегии. Альпина Паблишер.
2. Сапарғалиев Ғ. (2022). Цифрлық білім беру және жасанды интеллект: заманауи трендтер мен болашағы. ҚР Білім және ғылым министрлігі.
3. Омаров Н. (2023). Цифрлық экономика жағдайындағы жасанды интеллект және оның білім беру жүйесіне ықпалы. Халықаралық экономикалық форум материалдары, Алматы, 112-120 б.

***Цифрлық экономика жағдайындағы  
тау-кен металлургия кешенін  
дамытудың қазіргі заманғы сын-  
тегеуріндері мен технологиялық  
трендтері***

## ENVIRONMENTAL ASSESSMENT: NECESSITY AND PROSPECTS (EXAMPLE OF METHANE EXPLORATION)

Production growth is an integral part of national development. However, it is necessary to find a balance between industry, economy, and environmental conservation. This vector is enshrined in the transition to sustainable development and a green economy [1]. Environmental assessment of planned activities is a key to maintaining this balance. When conducting an EIA, it is advisable to simulate the situation, possibly using AI. For example, when assessing the environmental impact of methane exploration in coal seams, the impact is as follows (Table 1). Table 1 shows the impact on the main environmental components. No impact on surface water resources is noted due to the remoteness of the exploration site from water bodies. Also, the table does not include the results of the theoretical assessment of the social environment. In fact, the social environment will have both advantages and disadvantages. The advantages include additional jobs for the population. The table does not reflect physical effects. But they are obvious in the form of noise.

**Table 1 Comprehensive EIA of planned activities**

| Environment     | Type of impact                             | Impact indicators |                 |                  | Complex grade impact |
|-----------------|--------------------------------------------|-------------------|-----------------|------------------|----------------------|
|                 |                                            | Spatial scale     | Time scale      | Intensity impact |                      |
| Atmospheric air | Emissions of pollutants                    | limited           | medium duration | insignificant    | low to significant   |
| Groundwater     | Drilling of exploratory wells              | local             | medium duration | insignificant    | low to significant   |
| Land resources  | Seizure of land from agricultural purposes | local             | medium duration | significant      | significant          |

**Conclusion:** the primary non-quantitative assessment of the environmental impact will allow us to understand the impact before mining operations begin. It is important to assess the impact on the social environment and health.

### *List of references*

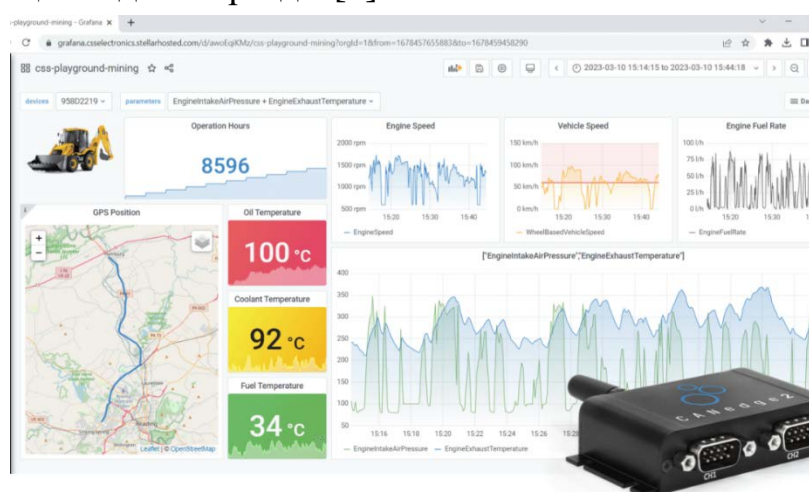
1. *Environmental Code of the Republic of Kazakhstan, 2021 Code of the Republic of Kazakhstan dated January 2, 2021 No. 400-VI ZRK*

## ҚАЗАҚСТАН ТАУ- КЕН ӨНДІРІСІН ЦИФРЛАНДЫРУ

Қазақстан тау-кен өндірісін цифрландыру – ел экономикасының стратегиялық дамуының маңызды бағыты болып табылады. Қазақстан табиғи ресурстарға бай мемлекеттердің қатарына жатады және тау-кен саласы ұлттық экономиканың тірек секторларының бірі саналады. Көмір, уран, мыс, темір кені, алтын және түсті металдар өндірісі ішкі жалпы өнімнің және экспорттың елеулі бөлігін қамтамасыз етеді. Осыған байланысты саланың тиімділігін арттыру, шығындарды азайту және халықаралық бәсекеге қабілеттілікті күшейту мақсатында цифрлық технологияларды енгізу ерекше маңызға ие болуда. Мемлекеттік деңгейде бұл бағытқа жүйелі қолдау көрсетіліп келеді [1]. Атап айтқанда, Қазақстан Республикасы Индустрия және инфрақұрылымдық даму министрлігі және Қазақстан Республикасы Цифрлық даму, инновациялар және аэроғарыш өнеркәсібі министрлігі өндірістік секторды технологиялық жаңғыртуға бағытталған бағдарламаларды жүзеге асыруда. Тау-кен өндірісін цифрландыру дегеніміз – өндірістік процестерге заманауи ақпараттық-коммуникациялық технологияларды енгізу арқылы басқару жүйесін жетілдіру, нақты уақыт режимінде деректер жинау және талдау, сондай-ақ өндірісті автоматтандыру. Бұл процесс бірнеше негізгі бағыттарды қамтиды: үлкен деректерді талдау, жасанды интеллектіні пайдалану, заттар интернеті (IoT) жүйелерін енгізу, геоақпараттық технологияларды қолдану, роботтандыру және қашықтан басқару шешімдері [2]. Цифрлық жүйелердің көмегімен кен орындарының геологиялық құрылымын дәлірек анықтауға, пайдалы қазбалардың қорын тиімді игеруге және артық шығындарды азайтуға мүмкіндік туады. Қазақстандағы ірі тау-кен компаниялары цифрландыру процесін белсенді түрде жүзеге асыруда. Мысалы, KAZ Minerals өндірістік процестерді автоматтандыру және интеллектуалды басқару жүйелерін енгізу арқылы өнімділікті арттыруға бағытталған жобаларды іске асыруда. Қазцинк кәсіпорнында өндірістік деректерді талдау, қауіпсіздік жүйелерін жетілдіру және процестерді оңтайландыру шаралары қолға алынған. Сондай-ақ АрселорМиттал Теміртау компаниясы кен өндірісінде автоматтандырылған бақылау және мониторинг жүйелерін қолдану тәжірибесіне ие болды. Мұндай жобалар «Ақылды кеніш» тұжырымдамасының қалыптасуына негіз болуда. «Ақылды кеніш» моделінде барлық өндірістік операциялар орталық диспетчерлік пункт арқылы бақыланады. Жер асты және ашық кеніштерде орналасқан техникалар GPS жүйелері мен арнайы датчиктер арқылы үздіксіз бақылауда болады. Дрондар карьерлердің жағдайын түсіріп, үш өлшемді модельдер

жасайды. Бұл шешімдер өндірісті нақты жоспарлауға және қауіпсіздікті арттыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар сенсорлар арқылы температура, қысым, газ концентрациясы сияқты маңызды көрсеткіштер бақыланып, төтенше жағдайлардың алдын алу шаралары жедел қабылданады [3].

Жасанды интеллект технологиялары тау-кен өндірісінде ерекше рөл атқарады. Машиналық оқыту алгоритмдері кен сапасын болжауға, жабдықтардың тозу деңгейін анықтауға және апаттық жағдайлардың ықтималдығын есептеуге мүмкіндік береді. Бұл алдын ала техникалық қызмет көрсету жүйесін енгізуге жағдай жасап, жабдықтардың істен шығуынан болатын шығындарды азайтады. Сонымен бірге өндірістік жоспарлау мен логистиканы оңтайландыру арқылы кәсіпорындардың экономикалық тиімділігі артады [4].



### 1.1 Сурет – Тау-кен өндірісін цифрландырудың негізі ерекшеліктері

Алдағы уақытта Қазақстанда толық автоматтандырылған және роботтандырылған кеніштерді дамыту жоспарлануда. Университеттер мен ғылыми-зерттеу орталықтары цифрлық тау-кен технологиялары саласында мамандар даярлауды күшейтіп, инновациялық зерттеулер жүргізуде. Бұл өз кезегінде өндірістің тұрақты дамуына және халықаралық нарықта бәсекеге қабілеттіліктің артуына ықпал етеді. Қорытындылай келе, Қазақстан тау-кен өндірісін цифрландыру – экономиканың тиімділігін арттыруға, еңбек қауіпсіздігін қамтамасыз етуге және ресурстарды ұтымды пайдалануға бағытталған стратегиялық қадам. Заманауи технологияларды кеңінен енгізу арқылы сала жаңа сапалы деңгейге көтеріліп, елдің индустриялық-инновациялық дамуына қуатты серпін береді [5].

*Қолданылған әдебиеттер тізімі*

1. *Introduction to Artificial Neural Networks.* – St. Paul: West Publishing Company, 1992.
2. *Deep Learning.* – Cambridge: MIT Press, 2016.
3. *Society for Mining Metallurgy and Exploration. Mining Engineering Handbook.* – 3rd ed. – Littleton, CO, 2011.
4. *International Council on Mining and Metals. Digital Transformation in Mining Report.* – London, 2020.
5. *International Organization for Standardization. ISO 22400-2:2014 Automation systems and integration – Key performance indicators for manufacturing operations management.* – Geneva, 2014.



## ЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КОММУНАЛЬНЫМИ ОТХОДАМИ И УГЛЕРОДНЫЙ СЛЕД

Одной из государственных экологических задач Республики Казахстан является достижение углеродной нейтральности к 2060 году [1]. Кажущаяся невидимая связь между коммунальными отходами и глобальным потеплением на самом деле проявляется в выбросах свалочного газа, состоящего в основном из двух газов: метана и углекислого газа. Причем на долю метана приходится 40 – 60 % [2], который оказывает парниковый эффект в 80 раз больше, чем углекислый газ [3]. Одним из основных источников свалочного газа на накопителях коммунальных отходов являются так называемые пищевые отходы. Их доля составляет порядка 40 % [4]. Пищевые отходы, разлагаясь (процесс гниения), выделяют метан. Производство новых товаров и услуг с первичных природных ресурсов обходится с экономической точки зрения намного дороже, чем со вторичных ресурсов. Так, например, переработав 1 кг пластика можно получить 800 грамм готового сырья, этот процесс экологичнее, чем переработка нефтепродуктов в пластик; 60 кг макулатуры спасает одно взрослое дерево и экономит 1,2 м<sup>3</sup> воды [5]; 1 кг сухих пищевых отходов позволяет получить 76 л биогаза [6], это напрямую влияет на уменьшение углеродного следа.

Таким образом, совершенствование системы управления коммунальными отходами является приоритетным направлением в области снижения углеродного следа. Учитывая значительное накопление ТБО на полигонах, необходим пересмотр действующего способа управления коммунальными отходами. Необходимо начинать управление отходами в местах их образования, т.е. этап образования перевести в первоначальный этап сортировки отходов, как первую ступень производства. По статистическим данным [7] ежегодно в Казахстане образуется порядка 4,5 млн т коммунальных отходов (рис.1). Почти две трети (65,6 %) отходов приходится на домашние хозяйства, т.е. основной причиной образования является потребление товаров и услуг населением.

Был проведен опрос по выявлению уровня грамотности населения г. Караганды по вопросу сортировки коммунальных отходов. Анализ анкетирования показал, что почти 67 % населения не занимаются сортировкой отходов: выбрасывают все в «один пакет». С другой стороны, большая часть населения готова к сортировке отходов в местах их образования, но имеются веские причины «несортировки»: отсутствие удобной доступной инфраструктуры (почти половина опрошенных),

отсутствие возможности сортировать отходы в жилых помещениях (40 %). Готовность населения к сортировке отходов составляет 82 %, т.е. люди готовы уделять время на сортировку отходов в местах их образования: столько сколько потребуется времени (почти пятая часть опрошенных 19 %), не более 5 минут (63 %).

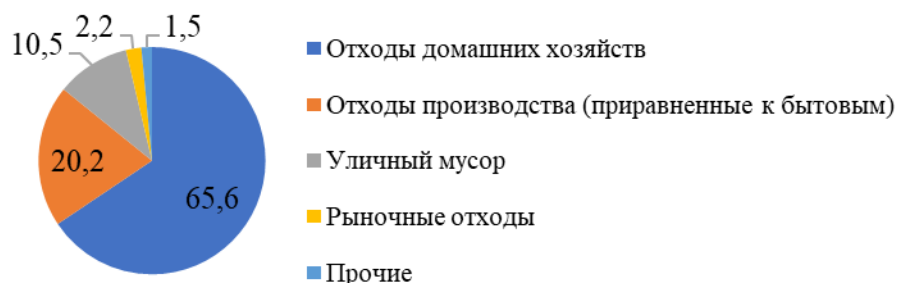


Рисунок 1 – Морфологический состав коммунальных отходов [7]

Таким образом, проведенный опрос показывает, что при высоком показателе готовности населения к сортировке коммунальных отходов в местах их образования (82 %) фактический показатель вовлеченности населения к сортировке остается достаточно низким (33 %). Можно сделать предположение, что основной причиной низкой активности населения по сортировке отходов является не мотивационный фактор, а отсутствие доступной развитой инфраструктуры по сортировке отходов.

#### Список использованных источников

- 1 Стратегия достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года от 02.02.2023 г. Доступно по адресу: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U2300000121> (12.02.2026)
- 2 Состав свалочного газа. Доступно по адресу: <https://blms.ru/svalochnyj-gaz> (12.02.2026)
- 3 Экосфера. Доступно по адресу: <https://ecosphere.press/2025/07/28/sputniki-zafiksirovali-chto-svalki-vybrasyvayut-v-atmosferu-metana-v-dva-raza-bolshe-chem-schitalos-ranee/> (12.02.2026)
- 4 Концепция управления всеми видами отходов в Республике Казахстан на 2026 – 2030 годы от 31.12.2025 г. Доступно по адресу: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2500001201> (12.02.2026)
- 5 Официальный сайт. Научный журнал для школьников «Старт в науке». Доступно по адресу: <https://science-start.ru/ru/article/view?id=1008#:~:text=%D0%9F%D0%BE%D0%B4%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%8F%20%D0%B8%D1%82%D0%BE%D0%B3%D0%B8%20%D1%81%D0%B2%D0%BE%D0%B5%D0%B9%20%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%82%D1%8B%2C%20%D0%BC%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%BC,%D0%94%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B2%D1%8C%D1%8F%20%D0%9C%D0%9E%D0%96%D0%9D%D0%9E%20%D0%A1%D0%9F%D0%90%D0%A1%D0%A2%D0%98!!!> (12.02.2026)
- 6 Skipshapiro enterprises. Доступно по адресу: <https://shapiroe.com/blog/biogas-from-food-waste/#:~:text=1%20kilogram%20of%20dry%20matter,content%2C%20and%20additional%20environmental%20factors>. (12.02.2026)
- 7 Национальный доклад о состоянии окружающей среды и об использовании природных ресурсов Республики Казахстан за 2024. Доступно по адресу: <https://ecoqosfond.kz/orhusskaja-konvencija/dostup-k-jekologicheskoi-informacii/jekologijaly-zha-daj/r-orsha-an-ortany-zhaj-k-ji-turaly-lty-bajandamalar/> (12.02.2026)

## ЖЕРАСТЫ КЕНІШТЕРДЕГІ ҚОЛЖЕТІМСІЗ ЖӘНЕ ҚАУІПТІ КАМЕРАЛАРДА ЛАЗЕРЛІК СКАНЕРЛЕУ ӘДІСІН ҚОЛДАНУ

Жерасты кен орындарын игеру барысында тау жыныстары массивінде әртүрлі геометриялық өлшемдегі қуыстар мен камералар қалыптасады. Түсірілім жүргізу мүмкіндігіне қарай олар қолжетімді және қолжетімсіз болып жіктеледі. Қолжетімсіз камералар мен қуыстарға опырылу қаупі жоғары, кіруге шектеу қойылған қауіпті кеңістіктер жатады.

Мұндай қуыстар жыныс массивінің кернеулік-деформациялық күйіне елеулі әсер етеді. Ауырлық күші мен тау қысымының ықпалынан жыныстардың қайта орналасуы және кернеулердің қайта бөлінуі орын алады, бұл технологиялық жерасты құрылыстарының тұрақтылығын төмендетеді. Нәтижесінде ығысу аймағына түскен тау-кен қазбаларының бекітпелері (оқпандар, квершлагтар, оқпан маңы қазбалары, штректер) деформацияланып, олардың тұтастығы бұзылуы мүмкін. Бұл жерасты инфрақұрылымының сенімділігіне және өндірістік процестің қауіпсіздігіне тікелей әсер етеді. Осы геомеханикалық қауіптер қауіпті камералар мен қолжетімсіз қуыстарды уақтылы және жоғары дәлдікпен бақылау қажеттігін айқындайды. Камералар мен қуыстарды түсіру - тау-кен өндірісінің маңызды құрамдас бөлігі болып табылады. Алайда дәстүрлі түсірілім әдістері қазіргі өндірістік қауіпсіздік талаптарына толық сәйкес келе бермейді.

Қолжетімсіз қуыстарды түсіруде кеңінен қолданылатын тахеометриялық әдіс тік және көлденең бұрыштарды өлшеуге және тікелей қиылыстырудың аналитикалық шешіміне негізделеді. Көздеу ұзындығы 50 м дейін болған жағдайда камера контурларын 1:200 салыстырмалы дәлдікпен анықтауға мүмкіндік береді. Дегенмен бұл әдіс өзара көрінетін екі нүктенің болуын талап етеді және қауіпті аймақтарда қолдану шектеулі.

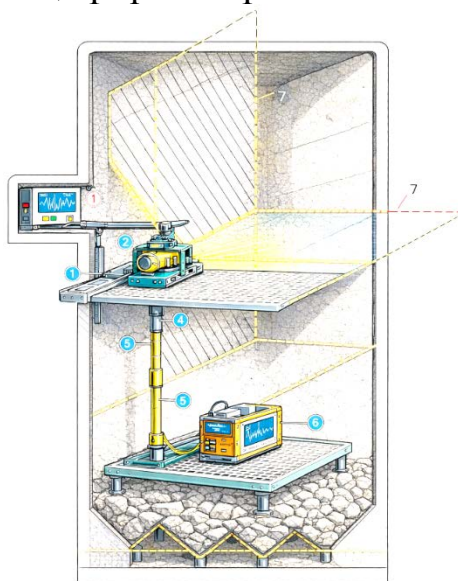
Жарықпроекциялық тахеометрлер кеңістікте белгілі екі бағыт принципіне негізделген (көру түтігі және жарық проекторы). ТТ-4 тау-кен базистік тахеометрі айнымалы базалы және тұрақты параллакстық бұрышты қашықтық өлшегішпен жабдықталған. 4–100 м аралығында салыстырмалы қателік 1:100-1:200 шамасында болады. Алайда бұл әдістер де көріну жағдайына тәуелді.

Қимасы үлкен камераларды түсіруде жарық профильдерін фототүсірілім арқылы анықтау тәсілі қолданылады. Бұл әдіс стереоскопиялық модель құруға мүмкіндік береді, алайда өңдеу уақыты мен ұйымдастыру күрделілігі жоғары.

Қазіргі кезеңде Қазақстан мен ТМД елдерінде қауіпті және қолжетімсіз камераларды қауіпсіз әрі жоғары дәлдікпен түсіруге мүмкіндік

беретін заманауи цифрлық технологияларға сұраныс артып отыр. Осы тұрғыда лазерлік сканерлеу технологиясы перспективалы шешім болып табылады.

Лазерлік сканер жерасты қуыстарын жанаспай өлшеуге, толық үшөлшемді модель құруға және деректерді жедел өңдеуге мүмкіндік береді. Жүйе кері қиылыстыру әдісі арқылы геодезиялық байланыстыруды қамтамасыз етеді және электрондық тахеометрді қолдану қажеттілігін жояды. WI-FI негізіндегі деректерді беру технологиясы үздіксіз ақпарат алмасуды қамтамасыз етіп, кабельдік зақымдану тәуекелін болдырмайды. Қауіпті және қолжетімсіз камераларды түсірудің дәстүрлі әдістері 1-суретте көрсетілген звуколокациялық түсірілім сұлбасымен сипатталады



1-сурет. Шахта метанының жағымсыз және жағымды жақтары

Сканердің техникалық сипаттамалары (сканерлеу қашықтығы 500 м дейін, дәлдігі  $\pm 2$  см, бұрыштық дәлдігі  $\pm 0,1^\circ$ , бір сканерлеуде 55 800 нүкте) оның жерасты қауіпті кеңістіктерін жоғары дәлдікпен және қысқа уақыт ішінде модельдеуге қабілетті екенін көрсетеді.

Осылайша, лазерлік сканерлеу технологиясы жерасты кеніштеріндегі қауіпті және қолжетімсіз камераларды мониторингтеудің тиімді, сенімді және қауіпсіз құралдарының бірі болып табылады.

#### Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

- 1 Стефанович Г.В. Маркшейдерское дело при подземной разработке месторождений полезных ископаемых. – М.: Недра, 2010. – 312 с.
- 2 Васильев А.А., Лаптев Б.П. Геомеханика горных пород и устойчивость подземных выработок. – М.: Горная книга, 2014. – 384 с.
- 3 Abellán A., Jaboyedoff M., Oppikofer T. Terrestrial laser scanning of rock slope instabilities: Review and applications // Engineering Geology. – 2010. – Vol. 119. – P. 1–17.
- 4 Lindenbergh R., Pfeifer N. Laser scanning for deformation monitoring of underground structures // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2005. – Vol. 60. – P. 121–138.

УДК 622:504 Акимбаева З.А. - студент КарТУ им.А.Сагинова (гр.ГД-23-1)  
Мараткызы Д. - студент КарТУ им.А.Сагинова (гр.ГД-23-1)  
Науч.рук. – преп.каф.РМПИ КарТУ им.А.Сагинова Қайырбек А.А.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Горнодобывающая промышленность играет важную роль в развитии экономики, так как обеспечивает общество необходимыми полезными ископаемыми. Уголь, металлы и другие природные ресурсы используются в энергетике, строительстве, промышленности и других сферах. Однако добыча полезных ископаемых сопровождается значительным воздействием на окружающую среду.

Под влиянием горных работ на окружающую среду понимается совокупность изменений природных условий, которые происходят в результате добычи полезных ископаемых. Эти изменения могут затрагивать атмосферный воздух, водные ресурсы, почву, растительный и животный мир. Актуальность данного исследования заключается в том, что с развитием горнодобывающей промышленности увеличивается нагрузка на природу. Поэтому важно изучать экологические последствия горных работ и разрабатывать способы уменьшения их негативного воздействия.

Целью данного исследования является изучение влияния горных работ на окружающую среду и анализ основных экологических проблем, возникающих в районах добычи полезных ископаемых.

В ходе работы были использованы различные методы научного исследования. Одним из основных методов стал анализ научной литературы. Я изучила учебные материалы, научные статьи и другие источники информации, посвященные вопросам экологии и горного дела.

Также был использован метод наблюдения. Я рассмотрела примеры воздействия горных предприятий на окружающую среду и проанализировала экологические проблемы, возникающие в районах добычи полезных ископаемых. Кроме того, применялся метод анализа и сравнения. С помощью этих методов были сопоставлены различные данные о воздействии горных работ на природную среду и сделаны выводы о степени их влияния.

Одним из основных видов воздействия горных работ является загрязнение атмосферного воздуха. Во время бурения, взрывных работ и транспортировки горной массы образуется большое количество пыли. Кроме того, работа горной техники сопровождается выделением выхлопных газов и других вредных веществ. Это приводит к ухудшению качества воздуха и может отрицательно влиять на здоровье людей.

Еще одной важной проблемой является загрязнение водных ресурсов. В процессе добычи полезных ископаемых образуются шахтные и карьерные

воды, которые могут содержать различные химические соединения и тяжелые металлы. Если такие воды попадают в природные водоемы без очистки, происходит загрязнение рек и озер, что может привести к нарушению экологического баланса.

Горные работы также оказывают влияние на почву и ландшафт. При строительстве шахт, карьеров и отвалов происходит разрушение верхнего слоя почвы и изменение рельефа местности. В результате уничтожается растительный покров и ухудшается состояние природных экосистем.

В ходе исследования я пришла к выводу, что для уменьшения негативного воздействия горных работ необходимо применять современные экологические технологии. К таким мерам относятся очистка шахтных вод, использование систем пылеподавления, а также рекультивация нарушенных земель. Рекультивация включает восстановление почвы, посадку растений и возвращение территории к природному состоянию.

В результате проведенного исследования было установлено, что горные работы оказывают комплексное воздействие на окружающую среду. Наиболее значительными экологическими проблемами являются загрязнение воздуха, воды и почвы, а также изменение природного ландшафта.

Также было выявлено, что применение современных технологий и экологических мероприятий позволяет значительно снизить негативное влияние горнодобывающей промышленности. Например, использование очистных сооружений и систем пылеподавления помогает уменьшить загрязнение окружающей среды.

Таким образом, горнодобывающая деятельность оказывает значительное влияние на окружающую среду. Основные экологические проблемы связаны с загрязнением атмосферного воздуха, водных ресурсов и почвы, а также с нарушением природного ландшафта.

Проведенное исследование показало, что для уменьшения негативных последствий необходимо применять современные экологические технологии, проводить мониторинг состояния окружающей среды и соблюдать требования экологической безопасности. Рациональное использование природных ресурсов и внедрение экологически безопасных методов добычи полезных ископаемых позволит сохранить окружающую среду и обеспечить устойчивое развитие горной промышленности.

#### *Список использованных источников*

1. Горное дело / Под ред. В. В. Ржевского. — Москва: Недра, 2018.
2. Экология горного производства / Под ред. А. И. Петренко. — Москва: Горная книга, 2019.
3. Основы горного дела / Н. И. Трушко. — Москва: Академия, 2017.
4. Охрана окружающей среды / С. В. Белов. — Москва: Высшая школа, 2016.
5. Министерство экологии и природных ресурсов Республики Казахстан. Экологические требования к промышленным предприятиям. — Астана, 2020.

## ЦИФРЛЫҚ ЭКОНОМИКАНЫҢ ТАУ-КЕН КЕШЕНІНЕ ЫҚПАЛЫ: ГЕОТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ МОНИТОРИНГ ЖӘНЕ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ИНТЕГРАЦИЯСЫ

Қазіргі уақытта тау-кен өнеркәсібінің қарқынды дамуы табиғи ресурстарды тиімді пайдалануды және өндірістік қауіпсіздікті қамтамасыз етуді талап етеді. Осыған байланысты геотехнологиялық процестерді бақылау мен талдау маңызды ғылыми бағыттардың біріне айналды. Геотехнологиялық мониторинг – бұл жер қойнауын игеру барысында геологиялық, геомеханикалық және технологиялық параметрлердің өзгеруін тұрақты түрде бақылау, талдау және болжау жүйесі болып табылады. Соңғы жылдары бұл салада жасанды интеллект технологияларын қолдану ерекше маңызға ие болып отыр.

Геотехнологиялық мониторинг тау-кен өндірісінің барлық кезеңдерінде қолданылады. Ол кен орындарын игеру кезінде жер қабатының қозғалысын, тау жыныстарының тұрақтылығын, жер асты суларының өзгерісін және өндірістік процестердің тиімділігін бақылауға мүмкіндік береді. Дәстүрлі мониторинг жүйелері көбінесе датчиктерден алынған деректерді жинауға және оларды мамандардың талдауына негізделген. Алайда өндірістік процестердің күрделілігі мен деректер көлемінің артуы жаңа цифрлық технологияларды енгізуді талап етеді.

Жасанды интеллект технологиялары үлкен көлемдегі деректерді өңдеу, талдау және болжау мүмкіндігі арқылы геотехнологиялық мониторинг жүйелерінің тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Машиналық оқыту алгоритмдері геологиялық және өндірістік деректерді талдау арқылы қауіпті жағдайларды алдын ала анықтауға көмектеседі. Мысалы, тау жыныстарының құлау қаупін, жер қыртысының деформациясын немесе өндірістік жабдықтардың істен шығу ықтималдығын болжауға болады.

Жасанды интеллекттің негізгі артықшылықтарының бірі – үлкен деректер массивін қысқа уақыт ішінде өңдеу мүмкіндігі. Тау-кен кәсіпорындарында орнатылған сенсорлар мен бақылау құрылғылары әр секунд сайын көптеген ақпарат жинайды. Бұл деректерді дәстүрлі әдістермен талдау көп уақытты қажет етеді. Ал жасанды интеллект алгоритмдері бұл мәліметтерді автоматты түрде талдап, нақты уақыт режимінде нәтижелер береді. Нәтижесінде өндірістік процестердің жағдайы туралы жедел әрі дәл ақпарат алуға мүмкіндік туады.

Геотехнологиялық мониторинг пен жасанды интеллекттің интеграциясы өндірістік қауіпсіздікті арттыруға да ықпал етеді. Мысалы, интеллектуалды жүйелер шахтадағы газ концентрациясын, температураны, қысымды және тау жыныстарының қозғалысын бақылап, қауіпті жағдайлар туындаған кезде автоматты түрде ескерту жасай алады. Бұл апаттардың алдын алуға және жұмысшылардың қауіпсіздігін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, осындай жүйелер төтенше жағдайлар кезінде жедел шешім қабылдауға көмектеседі.

Сонымен қатар жасанды интеллект технологиялары тау-кен өндірісінің экономикалық тиімділігін арттыруға көмектеседі. Деректерді талдау нәтижесінде кен орындарын игерудің тиімді әдістері анықталып, өндірістік шығындар азаяды. Сондай-ақ жабдықтардың жұмыс режимін оңтайландыру арқылы олардың қызмет ету мерзімін ұзартуға болады. Бұл кәсіпорындардың өндірістік өнімділігін арттырып, ресурстарды үнемді пайдалануға жағдай жасайды.

Қазіргі уақытта көптеген елдерде «цифрлық кен орны» тұжырымдамасы белсенді түрде дамып келеді. Бұл тұжырымдама өндірістік процестерді автоматтандыруды, интеллектуалды басқару жүйелерін енгізуді және деректерге негізделген шешім қабылдауды көздейді. Мұндай жүйелерде геотехнологиялық мониторинг пен жасанды интеллект маңызды рөл атқарады. Олар өндірістік процестерді нақты уақыт режимінде бақылауға, қауіп-қатерлерді азайтуға және өндірісті тиімді басқаруға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, жасанды интеллект негізіндегі жүйелер геологиялық барлау жұмыстарында да кеңінен қолданылуда. Геологиялық деректерді талдау арқылы жаңа кен орындарын анықтау, пайдалы қазбалардың орналасуын болжау және олардың қорын бағалау мүмкіндігі артып келеді. Бұл технологиялар барлау жұмыстарының тиімділігін арттырып, уақыт пен қаржылық шығындарды азайтуға көмектеседі.

Қорытындылай келе, геотехнологиялық мониторинг пен жасанды интеллект интеграциясы тау-кен өнеркәсібінің дамуының маңызды бағыты болып табылады. Бұл технологиялар өндірістік қауіпсіздікті арттыруға, табиғи ресурстарды тиімді пайдалануға және өндірістік процестердің тиімділігін жақсартуға мүмкіндік береді. Болашақта жасанды интеллекттің дамуы геотехнологиялық мониторинг жүйелерін одан әрі жетілдіріп, тау-кен саласының цифрлық трансформациясына үлкен үлес қосады.

Пайдаланылған әдебиеттер

1. Zhang Y., Li X. Artificial Intelligence in Mining Industry. – Mining Technology Journal, 2021.
2. Smith R. Digital Transformation in Mining. – Springer, 2020.
3. Gupta A., Kumar P. Machine Learning Applications in Geotechnical Monitoring. – Engineering Geology, 2022.
4. Liu H. Smart Mining Technologies and Monitoring Systems. – Elsevier, 2023.
5. Ivanov V. Intelligent Systems in Mining Engineering. – Mining Science Review, 2024.



## САНДЫҚ АЭРОФОТОТҮСІРІЛІМ ТЕХНОЛОГИЯСЫ ЖӘНЕ ОНЫҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ

Сандық аэрофототүсірілім - ұшақ, тікұшақ немесе дрон секілді ұшу аппараттарына орнатылған жергілікті аймақтың фотосуреттерін алу үдерісі. Дәстүрлі пленкалы түсірілімнен айырмашылығы - мұнда мәліметтер бірден сандық форматта (пиксельдер түрінде) жазылады, бұл оларды компьютерде өңдеуді тездетеді [1].

Сандық аэрофототүсірілім кешені бес негізгі блоктан тұрады:

1. **Ұшу құралдары:** Түсірілім ауқымына қарай Ан-30, VulcanAir P68 ұшақтары, Ми-2Ф тікұшақтары немесе заманауи DJI Mavic Pro, AC-180 сияқты дрондар қолданылады (1-сурет).

2. **Түсіріс аппараттары:** Мұнда жоғары айқындықтағы сандық аэрофотокамералар, мультиспектралды камералар мен гиперспектралды сканерлер қолданылады.

3. **Навигациялық жабдықтар:** Түсірілім нүктесінің координаталарын (X, Y, Z) дәлелдеу үшін GPS/ГНСС қабылдағыштар мен камераның кеңістіктегі бұрыштарын тіркейтін инерциялық жүйелер (INS) қолданылады.

4. **Көмекші құралдар:** Биіктікті өлшейтін альтиметрлер мен борттық компьютерлер.

5. **Өңдеу бағдарламалары:** Жиналған деректерді өңдеуге арналған фотограмметриялық бағдарламалық жасақтамалар.

Түсірілім нәтижесінде алынатын өнімдер:

**Ортофотоплан:**

Гео метриялық тұрғыдан түзетілген, карта ретінде қолдана алатын нақты кескін.

**Жер бедерінің моделі (3D):** Жердің биіктік құрылымын сипаттайтын үшөлшемді бет.



1 - сурет. Ұшу құралдары

## Геодезияның математикамен байланысы

Геодезия мен математиканың байланысы өте терең. Шын мәнінде, геодезияны жер бетіндегі өлшеулерге қолданылатын «Қолданбалы математика» деп атауға болады [2].

Жалпы геодезиялық принциптерді ескере отырып, бұл байланыстың негізгі бағыттарын былайша жүйелеуге болады:

### 1. Геометрия және тригонометрия

Геодезияның негізі - фигураларды есептеу. Жер бетіндегі нүктелердің орнын анықтау үшін үшбұрыштар жүйесі (триангуляция) қолданылады.

Сфералық тригонометрия: Жер шар тәріздес болғандықтан, алыс қашықтықтарды есептегенде жазық емес, сфералық беттегі бұрыштар мен қабырғалар есептеледі [3].

Координаттар жүйесі: Нүктелерді X, Y, Z өстері бойынша орналастыру тікелей аналитикалық геометрияға сүйенеді.

### 2. Фотограмметрия және Проекциялық геометрия

Масштаб есептеу: Бұл ұқсас фигуралар принципіне негізделген формула:

$$M = \frac{f}{H}$$

мұндағы  $f$  - фокустық қашықтық,  $H$  - ұшу биіктігі..

### 3. Математикалық статистика және ықтималдықтар теориясы

Геодезияда ешқандай өлшеу 100% дәл болмайды. Әрқашан қателіктер болады.

Ең кіші квадраттар әдісі: Өлшеу нәтижелерін өңдеу және ең ықтимал дәл мәнді табу үшін қолданылатын күрделі математикалық аппарат [4].

Қателіктер теориясы: Өлшеулердің дәлдігін бағалау үшін статистикалық талдау жасалады.

Қорыта айтқанда, сандық аэрофототүсірілім — бұл тек жер бетін жоғарыдан суретке түсіру емес, ол геометрия мен жоғарғы математиканың заңдылықтарына негізделген күрделі инженерлік процесс. Жұмыс барысында анықталғандай, фотограмметриялық есептеулер (масштабты анықтау, коллинеарлық теңдеуі және рельефтік түзетулер) арқылы қарапайым 2D кескіндерді дәлдігі жоғары 3D модельдерге айналдыруға болады. Бұл технология заманауи геодезияда, картографияда және жер ресурстарын басқаруда шешуші рөл атқарады. Математикалық аппараттың дәлдігі қоршаған орта туралы ең нақты геокеңістіктік мәліметтерді алуға мүмкіндік береді

#### *Пайданылған көздердің тізімі:*

1. Байтұрсынов А. Геодезия және фотограмметрия негіздері. - Алматы: Ана тілі, 2018.
2. Нұрпейісова М. Б. Геодезия: Оқулық - Алматы: Эверо, 2015.
3. Керімбай Н. Н. Сандық картография және ГАЗ негіздері. - Алматы: Қазақ университеті, 2012.

## ТАУ-КЕН САЛАСЫН ЦИФРЛАНДЫРУДЫҢ АРТЫҚШЫЛЫҚТАРЫ МЕН НЕГІЗГІ БАҒЫТТАРЫ

Қазіргі таңда әлемдік экономика цифрлық трансформация кезеңін бастан өткеруде. Өнеркәсіптің барлық салаларында жаңа технологиялар кеңінен енгізіліп, өндірістік процестер автоматтандырылуда. Соның ішінде тау-кен саласы да цифрландыру үдерісінен тыс қалған жоқ. Табиғи ресурстарды игеру тиімділігін арттыру, қауіпсіздікті қамтамасыз ету және экологиялық талаптарды сақтау мақсатында заманауи сандық шешімдер белсенді қолданылуда. Қазақстанда бұл бағыт мемлекеттік деңгейде қолдау тауып, «Цифрлық Қазақстан» бағдарламасы аясында жүзеге асырылуда.

XXI ғасырда жаһандық экономиканың дамуы цифрлық технологиялардың қарқынды енгізілуімен сипатталады. Ақпараттық жүйелер, автоматтандыру, жасанды интеллект және деректерді талдау құралдары өндірістік салалардың құрылымын түбегейлі өзгертуде. Өнеркәсіптің стратегиялық бағыттарының бірі болып табылатын тау-кен кешені де бұл үдерістен тыс қалған жоқ. Тау-кен саласы – ұлттық экономиканың негізгі тіректерінің бірі, себебі ол табиғи ресурстарды игеру арқылы өнеркәсіптің басқа салаларын шикізатпен қамтамасыз етеді және елдің экспорттық әлеуетін қалыптастырады. Дегенмен, дәстүрлі өндіріс тәсілдері қазіргі заман талаптарына толық жауап бере алмайды. Өндіріс тиімділігін арттыру, қауіпсіздікті күшейту, шығындарды азайту және экологиялық жауапкершілікті қамтамасыз ету үшін цифрлық шешімдерді енгізу қажеттілігі туындап отыр. Цифрландыру тау-кен кәсіпорындарына өндірістік процестерді нақты уақыт режимінде бақылауға, деректер негізінде басқарушылық шешімдер қабылдауға және тәуекелдерді азайтуға мүмкіндік береді. Сондықтан тау-кен саласын цифрландырудың негізгі бағыттарын анықтау және оның артықшылықтарын талдау бүгінгі таңда өзекті ғылыми мәселе болып табылады.

### Геоақпараттық жүйелер (GIS)

Геоақпараттық жүйелер кен орындарын картаға түсіруде және кеңістіктік деректерді басқаруда маңызды рөл атқарады. Олар карьер шекарасын жоспарлау, геологиялық құрылымды талдау және өндірістік қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін қолданылады.

### Қауіпсіздік және мониторинг жүйелері

Цифрлық датчиктер мен мониторинг құралдары өндірістік параметрлерді нақты уақыт режимінде бақылауға мүмкіндік береді. Газ деңгейін, температураны, қысымды және жер қыртысының қозғалысын бақылау апаттардың алдын алуға көмектеседі.

## Цифрландырудың артықшылықтары

### 1. Өнімділікті арттыру

Цифрлық технологиялар өндіріс қарқынын арттырып, ресурстарды тиімді пайдалануға мүмкіндік береді. Жоспарлау дәлдігі жоғарылап, өндірістік шығындар азаяды.

### 2. Қауіпсіздікті күшейту

Қашықтан басқару жүйелері және автоматтандырылған техника жұмысшыларды қауіпті аймақтардан алыстатады. Бұл өндірістік жарақаттардың азаюына ықпал етеді.

### 3. Экономикалық тиімділік

Жөндеу шығындарының қысқаруы, отын үнемдеу және логистиканы оңтайландыру кәсіпорынның табыстылығын арттырады. Инвестициялардың қайтарымдылығы жоғарылайды.

### 4. Экологиялық тұрақтылық

Цифрлық мониторинг қоршаған ортаға әсерді бақылауға мүмкіндік береді. Энергия тұтынуды азайту және эмиссияларды бақылау тұрақты дамуға ықпал етеді.

### Қазақстандағы цифрландыру үрдісі

Қазақстанда өнеркәсіпті цифрландыру мемлекеттік деңгейде қолдау табуда. Елде жүзеге асырылған Цифрлық Қазақстан бағдарламасы экономиканың негізгі салаларын жаңғыртуға бағытталған. Сонымен қатар ірі тау-кен компаниялары өндірісті автоматтандыру, деректерді талдау және қашықтан басқару жүйелерін енгізу бойынша жобаларды іске асыруда. Бұл шаралар елдің тау-кен саласының бәсекеге қабілеттілігін арттыруға мүмкіндік береді.

Қорытындылай келе, тау-кен саласын цифрландыру – уақыт талабы. Автоматтандыру, жасанды интеллект, үлкен деректер және геоақпараттық жүйелер өндірістік тиімділікті арттырудың негізгі құралдарына айналуда.

Цифрлық технологияларды енгізу арқылы тау-кен кәсіпорындары өнімділікті арттырып, шығындарды азайтып, қауіпсіздікті күшейте алады. Сонымен қатар экологиялық тұрақтылықты қамтамасыз етуге мүмкіндік туады.

Қазақстан үшін тау-кен саласын цифрландыру экономиканың тұрақты дамуы мен халықаралық нарықтағы бәсекеге қабілеттілікті сақтаудың маңызды факторы болып табылады.

## Пайдаланылған әдебиеттер

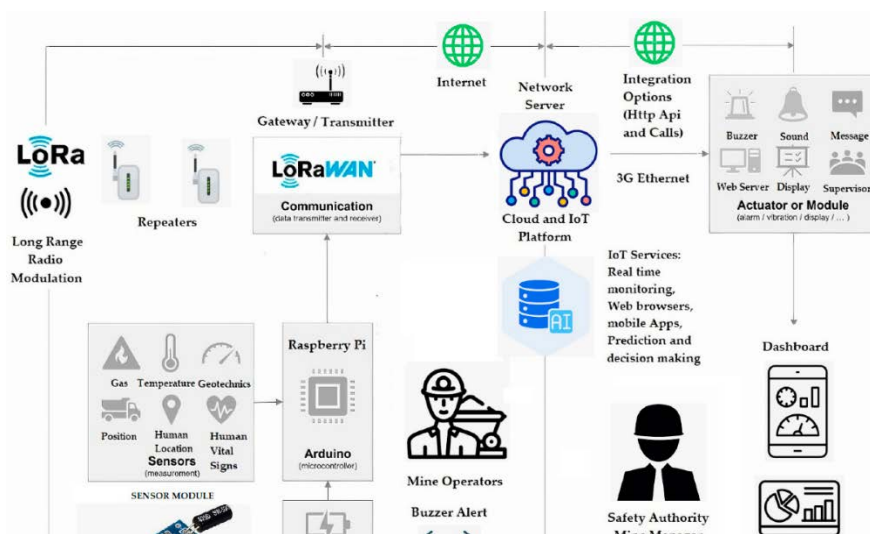
1. Schwab K. Төртінші өнеркәсіптік революция. – Алматы: Ұлттық аударма бюросы, 2019.
2. McKinsey & Company. Тау-кен өндірісіндегі цифрлық инновациялар және өнімділікті арттыру жолдары. – 2018.
3. Deloitte. Тау-кен саласының болашағын айқындайтын негізгі үрдістер. – 2023.
4. OECD. Тау-кен өндірісін цифрландыру және тұрақты даму. – Париж, 2019.
5. Құсайынов А.Қ., Тілеубергенов Е.Б. Тау-кен ісі негіздері. – Алматы: Қазақ университеті, 2019.

## ШАХТА ӨНДІРІСІНДЕ ДЕРЕКЕТЕРДІ ТАЛДАУ АРҚЫЛЫ ЖҰМЫСТЫ БАСҚАРУ

Қазіргі уақытта тау-кен өнеркәсібінде цифрлық технологиялар мен ақпараттық жүйелердің дамуы өндірістік процестерді тиімді басқаруға үлкен мүмкіндік береді [1]. Әсіресе шахта өндірісінде деректерді талдау арқылы жұмысты басқару өндірістің қауіпсіздігін арттыруға, тиімділігін жоғарылатуға және ресурстарды ұтымды пайдалануға көмектеседі. Заманауи шахталарда әртүрлі датчиктер, автоматтандырылған бақылау жүйелері және цифрлық платформалар арқылы үлкен көлемдегі деректер жиналады. Осы деректерді талдау арқылы өндірістік процестерді оңтайландырып, қауіпті жағдайлардың алдын алуға болады. Шахта өндірісінде деректер негізінен түрлі сенсорлар мен бақылау құрылғылары арқылы жиналады [2]. Мысалы, газ датчиктері шахта атмосферасындағы метан мен басқа да газдардың концентрациясын өлшейді, температура және ылғалдылық датчиктері шахтадағы климаттық жағдайларды бақылайды, ал арнайы құрылғылар желдету жүйесінің жұмысын бақылауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар тау-кен техникасының жағдайы, өндіріс қарқыны, энергия тұтыну деңгейі және жұмысшылардың қозғалысы туралы ақпараттар да жүйелі түрде тіркеліп отырады. Осындай үлкен көлемдегі мәліметтерді жинау және өңдеу шахтадағы барлық өндірістік процестер туралы толық ақпарат алуға мүмкіндік береді. Деректерді талдау шахтадағы өндірістік процестерді тиімді жоспарлауға көмектеседі. Мысалы, өндірістік жабдықтардың жұмыс параметрлерін талдау арқылы олардың техникалық жағдайын анықтауға және ықтимал ақауларды алдын ала болжауға болады. Бұл әдіс «болжамдық техникалық қызмет көрсету» деп аталады [3]. Мұндай тәсіл арқылы жабдықтардың күтпеген жерден істен шығуын болдырмауға және жөндеу жұмыстарын уақытында жүргізуге мүмкіндік туады. Нәтижесінде өндірістің тоқтап қалуы азайып, жалпы тиімділік артады. Шахта өндірісінде деректерді талдау қауіпсіздікті қамтамасыз етуде де маңызды рөл атқарады. Мысалы, газ концентрациясы, ауа қозғалысы және температура туралы деректерді үздіксіз талдау арқылы қауіпті жағдайларды ерте анықтауға болады. Егер белгілі бір аймақта метан концентрациясы қауіпті деңгейге жақындаса, жүйе автоматты түрде дабыл беріп, қажетті қауіпсіздік шараларын қабылдауға мүмкіндік береді. Бұл шахтадағы жарылыс қаупін азайтуға және жұмысшылардың өмірін қорғауға көмектеседі. Деректерді талдау шахтадағы жұмысшылардың қауіпсіздігін бақылауда да маңызды құрал болып табылады. Кейбір заманауи шахталарда жұмысшылар арнайы смарт-құрылғылар немесе датчиктері бар каскалар

қолданады. Бұл құрылғылар жұмысшылардың орналасқан жерін, қозғалысын және қоршаған ортаның жағдайын тіркеп отырады [4].

Сонымен қатар деректерді талдау жұмысшылардың қауіпсіздігін арттыруда да маңызды рөл атқарады. Мысалы, арнайы геолокациялық жүйелер арқылы шахтадағы жұмысшылардың орналасқан жерін бақылауға болады. Бұл жүйелер төтенше жағдай кезінде адамдарды тез табуға және эвакуация жұмыстарын тиімді ұйымдастыруға көмектеседі. Сонымен қатар жұмысшылардың қозғалысы мен жұмыс уақыты туралы деректерді талдау



еңбек қауіпсіздігін жақсартуға мүмкіндік береді.

### 1.1 Сурет – Жұмысты басқару жүйесі

Қорытындылай келе, деректерді талдау технологияларын қолдану шахта өндірісіндегі қауіпсіздікті басқарудың маңызды элементіне айналып отыр. Заманауи сенсорлар, автоматтандырылған бақылау жүйелері, үлкен деректер және жасанды интеллект технологиялары шахталардағы қауіпті жағдайларды алдын ала анықтауға мүмкіндік береді. Бұл өз кезегінде өндірістік апаттардың санын азайтып, жұмысшылардың өмірі мен денсаулығын қорғауға ықпал етеді. Сондықтан тау-кен өнеркәсібінің болашағы цифрлық технологияларды кеңінен қолданумен және деректерге негізделген қауіпсіздік жүйелерін дамытуымен тығыз байланысты [5].

*Қолданылған әдебиеттер тізімі*

6. *Introduction to Artificial Neural Networks.* – St. Paul: West Publishing Company, 1992.
7. *Deep Learning.* – Cambridge: MIT Press, 2016.
8. *Society for Mining Metallurgy and Exploration. Mining Engineering Handbook.* – 3rd ed. – Littleton, CO, 2011.
9. *International Council on Mining and Metals. Digital Transformation in Mining Report.* – London, 2020.
10. *International Organization for Standardization. ISO 22400-2:2014 Automation systems and integration – Key performance indicators for manufacturing operations management.* – Geneva, 2014.

## ПРЕДИКТИВНЫЙ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОНИТОРИНГ ОПЕРАТОРОВ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

В условиях цифровой трансформации нефтегазового сектора Казахстана (в частности, на объектах дочерних структур АО «НК «КазМунайГаз») основной упор сегодня делается на аппаратную модернизацию. Компании активно внедряют промышленный интернет вещей (IoT), автоматизируют системы управления (АСУ ТП) и создают цифровые двойники месторождений. Однако статистика реальных инцидентов обнажает уязвимость такого подхода. Несмотря на высокотехнологичное оборудование, подавляющее большинство внеплановых простоев и аварий, включая критические повреждения внутрискважинного инструмента, по-прежнему происходит из-за человеческого фактора.

Проблема кроется в том, что нейрофизиология человека изначально не приспособлена к многочасовой обработке непрерывного потока телеметрии. Операторы центральных диспетчерских пунктов и машинисты буровых установок подвергаются повышенной когнитивной перегрузке. Стандартные регламенты безопасности и графики перерывов оказываются бессильны, когда у работника наступает внезапное психофизиологическое истощение – например, случается микросон или возникает эффект «туннельного зрения».

Мировой промышленный опыт показывает, что эффективное решение этой проблемы лежит в плоскости технологий машинного зрения (Computer Vision). Подобные алгоритмы уже успешно обкатаны и стали стандартом безопасности на открытых горных работах – например, в системах контроля усталости водителей карьерной техники Caterpillar DSS или Hexagon. Мы предлагаем перенести и адаптировать технологию бесконтактного оптического мониторинга для стационарных диспетчерских пунктов и кабин нефтегазового сектора. Это куда более надежная и комфортная альтернатива западным носимым датчикам ЭЭГ (типа SmartCap), которые рабочие часто саботируют из-за физического дискомфорта во время тяжелых 12-часовых смен.

С технической точки зрения процесс реализуется в три взаимосвязанных этапа. На сенсорном уровне в кабине оператора устанавливаются инфракрасные камеры с частотой от 60 кадров в секунду.

Их задача – непрерывно фиксировать окуломоторную активность лица. В первую очередь камеры считывают ключевую психофизиологическую метрику PERCLOS (Percentage of Eye Closure – процент закрытия век) и микросаккады глаз.

Далее массив данных передается на алгоритмический уровень, где обученная нейросеть анализирует изменения. Если алгоритм фиксирует, что взгляд человека замер на одной точке дольше 3-4 секунд, а скорость реакции упала ниже индивидуальной нормы, состояние классифицируется как предаварийное. Наконец, система переходит к активному вмешательству. Вместо банального звукового зуммера, который уставший мозг может просто проигнорировать, комплекс через интеграцию со SCADA-системой предприятия программно блокирует опасные операции на пульте. Это позволяет, к примеру, инициировать автоматический «мягкий стоп» спуска обсадной колонны и передать управление резервному сотруднику.

Внедрение оптического мониторинга не требует капитальной перестройки производственных линий. Для сравнения один час простоя на буровой установки из-за ликвидации последствий аварии обходится предприятию в десятки, если не сотни тысяч долларов, тогда как стоимость комплекта оборудования для оптического мониторинга (ИК-камера и вычислительный модуль) минимальна и многократно окупается предотвращением даже одного техногенного инцидента. При этом необходимо учитывать объективные ограничения технологии: система может быть чувствительна к сильному изменению освещенности или использованию оператором затемненных солнцезащитных очков. Эти проблемы частично нивелируются ИК подсветкой, но требуют калибровки на местах использования.

Таким образом, исключение когнитивной уязвимости персонала позволит отечественным нефтедобывающим компаниям перейти от реактивной борьбы с последствиями аварий к их предотвращению на аппаратном уровне.

#### Список использованных источников

1. Смирнов А.В. Цифровая трансформация промышленной безопасности // Нефтяное хозяйство. – 2022. – № 4. – С. 45-51.
2. Еремин Н.А. Цифровизация процессов нефтегазодобычи // Газовая промышленность. – 2021. – № 6. – С. 120-124.
3. Романов В.В., Ильин А.С. Системы трекинга усталости операторов // Инженерные системы. – 2021. – № 2. – С. 112-118.
4. Computer Vision and PERCLOS metric in Industrial Safety [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.ehstoday.com/technology/cv-perclos](http://www.ehstoday.com/technology/cv-perclos) (дата обращения: 01.03.2026).
5. Jones, M. Evaluating non-contact fatigue monitoring systems in heavy industry // Journal of Safety Research. – 2023. – Vol. 85. – P. 210-218.



## ВЛИЯНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАССЕЙВАНИЕ ВЫБРОСОВ ПТИЦЕВОДЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Деятельность современных птицеводческих предприятий сопровождается образованием значительного количества загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух. Основными источниками выбросов являются помещения для содержания птицы, системы хранения помета, вентиляционные установки, а также энергетические установки, обеспечивающие функционирование производственных объектов. В процессе жизнедеятельности птицы и микробиологического разложения органических отходов образуются аммиак, сероводород, метан, летучие органические соединения и аэрозольные частицы органического и минерального происхождения. Переработка органических отходов на птицеводческих предприятиях становится ключевым шагом к достижению национальной цели по углеродной нейтральности до 2060 года [1].

Распространение указанных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе зависит не только от их количественного состава, но и от метеорологических условий района размещения птицеводческих предприятий. В степных регионах с резко континентальным климатом наблюдаются значительные суточные и сезонные колебания температуры воздуха, а также высокая повторяемость температурных инверсий. В подобных условиях происходит снижение интенсивности вертикального турбулентного обмена, что способствует накоплению загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы.

Одним из ключевых факторов, определяющих условия рассеивания выбросов, является коэффициент стратификации атмосферы, характеризующий интенсивность перемешивания воздушных масс. В условиях устойчивой стратификации атмосферы и равнинного рельефа местности формируются зоны застоя воздуха, в которых наблюдается повышение концентраций загрязняющих веществ вблизи поверхности земли.

Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха может быть выполнена с использованием интегрального показателя:

$$z = \sum \frac{Ci}{ПДК_i},$$

где

$C_i$  – концентрация  $i$ -го загрязняющего вещества в атмосферном воздухе, мг/м<sup>3</sup>;

$ПДК_i$  – предельно допустимая концентрация данного вещества, мг/м<sup>3</sup>.

Данный показатель позволяет учитывать суммарное воздействие нескольких загрязняющих веществ на качество атмосферного воздуха и оценивать степень экологического риска для населения и окружающей среды.

В условиях низкой скорости ветра и повышенной повторяемости штилевых состояний происходит увеличение времени пребывания загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы. Это может приводить к росту их концентраций даже при относительно стабильных объемах выбросов. Для оценки влияния метеорологических условий на процессы рассеивания загрязняющих веществ применяется коэффициент потенциала загрязнения атмосферы, который представляет собой отношение коэффициента стратификации атмосферы к средней скорости ветра.

Увеличение значения данного коэффициента свидетельствует о снижении способности атмосферы к самоочищению и повышении вероятности накопления загрязняющих веществ в приземном слое воздуха.

Анализ деятельности птицеводческих предприятий показывает, что сочетание высокой повторяемости температурных инверсий, слабой ветровой активности и наличия открытых источников образования органических отходов создает предпосылки для формирования локальных зон повышенного загрязнения атмосферного воздуха. В подобных условиях снижается интенсивность рассеивания загрязняющих веществ, что способствует их накоплению в приземном слое атмосферы и повышает вероятность распространения аммиака и пылевых частиц на прилегающие территории, оказывая негативное воздействие на состояние окружающей среды и здоровье населения.

Таким образом, метеорологические условия оказывают существенное влияние на процессы рассеивания выбросов от птицеводческих предприятий, а применение интегральных показателей загрязнения и потенциала загрязнения атмосферы позволяет оценивать экологические риски и обосновывать необходимость внедрения систем экологического мониторинга и мероприятий по снижению выбросов.

#### **Список использованных источников**

*1 Об утверждении Стратегии достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года. Указ Президента Республики Казахстан от 2 февраля 2023 года № 121*

## ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И BIG DATA В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Искусственный интеллект и Big Data находят широкое применение на всех этапах горнодобывающего производства – от геологоразведки до переработки полезных ископаемых. Одним из ключевых направлений является геологоразведка и моделирование месторождений. Алгоритмы машинного обучения позволяют анализировать большие массивы геологических и геофизических данных, повышая точность прогнозирования залежей полезных ископаемых и снижая риски при разведочных работах [1].

Важную роль ИИ играет в оптимизации производственных процессов. На основе данных, поступающих с датчиков оборудования, интеллектуальные системы позволяют прогнозировать возможные отказы техники (предиктивное обслуживание), что снижает простои и эксплуатационные затраты. Кроме того, активно развиваются технологии автономной и роботизированной техники. Использование беспилотных карьерных самосвалов и автоматизированных буровых установок повышает производительность и снижает влияние человеческого фактора, особенно в опасных условиях [2].

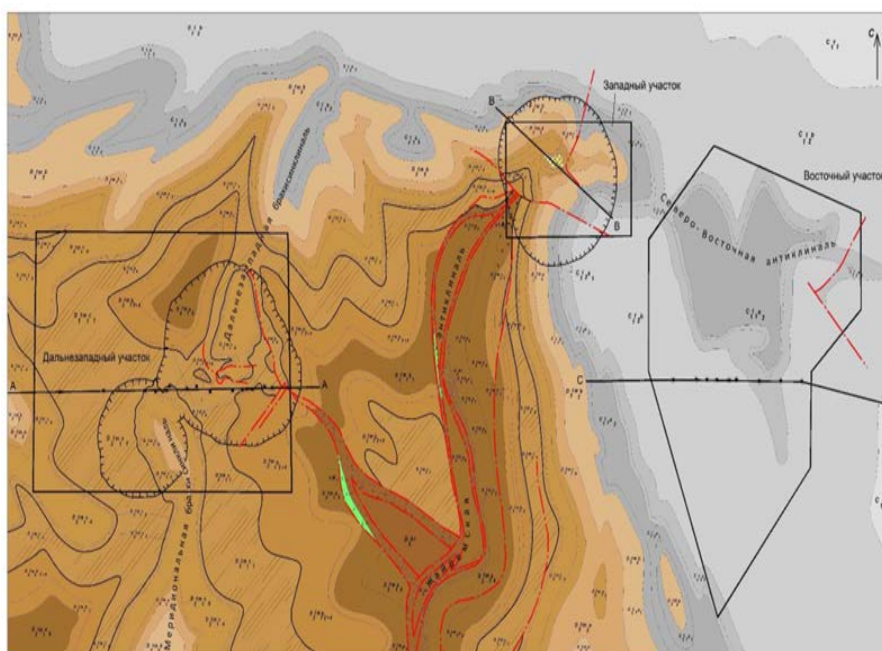


Рисунок 1. Прогнозная динамика развития рынка Big Data решений в горнодобывающей промышленности

В условиях дальнейшей цифровизации экономики роль искусственного интеллекта и Big Data в горнодобывающей промышленности будет только возрастать (Рис 1.). Развитие цифровых двойников предприятий, интеграция ИИ в системы управления и подготовка специалистов с цифровыми компетенциями станут ключевыми направлениями модернизации отрасли. Применение ИИ и Big Data способствует значительному повышению уровня промышленности [3].

Интеллектуальные системы мониторинга позволяют в режиме реального времени отслеживать состояние шахтной атмосферы, устойчивость горных пород и выработок и соблюдение норм охраны труда. С точки зрения устойчивого развития цифровые технологии обеспечивают снижение экологической нагрузки. Анализ больших данных помогает оптимизировать энергопотребление, водопользование и управление отходами, что способствует принципам «зелёной» экономики и экологической ответственности предприятий. В условиях дальнейшей цифровизации экономики роль ИИ и Big Data в горнодобывающей промышленности будет только возрастать. Важным направлением является использование ИИ в контроле качества минерального сырья. Системы компьютерного зрения и интеллектуального анализа данных позволяет оптимизировать маршруты транспортировки руды, снизить затраты на топливо и минимизировать потери времени при погрузочно-разгрузочных работах. Важным направлением является использование ИИ в контроле качества минерального сырья. Современные горнодобывающие предприятия нуждаются в специалистах, обладающих не только инженерными знаниями, но и цифровыми платформами [4].

Их внедрение способствует повышению эффективности производства, улучшению безопасности труда и снижению экологических рисков. Проектирование и планирование горных работ с применением Big Data выполнено и рассчитаны параметры графика работы горных работ, при помощи Big Data производится оптимизация календарного плана горных работ с учётом экономических показателей и сроков реализации производственных процессов [5].

#### *Список использованных источников*

1. Scwab K. *The fourth industrial revolution*. – Geneva. World economic forum. 2016.
2. Mckinsey Company . *How digital innovation can improve mining productivity*. – Mc Kinsey Global 2017
3. IBM Corporation. *Artifical INTELLEGENCE and Big Data Analytics in the mining industry* . – IBM 2019.
4. Deloitte. *Tracking the Trebds 2023. The top trends in mining and metals.- DM.2023.*
5. World economic forum. *Mining and Metals Industry*. Geneva. 2017.

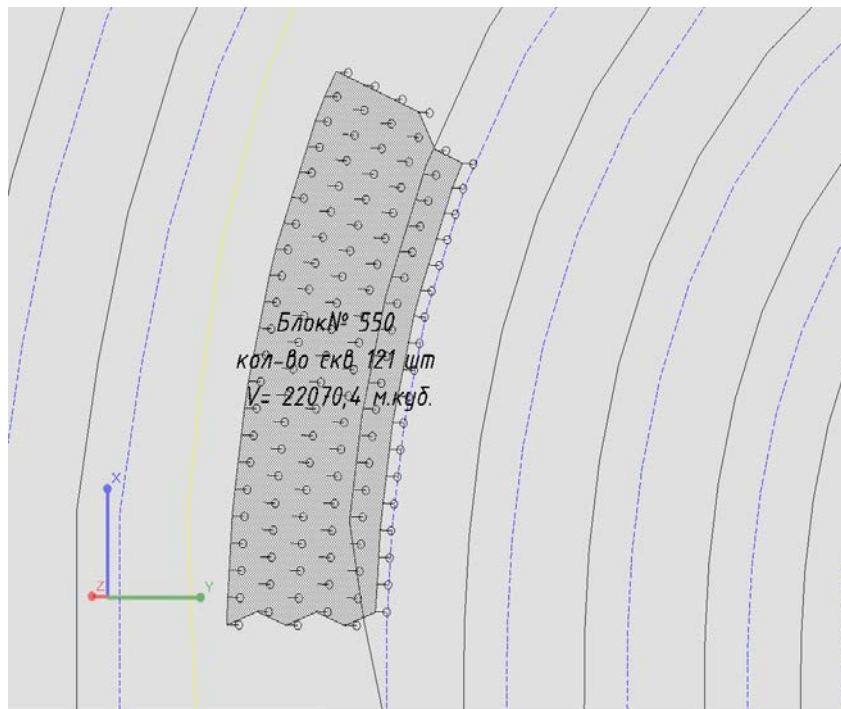
## КАРЬЕР ЖАҒДАУЛАРЫНЫҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ ҮШІН БҰРҒЫЛАП- ЖАРУ ЖҰМЫСТАРЫНЫҢ ПАРАМЕТРЛЕРІН ОҢТАЙЛАНДЫРУ

Карьер жағдауларының тұрақтылығына жарылыс жұмыстарының теріс әсерін азайту негізінен келесі шаралар арқылы жүзеге асырылады: жарылыс жүргізілетін учаскені қорғалатын массивтен экрандау; бәсеңдету сатысындағы жарылғыш заттың (ЖЗ) массасын өзгерту; топтағы зарядтардың жарылыстары арасындағы бәсеңдету уақытын өзгерту [1]. Сонымен қатар қолданылатын жарылғыш заттың түрін және контурлық зарядтардың конструкцияларын өзгерту де мүмкін. Белгілі бір кәсіпорын үшін жарылыстың теріс әсерін төмендету тәсілдерін әзірлеу, әдетте, жеке тәртіппен жүзеге асырылады. Карьердегі жарылыс жұмыстарын контурдан тыс массивтегі тау жыныстарының сейсмикалық тербеліс жылдамдығы олардың тұрақтылығы бойынша рұқсат етілетін шекті мәндерден аспайтындай етіп жүргізу қажет. Сейсмикалық тербеліс жылдамдығының рұқсат етілетін мәнін анықтау үшін рұқсат етілетін динамикалық кернеуді белгілеу қажет. Рұқсат етілетін динамикалық беріктік шегі тау жыныстары массивінің сейсмотұрақтылық шартына сәйкес анықталады [2].

№ 550 блок үшін К-mine бағдарламасында БЖЖ паспорты жасалды (1.1-сурет). Сондай-ақ жүргізілген есептеулер нәтижесінде жару ұңғымасының бір погон метрінен алынатын тау жынысы массасының шығымы артатыны және ЖИЗ санының көбеюімен жарылғыш заттардың меншікті шығынының төмендейтіні анықталды. Осылайша, талдау нәтижелері ұңғымалық зарядтарды бытыраңқылық әдісімен және ауа аралықтарын қолдану арқылы бұрғылап-жару жұмыстарын жетілдіру тау жыныстарының бұзылу үдерісін басқарудың тиімді құралы болып табылатынын көрсетеді [3]. Әртүрлі блоктар үшін бұрғылап-жару жұмыстарының параметрлерін есептеу жарылатын массивтің біртекті еместігіне және әрбір кен орнының геологиялық-құрылымдық ерекшеліктерінің бірегейлігіне байланысты бағдарлы (ориентировочный) сипатта болып табылады. Әрбір массив басқа массивтен жарықшақтылық дәрежесі, жыныстардың сипаттамалары, сулануы, қабаттас жыныстардың өлшемдері және басқа да критерийлер бойынша ерекшеленеді. Осыған байланысты, әрбір нақты жарылатын массивке қатысты бұрғылап-жару жұмыстарының типтік жобасын орындау кезінде геологиялық деректер, тәжірибелік және өндірістік жарылыстардың нәтижелері, ғылым-техникалық әзірлемелер, осындай жағдайларда жарылыс жұмыстары технологиясын енгізудің озық өндірістік тәжірибесі,

сондайақ қауіпсіздік ережелерінің талаптары негізінде түзетуші коэффициенттер енгізілуі тиіс [4].

Сондайақ жүргізілген есептеулер нәтижесінде жару ұңғымасының бір погон метрінен алынатын тау жынысы массасының шығымы артатыны және ЖИЗ санының көбеюімен жарылғыш заттардың меншікті шығынының төмендейтіні анықталды.



### 1.1 Сурет - № 550 блок үшін жару технологиясын қолдана отырып жасалған бұрғылап- жару жұмыстарының паспорты

Әртүрлі блоктар үшін бұрғылап-жару жұмыстарының параметрлерін есептеу жарылатын массивтің біртекті еместігіне және әрбір кен орнының геологиялық-құрылымдық ерекшеліктерінің бірегейлігіне байланысты бағдарлы (ориентировочный) сипатта болып табылады. Аталған тәсілдерді іске асыру тау жыныстарының қажетті ұсақталу сапасын қамтамасыз етуге, жарылыстың приконтурлық аймаққа тигізетін теріс әсерін азайтуға, сондай-ақ карьер жағдаулары мен сақтандыру бермдерінің жобалық параметрлерінің сақталуын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді [5]

*Қолданылған әдебиеттер тізімі*

1. Кутузов Б.Н. Взрывные работы в горном деле. – М.: Недра, 1989. – 368 с.
2. Марченко Л.Н. Рациональные конструкции скважинных зарядов при массовых взрывах. – М.: Недра, 1985. – 256 с.
3. Ржевский В.В., Новожилов М.Г. Открытые горные работы. – М.: Недра, 1984. – 552 с.
4. Хан Г.Н., Садыков А.С. Буровзрывные работы в карьерах. – Алматы: Ғылым, 2006. – 312 б.
5. СНиП, ЕПБ Единые правила безопасности при взрывных работах. – М.: Ростехнадзор, 2014.

## ПРИМЕНЕНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОГРАММЕ DATAMINE ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ

В статье рассмотрено программное обеспечение Datamine, применяемое в горной промышленности для геологического моделирования, планирования и оптимизации горных работ. Приведены основные модули платформы, описаны этапы её внедрения и преимущества интеграции в производственный процесс. Отмечено, что использование Datamine позволяет повысить точность оценки запасов, оптимизировать производственные решения и обеспечить эффективное управление данными при открытых и подземных горных разработках [1].

Методическая часть исследования основана на комплексном подходе к оценке функциональных возможностей платформы Datamine в горном производстве. Цель методики заключается в определении эффективности применения программных модулей Datamine для решения задач геологического моделирования, планирования горных работ и управления производственными процессами. Исследование проводилось в несколько этапов. Анализ исходных данных. На первом этапе были собраны и проанализированы входные данные, используемые в системах Datamine: буровые журналы, результаты лабораторных анализов, топографическая съёмка и технологические параметры горных работ. Создание геологической модели.

На основе данных бурения и литологических разрезов в модуле Datamine Studio RM были построены проводные (wireframe) модели рудных тел, определены контуры минерализации и выполнена пространственная интерполяция с использованием метода кригинга. Построение блок-модели. На основании трёхмерной геологической модели была создана блок-модель с распределением содержания полезного компонента по объёму рудного тела. Проведена оценка запасов и классификация категорий (measured, indicated, inferred) в соответствии с международными стандартами JORC (Рисунок 1).

Проектирование и планирование горных работ. С использованием модуля Datamine Studio OP выполнено проектирование карьера: оптимизация контуров, расчёт откосов, транспортных берм и рабочих горизонтов. Затем с помощью модуля NPV Scheduler [2].



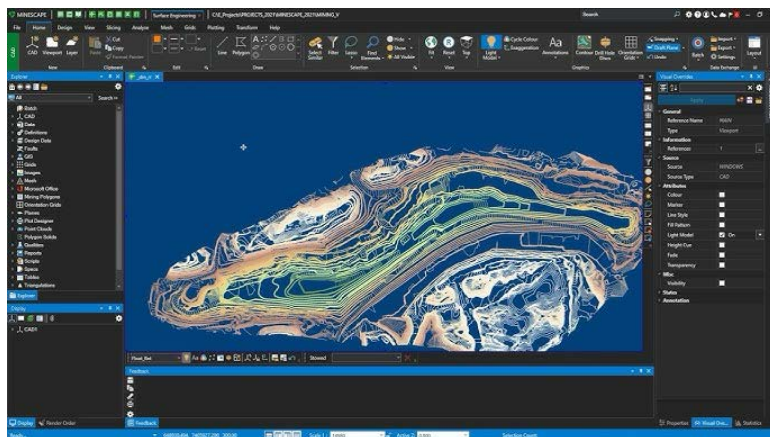


Рисунок 1. Моделирование в программе “Datamine”

Методологической основой исследования является комплексная оценка функциональных возможностей программной платформы Datamine при решении производственных задач горнодобывающих предприятий. Основная цель заключалась в определении результативности применения модулей Datamine для геологического моделирования, проектирования и стратегического планирования горных работ. Исследование включало несколько последовательных этапов: Подготовка и анализ исходной информации. В программном модуле Datamine Studio RM выполнено построение каркасных (wireframe) моделей рудных тел на основе буровых разрезов и литологических данных. Определены границы минерализации, произведена пространственная оценка содержания полезных компонентов с применением геостатистических методов, включая ординарный кригинг. Создание блоковой модели. На базе трёхмерной геологической модели сформирована блок-модель месторождения с распределением показателей качества по объёму рудного тела. Проведён подсчёт запасов и их классификация по категориям *measured*, *indicated* и *inferred* в соответствии со стандартами JORC. Проектирование и планирование горных работ. С применением Datamine Studio OP выполнено проектирование контуров карьера, рассчитаны параметры уступов, транспортных берм и углов откосов. Далее при помощи модуля NPV Scheduler произведена оптимизация календарного плана горных работ с учётом экономических показателей и сроков реализации проекта [3].

#### *Список литературы*

1. Datamine Software Group. Official website: <https://www.dataminesoftware.com>
2. Dimitrakopoulos R. “Geostatistics and resource estimation: Applications in mining.” *International Journal of Mining Science and Technology*, 2021.
3. Wills B. A., Finch J. Wills’ *Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery*. 9th Edition. Elsevier, 2016.



## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКСКАВАТОРА HITACHI EX3600E-6 В УСЛОВИЯХ ГОРНЫХ РАЗРАБОТОК

В статье рассматриваются конструктивные особенности и эксплуатационные преимущества экскаватора Hitachi EX3600E-6, используемого в условиях открытых горных разработок. Приводится описание применения экскаватора на карьере АО «Качары Руда» с характеристикой вскрытия рабочих горизонтов и технологической схемы транспортировки горной массы. Показано, что использование экскаватора EX3600E-6 в сочетании с автомобильно-железнодорожным транспортом позволяет обеспечить требуемые объемы добычи и увеличить их до 138 млн тонн [1].

**Материалы и методы:** В конструкции экскаватора HITACHI EX3600E-6 применяются гидравлические насосы с электронным управлением, оптимизированная система охлаждения, усовершенствованные гидравлические контуры, а также предлагается выбор систем снижения вредных выбросов, чтобы соответствовать требованиям экологических стандартов. В результате появилась машина, созданная с учетом экологических требований без потери производительности. В экскаваторах серии HITACHI EX3600E-6 воплощены передовые конструкторские разработки Hitachi в целях обеспечения соответствия жестким требованиям, предъявляемым к машинам, эксплуатируемым в горной промышленности. Изначально разработанные для достижения баланса между производительностью и надежностью, экскаваторы EX3600E-6 устанавливают новые стандарты. Спроектированные со всей точностью и педантичностью, характерными для инженеров Hitachi, экскаваторы отличаются высокой надежностью и универсальностью применения. В процессе эксплуатации каждого поколения техники компания Hitachi собирает и анализирует новые запросы, возникающие на рабочих площадках. Результаты этого анализа становятся основой для создания нового, еще более совершенного поколения [2].

Карьер АО Качары Руда вскрыт постоянной северо-западной и временными восточной, юго-западной и южной траншеями. Постоянная совмещенная северо-западная автомобильно-железнодорожная траншея проходит вдоль западного и юго-западного бортов карьера и служит для связи рабочих горизонтов с железнодорожным отвалом №7. Через железнодорожную станцию 97 м этой траншеей со стороны южного и восточного бортов карьера вскрываются рабочие горизонты с помощью экскаватора HITACHI EX3600E-6 в интервале отметок 97 м – ( $\pm$ ) 0 м, а со

стороны западного борта через станцию 45 м и станцию (–) 75 м (в восточном борту карьера) рабочие горизонты в интервале отметок 45 м – (–) 105 м с экскаватором и с его параметрами HITACHI 3600E-6 (Рисунок 1) В восточном борту северо–западной траншеи предусмотрен дополнительный железнодорожный выезд, связывающий рабочие горизонты северного борта карьера в интервале отметок 142 м – пов. с отвалом № 4. Временная восточная траншея обеспечивает прямыми железнодорожными заездами рабочие горизонты покрывающей толщи восточного и северного бортов карьера в интервале отметок 72 м – пов. и часть верхних горизонтов южного борта, порода с которых вывозится в железнодорожный отвал № 3 [3].

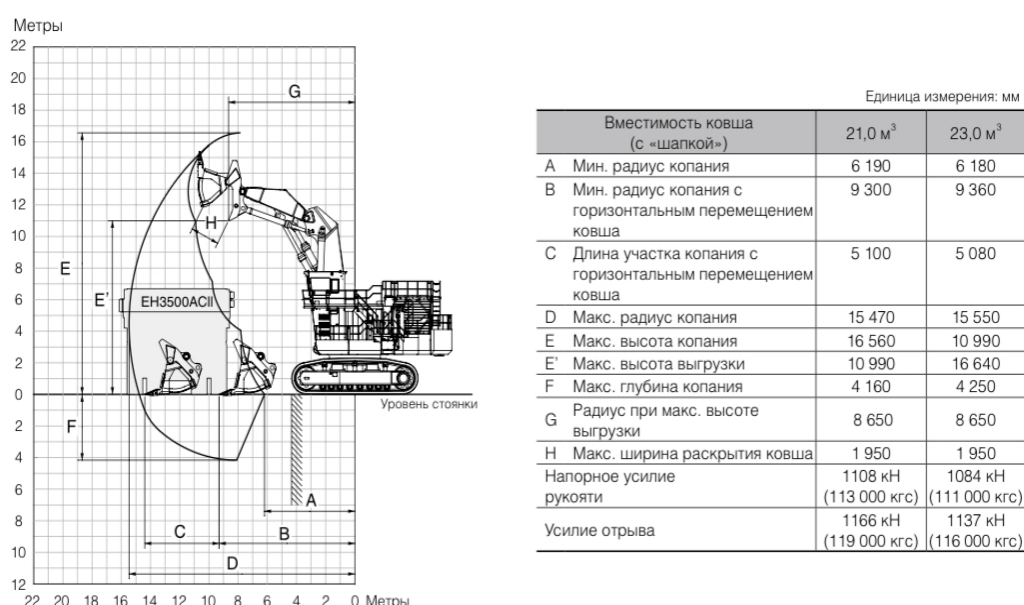


Рисунок 1 – Эксплуатационные параметры экскаватора HITACHI EX3600E-6 при вскрыше и добыче горных разработок.

Основной автомобильный выезд из карьера приурочен к северо–западной траншее и представляет собой систему автомобильных съездов, расположенных, в основном, вдоль западного и южного бортов с поверхности до дна карьера в котором работает по добыче экскаватор HITACHI EX3600E-6.

Список использованных источников

1. Hitachi Construction Machinery. EX3600-6 Hydraulic Excavator: Product Brochure. – Tokyo: Hitachi Ltd., 2020. – 28 p.
2. Hitachi Construction Machinery. Mining Excavators and Shovels: Technical Specifications. – Official website: <https://www.hitachicm.com>.
3. АО «Качарская руда». Отчет о производственной деятельности и технологической схеме вскрыши. – Рудный, 2023. – 64 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЯВЛЕНИЙ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ИХ КОНТУРОВ

По мере увеличения глубины горных работ (до 800–900 м) состояние пластовых выемочных выработок заметно ухудшилось: ежегодному ремонту подвергается 15–25 % таких выработок. При этом трудозатраты на их поддержание значительно возрастают с увеличением глубины: если на 1 км при глубине 500 м требуется около 550 чел./смен, то при глубине 800 м этот показатель достигает уже 2000 чел./смен.

Поддерживающее давление от очистных работ распространяется на значительные расстояния впереди забоя (10-50 м) и в боковых (до 15-20 м) зонах, где расположены выемочные работы. 25-45% общей длины подготовительных выработок подвержены постоянному влиянию очистных работ.

Арочные трехбалочные системы поддержек с грузоподъемностью в вещественном режиме 140-220 кН и в жестком режиме 260-350 кН при смещении 0,3 м не всегда достаточны для поддержки выработок в состоянии, которое можно восстановить в том смысле, что оно требует дальнейшего использования жестких и гибких опор, которые загромождают выработки и повышают стоимость их обслуживания, а также каркасные и анкерные опоры в условиях значительного залегания, смещения горных пород и динамических проявлений поддерживающего давления, для снижения нагрузки за счет совместного действия опор с прилегающим массивом.

Значимым горно-техническим фактором, улучшающим состояние выработки, является несущая способность крепи. Обычно в шахтах бассейна применяемая арочная металлическая крепь из спец-профиля устанавливаются через 1,0 – 0,5 м (реже через 0.25 м), что обеспечивает отпор 20 – 50–70 кН/м<sup>2</sup>. Из практики, такой реакции крепи совершенно недостаточно для эффективного поддержания выработок с увеличением глубины разработки. Поэтому на шахтах используется дополнительное укрепление креплений выемочных выработок в зоне влияния выемочных работ из крепи УКР к продольным профилям, гидростойкам или стойкам, что увеличивает стоимость и трудоемкость поддержания.

В отличие от рамных крепей, анкерные могут возводиться в предельно-натянтом состоянии, в связи с чем, сразу после возведения крепи, сцепление по тектоническим плоскостям или трещинам пород увеличивается. Анкерные системы фиксируют породу, сохраняя пределы

подвижности кровли, а также за счет горизонтального давления помогает держать кровлю вверх, не позволяя ей оторваться [1, 2].

Наилучшие условия эксплуатации угольных шахт обеспечивают теория анкерной крепи, работающей совместно с окружающими породами. Оптимальный вариант крепления будет осуществлён, когда рабочая характеристика крепления будет равно деформационной характеристике контурного массива или решённому предельному напряжению в массиве [3, 4]. При использовании сталеполимерных анкеров с закреплением по всей длине шнура увеличивается агрегатная прочность массива (приближенная к прочности нетронутого массива) и создается несущая балка. Анкер с полимерным составом оказывает высокое сопротивление сдвигениям пород в самой начальной стадии, т.е. в тот момент, когда на деформирование приконтурного массива ещё можно повлиять.

Анкерная крепь, работая на растяжение, удерживает анкеруемые породы от расслоения, сдвигения и разрушения. В породах со слоистой структурой слои неустойчивой непосредственной кровли либо прикрепляются (подшиваются) анкерами к устойчивой основной кровли, либо отдельные слои пород анкерами скрепляются в одну монолитную плиту, которая способна воспринимать нагрузку от вышележащих горных пород. В породах с неслоистой структурой анкера, закрепленные за пределами свода естественного обрушения, противостоят растягивающим усилиям в породах свода.

Задачами исследований являются: обоснование методов управления состоянием массива сооружением рациональных крепежных конструкций; установление закономерностей перераспределения горного давления и параметров сдвигения горных пород, характера сдвигения заанкерированных пород при их разнообразном структурном строении и горно-технологических факторах; определение закономерностей проявления горного давления на крепь вне зоны и в зоне влияния очистных работ, смещений пород кровли, почвы, боков выработок; моделирование и установление параметров анкерного крепления горных выработок посредством эффективного упрочнения ослабленных зон.

*Список использованной литературы*

1 Демин В.Ф., Баймульдин М.М., Демина Т.В. Оценка технологических схем развития горных работ в практике отработки угольных пластов. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). № 3, 2013. – С. 5-15.

2 Демин В.Ф., Журов В.В., Демина Т.В. Разработке прогрессивной технологии и систем анкерного крепления подготовительных выработок с учетом геомеханического состояния массива горных пород. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). № 2, 2013. – С. 18-25.

3 Векслер Ю.А., Демин В.Ф., Балабас А.Ю. Компьютерное моделирование напряженного состояния вокруг горных выработок (тезисы). Труды Международного симпозиума «Информационно-коммуникационные технологии в промышленности, образовании и науке», часть 3, 2012. – С. 68-70.

4 Демин В.Ф., Демина Т.В., Баймульдин М.М. и др. Компьютерное моделирование напряженного состояния приконтурных пород вокруг выработок (тезисы). Труды Международного симпозиума «Информационно-коммуникационные технологии в промышленности, образовании и науке», часть 3, 2012. – С. 109-111.

## ТАУ-КЕН ӨНЕРКӘСІБІНДЕ ТИІМДІЛІК ПЕН ТҰРАҚТЫ ДАМУДЫ АРТТЫРУДАҒЫ АВТОМАТТАНДЫРУ МЕН ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТІҢ РӨЛІ

Тау-кен өнеркәсібі әлемдік экономикада маңызды орын алып, әртүрлі салаларды қажетті шикізатпен қамтамасыз етеді. Алайда қазіргі кезеңде бұл сала өндірістік шығындардың өсуі, экологиялық талаптардың күшеюі, еңбек қауіпсіздігін арттыру қажеттілігі сияқты экономикалық, экологиялық және әлеуметтік сын-қатерлерге тап болып отыр. Осыған байланысты автоматтандыру мен жасанды интеллект технологиялары тау-кен өндірісін трансформациялаудың негізгі құралдарына айналууда.

Автоматтандырылған жүйелерді, соның ішінде автономды көлік құралдарын, роботтандырылған кешендерді және автоматтандырылған бұрғылау-жару қондырғыларын енгізу өндіріс тиімділігін арттыруға, адам факторының әсерін азайтуға және өндірістегі апаттық жағдайлардың санын төмендетуге мүмкіндік береді. Жасанды интеллект технологиялары жабдықтардың техникалық жағдайын алдын ала болжау, пайдалы қазбалар қорын тиімді басқару, геологиялық деректерді талдау және қоршаған ортаның жағдайын нақты уақыт режимінде бақылау үшін кеңінен қолданылады.

Автоматтандыру мен жасанды интеллектті қолдану табиғи ресурстарды ұтымды пайдалануға, өндірістік қалдықтарды азайтуға және қоршаған ортаға келетін теріс әсерді төмендетуге ықпал етеді. Дегенмен, бұл технологияларды енгізу жоғары бастапқы инвестицияларды, сапалы деректердің болуын және білікті мамандарды даярлауды талап етеді. Жалпы алғанда, автоматтандыру мен жасанды интеллект тау-кен өнеркәсібінің тиімділігін, қауіпсіздігін және тұрақты дамуын қамтамасыз ететін негізгі факторлар болып табылады.

Сонымен қатар, жасанды интеллект негізінде жұмыс істейтін интеллектуалды басқару жүйелері тау-кен кәсіпорындарында өндірістік процестерді кешенді оңтайландыруға мүмкіндік береді. Мұндай жүйелер кен өндірудің барлық кезеңдерінде деректерді жинау, өңдеу және талдау арқылы басқарушылық шешімдердің дәлдігін арттырады. Мысалы, машиналық оқыту алгоритмдері кен кен құрамын алдын ала болжауға, кеніштердің жұмыс режимін оңтайландыруға және жабдықтардың істен шығу ықтималдығын ерте анықтауға жағдай жасайды. Бұл өз кезегінде жоспардан тыс тоқтауларды азайтып, өндірістің үздіксіздігін қамтамасыз етеді.

Цифрлық технологиялар мен автоматтандырылған жүйелерді енгізу еңбек өнімділігінің артуына да айтарлықтай әсер етеді. Қауіпті және ауыр жұмыстардың роботтандырылған кешендер арқылы орындалуы адам өміріне төнетін тәуекелдерді төмендетіп, өндірістегі жарақаттану деңгейін азайтады. Сонымен бірге, қашықтан басқару және мониторинг жүйелері арқылы кен орындарындағы процестерді нақты уақыт режимінде бақылау мүмкіндігі артып, өндірістік тәртіп күшейеді.

Тау-кен өнеркәсібінде жасанды интеллектті қолдану экологиялық тұрақтылықты қамтамасыз етудің маңызды құралы болып табылады. Қоршаған ортаны мониторингтеу жүйелері ауа, су және топырақ сапасының өзгерістерін үздіксіз бақылап, экологиялық қауіптердің алдын алуға мүмкіндік береді. Өндірістік қалдықтарды басқару мен энергия тұтынуды оңтайландыру арқылы табиғи ресурстарды үнемді пайдалану жүзеге асырылады. Жасанды интеллектке негізделген талдау әдістері өндірістік процестердің қоршаған ортаға әсерін алдын ала болжауға, зиянды шығарындылардың көлемін азайтуға және апаттық жағдайлардың туындау ықтималдығын төмендетуге жағдай жасайды. Сонымен қатар, бұл технологиялар табиғи ресурстарды пайдалану тиімділігін арттырып, кен өндіру барысында пайдалы қазбалардың жоғалуын азайтуға ықпал етеді. Өндірістік қалдықтарды басқаруды автоматтандыру арқылы қалдықтардың қайта өңделу деңгейі артып, қоршаған ортаға түсетін жүктеме төмендейді. Энергия тұтынуды интеллектуалды басқару жүйелері электр энергиясы мен отын ресурстарын үнемдеуге мүмкіндік беріп, өндірістің экологиялық ізін қысқартуға септігін тигізеді.

Осылайша, автоматтандыру мен жасанды интеллектті тау-кен өнеркәсібіне кеңінен енгізу саланың бәсекеге қабілеттілігін арттырып қана қоймай, оның ұзақ мерзімді тұрақты дамуына негіз қалайды. Бұл технологиялар өндірістің экономикалық тиімділігін арттырумен қатар, әлеуметтік және экологиялық жауапкершілікті күшейтуге бағытталған заманауи тау-кен өндірісінің ажырамас бөлігі болып табылады.

Қорытындылай келе, автоматтандыру мен ЖИ кен өндіруді қауіпсіз, тиімді және экологиялық жағынан тұрақты етуге мүмкіндік береді, ал олардың кеңінен қолданылуы үшін зерттеу, инвестиция және нормативтік реттеу маңызды.

Қолданылған әдебиеттер:

1. Saleem, H.A (2025). Autmatiln and artificial intelligence in enchancing mining efficiency and sustainability: A review. *Procedia Environmental science ,Engineering and Management* 12(1) 213-228
2. Cacciutolo , C., Guzman, V., CAtrinir, P., Atencio, E., et al. (2023) .Low-cost sensors technologies for monitoring sustainability and safety issues in mining activites. *Sensors* ,23,6846
3. Long ,M.,Schafrik, S., kolapo, P., agiotantis ,Z., Sottie ,J (2024) Equipment and operations automation in mining : a review 12,713
4. Ali, D., & Frimpong, S.(2020). Artifical intelligence ,machine learning and procces automation : existing knowledge frontier and way forward for mining sector. *Artifical Intelligence Review* , 53, 6025-6042
5. Onifade, M., (2023) . safe mining operation through technologicaladv ancement. *Process Safety and Environmental Protection* 175, 251-258

## ЦИФРЛЫҚ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЖАҒДАЙЫНДАҒЫ ТАУ-КЕН КЕШЕНІНІҢ ДАМУЫ

Қазіргі таңда цифрлық трансформация тау-кен кешенінің дамуын айқындайтын негізгі факторлардың біріне айналды. Әлемдік экономиканың цифрлануы, өндірістік тиімділікті арттыру қажеттілігі және қауіпсіздік талаптарының күшеюі тау-кен саласын жаңа технологияларды енгізуге итермелеуде. Дәстүрлі өндіріс модельдері біртіндеп «ақылды кеніш» тұжырымдамасына ауысып, деректерге негізделген басқару жүйелері қалыптасуда.

Цифрлық технологияларды енгізу өндірістік процестерді автоматтандыру мен оңтайландыруға мүмкіндік береді. Геологиялық барлау кезеңінде 3D-модельдеу, Big Data талдауы және жасанды интеллект құралдары пайдалы қазбалардың қорын дәлірек бағалауға жағдай жасайды. Өндіру барысында датчиктер мен IoT жүйелері жабдықтардың техникалық жағдайын онлайн режимде бақылап, апаттық жағдайлардың алдын алуға көмектеседі. Бұл өз кезегінде шығындарды азайтып, еңбек өнімділігін арттырады.

Сонымен қатар, цифрлық трансформация өндірістік қауіпсіздік деңгейін жаңа сатыға көтереді. Автоматтандырылған бұрғылау кешендері, қашықтан басқарылатын техника және роботтандырылған жүйелер адам факторын азайтып, қауіпті аймақтардағы жұмысшылар санын қысқартады. Нәтижесінде жарақат алу тәуекелі төмендейді және еңбек жағдайы жақсарады.

Тау-кен кешенінің цифрлық дамуы экологиялық тұрақтылыққа да ықпал етеді. Сандық мониторинг жүйелері ауа мен су сапасын бақылауға, қалдықтарды басқаруға және энергия тұтынуды оңтайландыруға мүмкіндік береді. Бұл ESG қағидаттарына сәйкес келетін жауапты өндіріс моделін қалыптастыруға жол ашады.

Алайда цифрлық трансформацияны жүзеге асыру белгілі бір қиындықтармен қатар жүреді. Жоғары инвестициялық шығындар, білікті IT-мамандардың тапшылығы және киберқауіпсіздік мәселелері кәсіпорындар үшін өзекті болып отыр. Сондықтан цифрландыру процесі кезең-кезеңімен, стратегиялық жоспарлау негізінде жүргізілуі тиіс.

Маңызды бағыттардың бірі – цифрлық егіз (digital twin) технологиясын енгізу. Кен орнының немесе жекелеген жабдықтың виртуалды моделін құру арқылы өндірістік процестерді алдын ала сынақтан

өткізуге, тәуекелдерді болжауға және техникалық ақауларды ерте кезеңде анықтауға болады. Мұндай шешімдер жөндеу шығындарын қысқартып, жабдықтың қызмет ету мерзімін ұзартады.

Сонымен қатар, блокчейн технологиясы шикізаттың жеткізу тізбегін толық бақылауға мүмкіндік береді. Бұл пайдалы қазбалардың шығу тегін растауға, көлеңкелі айналымды азайтуға және халықаралық нарықтағы сенімділікті арттыруға ықпал етеді. Әсіресе экспортқа бағытталған кәсіпорындар үшін бұл фактор стратегиялық маңызға ие.

Адами капиталды дамыту да цифрлық трансформацияның ажырамас бөлігі болып табылады. Заманауи тау-кен инженері тек техникалық біліммен шектелмей, деректерді талдау, автоматтандырылған жүйелермен жұмыс істеу және киберқауіпсіздік негіздерін меңгеруі тиіс. Сондықтан жоғары оқу орындары мен өндіріс арасындағы серіктестік жаңа буын мамандарын даярлауда шешуші рөл атқарады.

Цифрлық трансформация тау-кен кешенін инновациялық, икемді және жаһандық талаптарға бейімделген салаға айналдырудың басты тетігі болып отыр.

Қосымша атап өту қажет жайт – цифрлық трансформация өндірістің икемділігін арттырады. Нарықтағы баға ауытқулары мен сұраныс өзгерістеріне жедел жауап беру үшін кәсіпорындар жедел аналитика және бұлттық платформаларды пайдаланады.

Қорытындылай келе, цифрлық трансформация тау-кен кешенінің бәсекеге қабілеттілігін арттырып, өндірістің тиімділігі мен қауіпсіздігін қамтамасыз ететін басты бағыт болып табылады. Болашақта деректерге негізделген басқару жүйелері мен интеллектуалды технологиялар саланың тұрақты дамуының іргетасына айналмақ.

Цифрлық трансформация жағдайында тау-кен кешенінің дамуы тек технологиялық жаңарумен шектелмейді, ол басқару философиясының түбегейлі өзгеруін білдіреді. Қазіргі кәсіпорындар деректерді стратегиялық ресурс ретінде қарастырып, өндірістік шешімдерді интуицияға емес, нақты аналитикаға сүйене отырып қабылдайды. Бұл тәсіл операциялық жоспарлаудың дәлдігін арттырып, ұзақ мерзімді инвестициялық саясатты тиімді қалыптастыруға мүмкіндік береді.

#### Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Қазақстан Республикасының Президенті. «Цифрлық Қазақстан» мемлекеттік бағдарламасы. – Астана, 2017
2. Қазақстан Республикасының Индустрия және инфрақұрылымдық даму министрлігі. Тау-кен металлургия кешенін дамытудың 2020–2025 жылдарға арналған тұжырымдамасы. – Нұр-Сұлтан, 2020.
3. Porter, M.E., Heppelmann, J.E. How Smart, Connected Products Are Transforming Competition. – Harvard Business Review, 2014.
4. Schwab, K. The Fourth Industrial Revolution. – Geneva: World Economic Forum, 2016.
5. International Council on Mining and Metals (ICMM). Mining Principles and Performance Expectations. – London, 2020



## МОДУЛЬ ДЕФОРМАЦИИ КАК ХАРАКТЕРИСТИКА ЖЕСТКОСТИ МАТЕРИАЛА

В современной инженерной практике одной из важнейших задач является оценка механических свойств материалов, используемых в конструкциях, оборудовании и производственных системах. Особое значение среди этих характеристик имеет модуль деформации, который отражает способность материала сопротивляться внешним нагрузкам и сохранять свою форму. Именно этот параметр позволяет судить о жёсткости материала и его пригодности для эксплуатации в различных технологических условиях.

Жёсткость материала представляет собой его способность сопротивляться упругой деформации под действием внешних сил. При приложении нагрузки любое твёрдое тело изменяет свои размеры и форму. Однако степень этого изменения зависит от внутренней структуры материала, силы межатомных связей и характера распределения напряжений внутри тела. Чем меньше деформация при одинаковой нагрузке, тем более жёстким считается материал.

Количественно модуль деформации определяется как отношение приращения напряжения к соответствующему приращению относительной деформации:

$$E = \Delta\sigma / \Delta\varepsilon$$

Где:

$E$  — модуль деформации,

$\Delta\sigma$  — приращение напряжения,

$\Delta\varepsilon$  — приращение относительной деформации.

Данная зависимость показывает, что модуль деформации представляет собой угловой коэффициент диаграммы «напряжение–деформация». Иными словами, его величина определяется наклоном экспериментальной кривой деформирования.

В условиях реальных испытаний зависимость между напряжениями и деформациями носит нелинейный характер, поэтому в практике различают несколько разновидностей модуля деформации. Начальный модуль определяется на начальном линейном участке диаграммы и характеризует упругие свойства материала. Секущий модуль вычисляется как отношение напряжения к полной деформации в заданной точке кривой, а касательный модуль соответствует мгновенному наклону кривой и отражает текущую жёсткость материала на определённом этапе нагружения.

Механическое напряжение определяется как отношение приложенной силы к площади поперечного сечения тела. Чем больше сила или меньше площадь, тем выше напряжение, возникающее внутри материала.

$$\sigma = F / S$$

Относительная деформация, в свою очередь, показывает степень изменения длины тела относительно его первоначального размера. Этот параметр является безразмерной величиной и характеризует, насколько сильно изменились геометрические параметры объекта.

$$\varepsilon = \Delta l / l_0$$

Кроме того, модуль деформации является важным показателем при выборе материалов для конкретных условий эксплуатации. Например, для элементов, испытывающих значительные нагрузки, выбираются материалы с высоким модулем деформации, чтобы минимизировать их прогиб и обеспечить надёжность конструкции.

Современные научные исследования также активно используют данный параметр при разработке новых материалов. Изменяя внутреннюю структуру вещества, можно целенаправленно управлять его жёсткостью и получать материалы с заданными механическими свойствами.

Модуль деформации является одним из основных параметров, используемых в инженерных расчётах. Он применяется при определении осадок оснований, расчётах устойчивости откосов и подпорных сооружений, а также при моделировании напряжённо-деформированного состояния массивов дисперсных материалов.

В исследуемой работе определение модуля деформации позволяет перейти от качественного описания поведения материала к количественной оценке его жёсткости. Это делает возможным использование полученных экспериментальных данных в инженерной практике и расчётных моделях.

Таким образом, модуль деформации выступает ключевым связующим звеном между экспериментальными наблюдениями и инженерным применением результатов исследования.

Список литературы:

1. Кажикенова Ш.С., Ахметова С.С., научная статья Scopus "Усовершенствование методики и установки для определения реологических свойств дисперсных материалов под нагрузкой".
2. Тимошенко С.П. Сопротивление материалов – М.: Наука, 1986. – 560 с.
3. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 592 с.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория упругости – М.: Наука, 1987. – 248 с.
5. ASTM International. ASTM E111 – Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus. – West Conshohocken, PA, USA.

## ҚАРАЖАНБАС МҰНАЙ КЕН ОРНЫН ИГЕРУІНЕ ИНОВАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯНЫ ЕНГІЗУ

Қазақстанның мұнай-газ секторы – ұлттық экономика үшін негізгі стратегиялық бағыттардың бірі. Елде көптеген үлкен және орташа мұнай кен орындары бар, оның ішінде ең бастысы – Қаражанбас мұнай кен орны. Ол Маңғыстау облысының шығысында орналасқан және үлкен мөлшердегі жоғары тұтқырлықтағы мұнай қорларымен ерекшеленеді.

Қаражанбас кен орнының ауыр мұнай қорлары бар болуы оның игеруін дәстүрлі әдістерге қарағанда қиындатады. Осындай жағдайларда мұнай өндірудің тиімділігін арттыру үшін термиялық және жаңа техникалық шешімдер қолданылуы қажет. Демек, бұл кен орнын игеруде пайдаланылатын технологияларды зерттеу және олардың эффективтілігін бағалау мұнай өнеркәсібінің маңызды ғылыми-тәжірибелік мәселесі болып табылады.

Кен орны 1974 жылы ашылып, одан соң өндірістік қолданысқа алынды. Негізгі ерекшелігі – жоғары тұтқырлық пен қабаттардың күрделі құрылысы. Геологиялық жағдайлары осылай болғанда, мұнайды тиімді өндіру үшін қабатқа жылулық әсер ету әдістері әрқашан қолданылады.

Қаражанбас кен орнында ең кең тараған әдістердің бірі – бу айдау технологиясы. Бұл әдіс қабатқа жоғары температуралы бу берімен, мұнайдың тығыздығын төмендетуге негізделген. Нәтижесінде мұнайдың ағуы жеңілденіп, ұңғыға жетуі жеңілдейді. Мұндай әдіс ауыр және жоғары тұтқыр мұнай қоймаларында ең тиімді деп саналады.

Осындай әдіспен бірге циклдік бу өңдеу әдісі де пайдаланылады. Технология бірнеше кезеңнен тұрады: біріншіде ұңғыға бу беріледі, кейін белгілі бір мерзімнен кейін қабат қызып, соңында жылытылған мұнай өндіріледі. Бұл әдіс мұнайдың қабаттағы қозғалысын жақсартып, өндіру коэффициентінің өсуіне ықпал етеді.

Ағымдағы кезеңде әлемнің басқа елдерінде қолданылатын біріктірілген әдістердің бірі – Steam Assisted Gravity Drainage (SAGD).

SAGD технологиясының ең басты ерекшелігі — қабат ішінде бу камерасының (парлы камераның) түзілуі. Жоғары деңгейде бу айдау барысында қабатта пармен толтырылған аймақ пайда болып, біртіндеп жоғары және жан-жаққа таралады. Бу камерасы кеңейген сайын мұнай қызығып, оның ағуы жеңілдейді. Бұл процесс мұнайдың үнемі төменгі ұңғымаға қарай ағуына мүмкіндік туғызады. Дегенмен, өндіру процесі ұзақ мерзімде тұрақты түрде жүргізіледі.

Бұл әдістің бірінші артықшылығы — мұнай өндірудің жоғары коэффициентіне ие болуы. Біраз кен орындарында қордың 50–60% -ын ғана

емес, сонымен бірге жер астындағы қабатты бұзбай, тең үлкен бөлікте игеру мүмкіндігін ұсынады. Сонымен қатар, өндіріс процесін бақылау салыстырмалы түрде жеңілдетіледі. Жер бетінде үлкен кен орнын қазуды талап етпейтіндіктен, экологиялық тұрғыдан да тиімді болып табылады.

Бірақ бұл технологияның өзіне тән кемшіліктері де бар. Біріншіден, буды алу үшін үлкен мөлшерде электр энергиясы мен су керек. Бұл өндірістік шығындарды жоғарылатады. Сонымен қатар, қабаттың геологиялық жағдайы да маңызды рөл атқарады. Егер қабат жеткіліксіз қалыңдықта немесе төмен өткізгіштікке ие болса, SAGD әдісінің пайдасы азаяды.

Ағымдағы жағдайларда SAGD технологиясы Канада, Венесуэла және АҚШ сияқты елдерде кеңінен пайдаланылады. Қазақстанда да биік тұтқыр мұнай кен орындарын игеруде оған ұқсас термиялық әдістер зерттеліп, іске асырылып келеді. Бұл әдістер ауыр мұнай қорларын тиімді пайдалануға және өндіріс көлемін арттырудың тірегін құрайды.

Геодезиялық жағынан карап, мұндай технологияларды пайдалану жер беті мен жер қойнауындағы деформациялық процессіне әсер етуі мүмкін. Қабатқа буды қосу нәтижесінде қысым мен температураның өзгеруі, жер бетінің көтерілуі немесе жылжуына алып келе береді. Демек, кен орнында маркшейдерлік бақылау жүйесі құру өте маңызды. Мұндай бақылаулар геодезиялық құралдар, спутниктік өлшеулер мен жаңартылған мониторинг жүйелері арқылы жүргізіледі.

Қаражанбас мұнай кен орны – Қазақстандағы ауыр мұнайдың көптігімен белгілі кен орны. Оның тиімді пайдаланылуы үшін дәстүрлі әдістерге қоса термиялық және инновациялық шешімдер қолданылуы керек. Бу айдау және циклдік бу өңдеу әдістері қазіргі кездегі мұнай өндірісінің тиімділігін арттыруда үлкен роль атқарады.

Бүгінгі күні әлемдік практикада қолданылатын SAGD технологиясы да Қаражанбас кен орнындағы мұнай өндірісінің сапасын және өнімділігін жоғарылатуға мүмкіндік туғызады. Бұл технологияларды енгізу процесінде маркшейдерлік бақылау және геодезиялық мониторинг жүйелерін қолдану жер қойнауын қауіпсіз және ұзақ мерзімді пайдалануға ықпал етеді.

Демек, заманауи технологияларды тиімді пайдалану және ғылыми негізделген бақылау жүйелерін енгізу – Қаражанбас кен орнын ұзақ мерзімді және қауіпсіз пайдалануға мүмкіндік береді.

*Пайдаланылған әдебиеттер*

1. Мұнай және газ кен орындарын игеру негіздері.
2. Қазақстан мұнай кен орындарының геологиясы.
3. Heavy Oil Recovery Technologies.
4. Мұнай-газ саласындағы заманауи технологиялар.
5. Қазақстан Республикасының мұнай-газ өнеркәсібі туралы ғылыми мақалалар.

## ЯЗЫК IT-КОММУНИКАЦИИ В ГОРНОМ ДЕЛЕ

Цифровая трансформация горнодобывающей отрасли существенно влияет не только на технологии добычи, но и на профессиональное взаимодействие специалистов. Автоматизация процессов, дистанционное управление техникой, аналитика больших данных и промышленный интернет вещей формируют новую информационную среду. В этих условиях формируется особый тип профессионального общения — язык IT-коммуникации [1].

Язык IT-коммуникации — это совокупность терминов, цифровых обозначений и стандартов передачи информации, обеспечивающих координацию работы инженеров, операторов и IT-специалистов. В отличие от традиционной производственной речи, современные коммуникации осуществляются через цифровые платформы и автоматизированные системы [2].

В профессиональную лексику вошли понятия: цифровой двойник месторождения, сервер мониторинга, SCADA-система, предиктивная аналитика, диспетчерский интерфейс и облачные базы данных. Язык IT-коммуникации точен, лаконичен и кодирован: данные передаются в виде числовых параметров, сигналов тревоги и автоматически формируемых отчётов. Визуализация и цифровое моделирование становятся неотъемлемой частью коммуникации [3].

Многие термины заимствованы из английского языка, что создаёт смешанный инженерно-IT-язык. Владение им является обязательной компетенцией современного горного инженера [4].

Язык IT-коммуникации выполняет ключевые функции: информационную — точная передача данных о состоянии оборудования; координационную — синхронизация действий подразделений; контрольную — мониторинг процессов; прогностическую — анализ рисков и планирование; безопасностную — оперативное реагирование на аварийные ситуации [5].

Практическая реализация цифровых коммуникаций активно развивается в Казахстане. Компания Eurasian Resources Group внедряет автономное управление карьерной техникой и цифровые системы диспетчерского контроля [4].

Технопарк Astana Hub разрабатывает отечественные решения для мониторинга и цифрового моделирования месторождений [5]. АО Казатомпром применяет автоматизированные комплексы управления, что предполагает унификацию терминологии между подразделениями [5]. Эти

примеры показывают, что язык IT-коммуникации формируется в реальных производственных условиях [1].

Развитие IT-коммуникации сопровождается трудностями: разный уровень цифровой грамотности, перегруженность терминологией, смешение языков, необходимость постоянного обновления знаний [2]. Адаптация специалистов старшего поколения к цифровым интерфейсам остаётся проблемой [3].

В перспективе расширится применение искусственного интеллекта, предиктивной аналитики и дистанционного управления оборудованием. Это усилит интеграцию инженерных и IT-компетенций [1]. Формируется устойчивая модель междисциплинарной коммуникации, где инженер владеет навыками анализа данных и цифровых платформ [4].

Язык IT-коммуникации отражает процессы цифровой модернизации отрасли. Он обеспечивает точность, оперативность и безопасность взаимодействия. Казахстанские предприятия подтверждают, что цифровая коммуникация является стратегическим ресурсом развития и повышения конкурентоспособности [5]. Современный специалист горной отрасли должен владеть не только инженерными знаниями, но и языком информационных технологий [5].

#### *Список литературы*

1. Глухов В.В., Коробко С.Б., Маринина Т.В. *Информационные технологии в управлении производством*. — СПб.: Питер, 2020. — 384 с.
2. Каплунов Д.Р., Гальченко Ю.П. *Цифровизация горнодобывающей промышленности: технологии и перспективы* // Горный журнал. — 2021. — № 8. — С. 12–18.
3. Лисин В.С. *Индустрия 4.0 и трансформация промышленного производства*. — М.: Юрайт, 2022. — 256 с.
4. Официальный сайт компании Eurasian Resources Group. — <https://www.erg.kz> (дата обращения: 26.02.2026).
5. Официальный портал Astana Hub и сайт АО Казатомпром. — <https://astanahub.com>, <https://www.kazatomprom.kz> (дата обращения: 26.02.2026).

## ЦИФРОВОЙ РУДНИК: ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Современная горнодобывающая отрасль находится на этапе глобальной цифровой трансформации. Концепция “Цифрового рудника” представляет собой интеграцию передовых технологий, таких как промышленный интернет вещей (IIoT), искусственный интеллект и системы анализа больших данных (Big Data), в единую экосистему управления производством.

Одним из ключевых инновационных подходов является создание цифровых двойников месторождений. Это позволяет моделировать процессы отработки в виртуальной среде, оптимизировать планы горных работ и прогнозировать возможные риски до начала физических операций. Использование беспилотных карьерных самосвалов и систем дистанционного бурения существенно повышает уровень безопасности, исключая нахождение персонала в опасных зонах.

Внедрение систем интеллектуального мониторинга состояния оборудования позволяет перейти от реактивного обслуживания к предиктивному (прогностическому). Датчики, установленные на основных узлах машин, передают данные в режиме реального времени, что минимизирует простои и снижает эксплуатационные затраты на 15-20%.

Отдельное внимание уделяется вопросам экологии. Цифровые технологии помогают контролировать расход энергии, работу техники и уровень выбросов, что делает добычу более безопасной для окружающей среды. В целом, “Цифровой рудник” – это современный подход к добыче полезных ископаемых, которое повышает эффективность работы и уровень безопасности.

Важным аспектом трансформации является переход от разрозненных систем к единой платформе управления данными (Integrated Operations Center). В рамках «Цифрового рудника» информация с датчиков IoT, геологических моделей и систем диспетчеризации стекается в единый центр, где алгоритмы машинного обучения формируют сценарии «что, если?». Это позволяет диспетчерам принимать обоснованные решения на основе оперативной аналитики, а не интуиции, превращая традиционное предприятие в гибкую, саморегулирующуюся систему, способную мгновенно адаптироваться к изменениям рыночной конъюнктуры или горно-геологических условий.

Параллельно с техническим переоснащением меняется и парадигма кадрового потенциала. Цифровизация не просто замещает физический труд

автоматикой, но и формирует запрос на специалистов нового профиля — инженеров данных и операторов беспилотных комплексов, работающих в комфортных офисных условиях. Таким образом, технологический рывок не только повышает рентабельность добычи, но и радикально меняет имидж отрасли, делая её высокотехнологичной, престижной и привлекательной для нового поколения профессионалов.

Переход к модели «Цифрового рудника» кардинально меняет экономику недропользования, позволяя вовлекать в отработку месторождения с низким содержанием полезного компонента, которые ранее считались нерентабельными. Тотальный цифровой контроль за сквозными процессами — от геологоразведочного бурения до отгрузки концентрата — минимизирует потери полезного ископаемого и оптимизирует использование расходных материалов. В результате предприятие получает возможность гибко управлять себестоимостью продукции, оперативно реагируя на волатильность мировых цен на сырьё, что превращает добывающий актив в высокодоходный и предсказуемый инвестиционный объект с прозрачным жизненным циклом.

В конечном счете, трансформация в рамках концепции «Цифрового рудника» превращает добывающее предприятие из консервативного промышленного объекта в интеллектуальную экосистему. Это не только гарантирует экономическую устойчивость в условиях волатильности рынка, но и закладывает фундамент для ответственного недропользования, где максимальная производительность достигается в гармонии с экологическими стандартами и высочайшим уровнем заботы о человеческом капитале.

*Список использованных источников:*

- 1.Трубецкой К.Н. Развитие ресурсосберегающих технологий при освоении недр. – М.: ИПКОН РАН, 2022.*
- 2.Квагинидзе В.С. Цифровизация горного производства: учебное пособие. -М., 2023.*
- 3.Клебанов А.Ф. Автоматизация и роботизация открытых горных работ: опыт цифровой трансформации// Горная промышленность. – 2024 - №1.-С.8-15.*

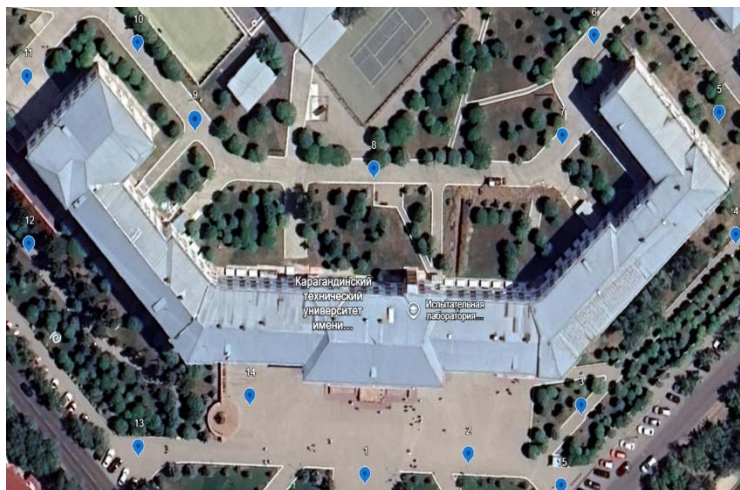


## AUTOCAD БАҒДАРЛАМАСЫНДА УНИВЕРСИТЕТ АУМАҒЫНЫҢ ЖЕР БЕДЕРІН ЦИФРЛАНДЫРУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ

Ғылыми зерттеулердің қазіргі таңдағы негізгі бағыты — жаратылыстану ғылымдарын цифрландыру болып табылады. Геодезия, картография және құрылыс салаларында сандық технологияларға сұраныс артып, дамып келеді. Соның ішінде AutoCAD бағдарламасы жер бедерін цифрландыру және кеңістік талдау жасау үшін тиімді құрал болып табылады.

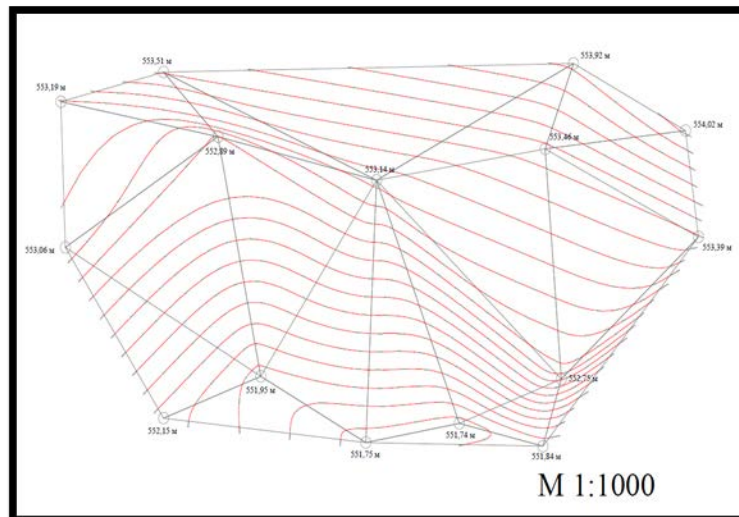
Бұл жұмыстың мақсаты — Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті аумағының жер бедерін AutoCAD бағдарламасында цифрландыру, горизонтальдар құру және жер бедеріне талдау жасау.

Зерттеу жұмысының бастапқы материалы ретінде Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университетінің бас корпусы аумағының спутниктік суреті Google Earth бағдарламасынан алынды [1]. Спутниктік сурет масштабы 1:1000. Бағдарлама көмегімен зерттеу аймағында 15 нүкте белгіленіп, олардың абсолюттік биіктіктері анықталды (1-сурет). Алынған биіктік мәндері аумақтың жер беті пішінінің өзгерісін сипаттауға мүмкіндік береді.



1-сурет. Зерттеу аумағының спутниктік суреті

Спутниктік сурет деректері AutoCAD бағдарламасына енгізілді. Зерттеу барысында әр белгіленген нүктенің координаталары мен абсолюттік биіктіктері енгізілді. Алынған мәліметтер негізінде интерполяциялау әдісі қолданылды. Биіктіктерді интерполяциялау дегеніміз — қима биіктікке еселі мәндерге сәйкес келетін аралық нүктелердің орнын анықтау процесі. Интерполяция нәтижесінде бірдей биіктік мәндеріне ие нүктелер қосылып, горизонтальдар салынды (2-сурет).



2-сурет. Университет аумағының горизонтальдар арқылы бейнеленген жер бедері

AutoCAD бағдарламасында салынған горизонтальдарды талдау нәтижесінде зерттеу аумағындағы жер бедерінің сипаты анықталды. Абсолюттік биіктіктер шамамен 551,7 м-ден 554,0 м-ге дейін өзгереді. Осылайша, жалпы биіктік айырмасы шамамен 2–2,5 метрді құрайды. Бұл аумақтың салыстырмалы түрде жазық екенін көрсетеді.

Горизонтальдардың орналасу жиілігіне назар аударғанда, аумақтың оңтүстік-шығыс бөлігінде сызықтар бір-біріне жақын орналасқан. Бұл жер бедерінің еңісі тік екенін білдіреді. Ал солтүстік-батыс бөлігінде горизонтальдар арасы алшақ, яғни еңіс баяу және бірқалыпты. Орталық және төменгі бөліктерінде биіктік мәндерінің азаюы байқалады, бұл аймақта шағын ойпаң бар екенін көрсетеді. Мұндай жерлерде жауын-шашын немесе еріген қар сулары жиналуы мүмкін [2]. Горизонтальдардың жалпы бағыты аумақта белгілі бір еңіс бағыты бар екенін көрсетеді. Жер бедері солтүстік-батыстан оңтүстік-шығысқа қарай біртіндеп төмендейді.

Жүргізілген талдау университет аумағының жер бедері айтарлықтай күрделі емес, бірақ микрорельеф элементтері (шағын ойыстар мен еңістер) бар екенін көрсетті. Бұл мәліметтер аумақты жоспарлау, көгалдандыру және инженерлік инфрақұрылымды орналастыру кезінде маңызды рөл атқарады.

Бұл жұмыс жаратылыстану ғылымдарындағы цифрландырудың тәжірибелік маңызын көрсетіп, заманауи цифрлық технологиялардың жер бедерін зерттеудегі тиімділігін дәлелдейді.

#### ***Пайдаланылған әдебиеттер тізімі***

1. Google Earth бағдарламасының ресми анықтамалық материалы. – Қолжетімді: <https://earth.google.com>
2. Бодэ, Ж. Ж. Определение влажности почвенного покрова в окрестностях Г. Караганды / Ж. Ж. Бодэ, А. Е. Карамолдин // Молодёжная наука Севера : Сборник материалов II Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Ханты-Мансийск, 12–13 декабря 2024 г. – Ханты-Мансийск: Югорский государственный университет, 2025. – С. 348-355.

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ В ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДЕЗИИ

Современная инженерная геодезия активно развивается под влиянием цифровых технологий. Одним из наиболее перспективных и востребованных направлений является лазерное сканирование, которое позволяет получать высокоточные пространственные данные о зданиях, сооружениях и рельефе местности. В отличие от традиционных методов съёмки, основанных на измерении отдельных точек, лазерное сканирование формирует плотный массив координат, что значительно повышает информативность и точность результатов.

Принцип работы лазерного сканера основан на измерении времени прохождения лазерного импульса от прибора до объекта и обратно. По известной скорости распространения света вычисляется расстояние до отражающей поверхности. При одновременном измерении горизонтального и вертикального углов формируются пространственные координаты точки. В результате за короткий промежуток времени прибор регистрирует миллионы точек, образующих так называемое «облако точек». Данные сохраняются в цифровом виде и далее обрабатываются в специализированных программных комплексах [1].

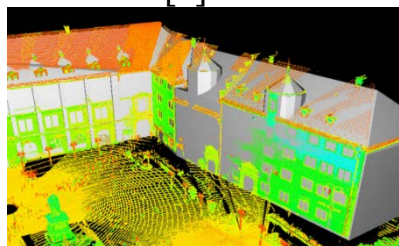


Рисунок 1. Рабочий процесс с лазерным сканером

Среди основных преимуществ лазерного сканирования выделяются высокая скорость полевых работ, детальность съёмки и снижение влияния человеческого фактора. Если при тахеометрической съёмке геодезист фиксирует только характерные точки объекта, то при сканировании создаётся практически полная цифровая копия его геометрии. Это особенно важно при обследовании сложных архитектурных форм, промышленных объектов, мостов, тоннелей и исторических зданий, где требуется высокая точность и полнота информации.

В инженерной практике лазерное сканирование широко применяется при реконструкции и капитальном ремонте зданий, выполнении исполнительной съёмки, контроле деформаций и мониторинге технического состояния сооружений. При строительстве крупных объектов технология используется для проверки соответствия фактического положения конструкций проектным решениям. Сравнение проектной 3D-модели с данными сканирования позволяет своевременно выявлять

отклонения, анализировать причины их возникновения и принимать корректирующие меры.

Важным направлением развития является интеграция результатов сканирования в системы информационного моделирования зданий (BIM). На основе облака точек создаётся цифровая модель объекта, которая используется на всех этапах его жизненного цикла — от проектирования до эксплуатации. Это способствует повышению точности проектных решений, сокращению сроков строительства и снижению финансовых рисков[2].

Сравнивая тахеометрическую съёмку и лазерное сканирование, можно отметить, что при сопоставимой точности измерений сканирование обеспечивает значительно более высокую плотность точек и большую скорость выполнения работ. Однако обработка полученных данных требует применения современного программного обеспечения и мощных вычислительных ресурсов. Кроме того, стоимость оборудования выше по сравнению с традиционными геодезическими приборами. Тем не менее при реализации крупных и технически сложных проектов затраты оправдываются за счёт сокращения сроков работ и повышения качества итоговой документации.

Использование лазерного сканирования предъявляет высокие требования к квалификации специалистов. Геодезист должен уметь выполнять регистрацию сканов, фильтрацию шумов, уравнивание данных, построение трёхмерных моделей и анализ полученных результатов. Особое внимание уделяется контролю качества, поскольку ошибки на этапе обработки могут привести к искажению геометрии объекта и снижению точности измерений.

Таким образом, лазерное сканирование представляет собой современный высокотехнологичный метод инженерной геодезии, обеспечивающий получение точных, детализированных и объективных пространственных данных.

#### **Список использованных источников**

1. Баранников А.В. Лазерное сканирование в инженерной геодезии: учебное пособие. — М.: Академический проект, 2021. — 256 с.
2. Modern data analysis technologies used for geomechanical monitoring. Review / O. G. Besimbayeva, E. N. Khmyrova, M. S. Tutanova [et al.] // Комплексное использование минерального сырья. — 2023. — No. 3(326). — P. 5-15. — DOI 10.31643/2023/6445.23.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ GNSS-ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ГЕОДЕЗИИ И СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ СИГНАЛА

Современное строительство требует высокой точности геодезических измерений и оперативного получения пространственной информации о строительной площадке. Геодезические данные используются на всех этапах строительного процесса: от инженерных изысканий и проектирования до контроля возведения зданий и сооружений. В последние десятилетия широкое распространение получили спутниковые навигационные технологии GNSS, позволяющие определять координаты точек местности с высокой точностью.

К глобальным навигационным спутниковым системам относятся GPS (США), ГЛОНАСС (Россия), Galileo (Европейский союз) и BeiDou (Китай). Современные геодезические приёмники способны принимать сигналы нескольких систем одновременно, что увеличивает количество доступных спутников и повышает устойчивость позиционирования.

Использование GNSS-технологий значительно повысило эффективность выполнения геодезических работ. С их помощью создаются геодезические сети, выполняется топографическая съёмка, проводятся разбивочные работы и осуществляется контроль положения строительных конструкций.

Целью исследования является анализ особенностей применения GNSS-технологий в строительной геодезии и рассмотрение способов повышения устойчивости спутникового сигнала при выполнении геодезических работ на строительных площадках.

Однако применение GNSS в строительной геодезии связано с рядом проблем, основной из которых является нестабильность спутникового сигнала. На строительных площадках ухудшение сигнала может происходить из-за плотной застройки, когда здания перекрывают часть спутников. Также распространённой проблемой является эффект многолучёвости, при котором сигнал отражается от зданий, металлических конструкций или техники и поступает на приёмник с задержкой, что приводит к увеличению погрешностей измерений.

Дополнительные сложности возникают при работе в котлованах и траншеях, где ограничен обзор небосвода. На качество сигнала также могут влиять линии электропередачи и другие источники радиопомех.

Для повышения точности позиционирования применяются различные технические решения. Одним из них является использование многосистемных GNSS-приёмников, способных принимать сигналы нескольких спутниковых систем одновременно.

В современных условиях мобильные устройства всё чаще используются как вспомогательный инструмент при работе с GNSS-оборудованием. Однако смартфоны, включая устройства iPhone, не могут использоваться как самостоятельный инструмент для высокоточных геодезических измерений из-за ограничений встроенных GNSS-чипов и антенн.

Тем не менее смартфоны могут применяться в составе профессиональной геодезической системы. Наиболее распространённым решением является подключение внешнего высокоточного GNSS-приёмника, при котором смартфон выполняет функции контроллера, а сам приёмник подключается по Bluetooth.

Современные компактные GNSS-приёмники, например, Bad Elf Flex или Eos Arrow Gold, могут передавать координаты на мобильное устройство с сантиметровой точностью. При использовании технологии RTK точность позиционирования может достигать 2–3 сантиметров.

Дополнительную роль играет специализированное программное обеспечение. На смартфонах могут использоваться приложения-клиенты NTRIP, позволяющие получать корректирующие данные от сетей базовых станций через интернет и передавать их на GNSS-приёмник.

В условиях полного отсутствия спутникового сигнала могут применяться альтернативные методы измерений. Одной из таких технологий является LiDAR-сканирование, позволяющее создавать трёхмерные модели объектов и привязывать их к геодезическим опорным точкам, координаты которых определяются традиционными геодезическими приборами, например тахеометрами.

GNSS-технологии играют ключевую роль в современной строительной геодезии. Повышение точности и устойчивости позиционирования достигается за счёт использования многосистемных GNSS-приёмников, технологий RTK и сетей базовых станций, а мобильные устройства могут применяться как вспомогательный инструмент для управления оборудованием и передачи корректирующих данных.

#### *Список использованных источников*

1. *External GNSS Receivers for Smartphones: Accuracy & Use Cases | LRTK [Электронный ресурс]. URL: <https://www.lefixea.com/article/comparison-of-external-gnss-receivers-for-smartphones4>*
2. *Советы по использованию GPS на iPad и iPhone [Электронный ресурс]. URL: <https://www-foreflight-com.translate.goog>*



## ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ ПРОРЫВ В ГМК

Современный этап развития горно-металлургического комплекса характеризуется жестким дефицитом легкообогатимого сырья. В условиях цифровой экономики выживание предприятий зависит не столько от объемов добычи, сколько от точности управления физико-химическими процессами. Одним из наиболее перспективных ответов на вызовы истощения ресурсов становится внедрение электрохимических методов сульфидизации, которые превращают нерентабельные «трудные» руды в высококачественный актив.

### **Глобальный контекст и цифровые требования**

Сегодняшняя индустрия требует от металлургии гибкости. Традиционные схемы флотации часто оказываются бессильны перед окисленными медными рудами, доля которых на таких гигантах, как Жезказганское месторождение, превышает 50%. Главная проблема заключается в минерале хризоколла — крайне устойчивом соединении, которое при прямой флотации дает извлечение не более 40–45%. В цифровой экономике такие потери недопустимы, так как они снижают общую эффективность производственной цепочки и увеличивают экологическую нагрузку.

### **Электрохимия как инструмент точного управления**

Суть технологического прорыва заключается в электрохимической подготовке пульпы перед флотацией. Вместо стандартного добавления реагентов «на глаз», процесс переводится в плоскость управляемого электролиза. Под воздействием заданных параметров тока труднообогатимые минералы принудительно трансформируются в легкофлотируемые сульфидные формы.

Экспериментальные данные на пробах Жезказганского месторождения подтверждают: использование сульфита натрия в условиях катодной поляризации позволяет достичь извлечения меди на уровне 95,2%. Это колоссальный скачок, который на 45–50% превышает показатели классических методов. Такой результат достигается за счет синергии химического сродства активной меди и элементной серы, образующихся непосредственно в реакционной зоне электролизера.

### **Синергия с цифровым моделированием**

Электрохимический метод идеально интегрируется в концепцию «Умной фабрики». Благодаря возможности математического моделирования процесса, параметры электролиза (плотность тока, концентрация электролита, время выдержки) могут корректироваться алгоритмами искусственного интеллекта в режиме реального времени.

Цифровая модель позволяет прогнозировать поведение минеральных частиц в зависимости от изменения состава поступающей руды. Это минимизирует человеческий фактор и обеспечивает стабильно высокий выход концентрата. Таким образом, электрохимия становится не просто химическим методом, а управляемым компонентом единой ИТ-архитектуры предприятия.

### **Экологическая и экономическая устойчивость**

Внедрение подобных инноваций напрямую отвечает вызовам ESG-повестки. Повышение извлечения до 95% радикально сокращает содержание ценных компонентов в хвостах обогащения, снижая объемы техногенных отходов. В условиях углеродного налога и декарбонизации, электрохимические методы, работающие на оптимизированном энергопотреблении, становятся фундаментом «зеленой» металлургии будущего.

Электрохимический прорыв — это переход от грубого механического обогащения к прецизионному управлению материей на молекулярном уровне. Для таких регионов, как Жезказган, это не просто научное достижение, а стратегический путь к продлению жизни месторождений и повышению глобальной конкурентоспособности всей отрасли.

Внедрение электрохимической сульфидизации на таких гигантах, как Жезказган, создает прецедент, когда глубокая научная проработка процесса становится фундаментом для построения цифровой стратегии предприятия, превращая технологические барьеры в конкурентные преимущества на мировом рынке металлов.

Таким образом, переход от традиционных методов к интеллектуальному управлению электрохимическими реакциями знаменует собой трансформацию ГМК из ресурсодобывающей отрасли в сферу высоких технологий, где эффективность определяется точностью алгоритмов и глубиной извлечения полезных компонентов.

### *Список использованных источников*

1. Юнусова С. Ш. Минералогические особенности окисленных руд Жезказганского месторождения // Горный журнал Казахстана. — 2018.
2. Баешев А. Б., Доспаев М. М. Электрохимические методы в гидрометаллургии меди // Вестник Национальной академии наук РК. — 2015.
3. Шваб К. Четвертая промышленная революция. — М.: Эксмо, 2016.
4. Трубецкой К. Н., Культин С. Ю. Роботизированные системы и цифровизация горного производства // Горный журнал. — 2019.
5. Бахтизин Р. Н. Цифровые двойники в промышленности: вызовы и перспективы // Экономика и управление. — 2021.



## СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ВОПРОСОВ ОБВОДНЕНИЯ СКВАЖИН И СНИЖЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ПЛАСТОВ

В условиях трансформации мирового энергетического сектора и усложнения разработки месторождений проблема проникновения воды в добывающие сквалы становится системной проблемой в Республике Казахстан. Стратегически важные месторождения страны, включая Тенгиз и Карачаганак, находятся на стадии зрелости, что сопровождается увеличением водонефтяного отношения и снижением удельной продуктивности пласта. Сохранение существующих подходов без технологической модернизации неизбежно приведет к увеличению эксплуатационных издержек, снижению коэффициента извлечения нефти и повышению экологических рисков, связанных с переработкой и утилизацией пластовых вод.

Причины обводнения носят комплексный характер. К ним относятся макро- и микронеоднородность коллекторов, образование высокопроницаемых каналов для прорыва закачиваемой воды, дисбаланс пластового давления и ограниченная селективность традиционных технологий водоотведения. В карбонатных и трещиноватых пластах Казахстана со сложной фильтрационной структурой эффективность стандартных ремонтных и изолирующих мер значительно снижена. В этом контексте целесообразно рассматривать контроль водопроницаемости не как локальное вмешательство, а как часть комплексной стратегии управления пластом, основанной на интеграции химических, инженерных и цифровых технологий нового поколения. Переход к системной модели контролируемой фильтрации позволяет не только ограничить приток воды, но и повысить нефтеизвлечение за счет перераспределения потоков в пласте.

Одним из наиболее перспективных направлений является использование саморегулирующихся полимерных систем нового поколения с гидродинамически адаптивными свойствами. В отличие от традиционных гелей, создающих статическую изоляцию, эти реагенты изменяют реологические свойства в зависимости от скорости фильтрации и фазового состава потока. В высокопроницаемых водоносных горизонтах полимер уплотняется и снижает водопроницаемость, в то время как в нефтенасыщенных интервалах сопротивление остается минимальным. Это обеспечивает селективный динамический эффект и перераспределение потока.

Зарубежные исследования показывают возможность снижения водопритока на 60–70 % при сохранении 90–95 % нефтяного дебита. Технология особенно эффективна в трещиноватых и неоднородных коллекторах зрелых месторождений Казахстана.

Второе стратегическое направление — термохимическое внутрипластовое воздействие. Закачиваемые реагенты реагируют в пласте с выделением тепла и газа, что снижает вязкость нефти, повышает её подвижность и создаёт дополнительное давление для вытеснения флюидов из низкопроницаемых зон. Одновременно уменьшаются водяные прорывы за счёт перераспределения потоков. В отличие от традиционных тепловых методов, технология не требует развитой поверхностной инфраструктуры и может применяться локально в проблемных интервалах.

Дополнительно развиваются микробиологические методы селективного снижения проницаемости (MEOR), пеногазовые системы регулирования подвижности, нанокompозитные составы для глубинного профилирования закачки, интеллектуальные системы регулирования притока и цифровые двойники пластов для прогнозирования динамики водопритока. Несмотря на высокий потенциал, их внедрение требует адаптации к геолого-физическим условиям казахстанских месторождений и комплексной технико-экономической оценки.

Таким образом, борьба с обводнением должна осуществляться не через разрозненные изоляционные мероприятия, а в рамках системной модели управляемой фильтрации. Она включает селективную модификацию проницаемости адаптивными полимерными системами, термохимическое внутрипластовое воздействие и цифровой мониторинг параметров разработки. Комплексная реализация этих решений в формате пилотных проектов на зрелых участках позволит объективно оценить их эффективность. Интеграция данных технологий способна повысить коэффициент извлечения нефти и снизить обводнённость добычи.

Следовательно, обводнение скважин в Казахстане является системным вызовом, требующим перехода к интеллектуальной модели управления фильтрационными процессами. В условиях зрелости основных активов развитие отрасли невозможно без внедрения инновационных технологий селективного и управляемого воздействия на пласт. Адаптивные полимерные системы и термохимическое внутрипластовое воздействие формируют основу новой парадигмы разработки зрелых месторождений и обеспечивают рост нефтеотдачи при одновременном снижении технологических и экологических рисков.

*Список использованных источников*

1. Хисамутдинов Н. И., Сагитов Д. К., Гильманова Р. Х., Вафин Т. Р. Технологии интенсификации отбора нефти из истощённых месторождений. — Москва: ВНИИОЭНГ, 2015. — 312 с.
2. Чурикова Л., Сағадатова Г. Выбор эффективной технологии повышения нефтеотдачи пластов на месторождении Узень // ҚазҰУ Ғылым Және Білім. — 2021. — Т. 1, № 4 (65). — С. 239–249.
3. *Recovery improvement* / под ред. Q. Wang. — Amsterdam: Elsevier, 2022. — 466 с.

## ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ВЫРАБОТКАХ

Процессы управления горным давлением в технологии подземной добычи угля являются достаточно трудоемкими, поэтому вопросы их совершенствования, создания эффективных крепей являются важнейшей задачей угледобывающей промышленности.

Важнейшим условием нормальной работы шахт является своевременное проведение подготовительных выработок для воспроизводства очистного фронта. В настоящее время применяемые крепи, несмотря на высокую материалоемкость, не всегда удовлетворяют горно-геологическим условиям, в которых они применяются, и не отвечают современным требованиям дальнейшего повышения эффективности и безопасности производства. Постоянное увеличение глубины разработки сопровождается усложнением условий ведения горных работ и ростом общей протяженности сети горных выработок.

На угольных шахтах зарубежной практике происходит неуклонное увеличение объемов использования анкерного крепления, доля которого сегодня составляет в Австралии-87, Китае-83, США-52, России-60 %, что приводит к снижению расхода металлопроката в 5-6 раз, а также бетона, лесоматериалов; повысить производительность работ при креплении выработок 3-5 раз; повысить темпы проходки в 2-3 раза; вдвое сократить затраты на крепление и поддержание крепи в рабочем состоянии во время эксплуатации. Вместе с тем, объемы применения этого вида крепи на шахтах Карагандинского бассейна в настоящее время не превышают 35 км (или 54 % от годового объема проводимых выработок). Одной из основных причин, препятствующих широкому внедрению анкерной крепи на шахтах является недостаточное понимание ее роли в процессе поддержания выработки, а также отсутствие нормативной базы, позволяющей с учетом конкретной геомеханической ситуации и опыта использования, обосновано принимать параметры крепления. В этой связи, исследования закономерностей и особенностей деформирования породного массива, вмещающего выработки с анкерным креплением для обоснования его рациональных параметров, являются актуальной задачей [1, 2].

Основными причинами незначительных объемов применения анкерного крепления выработок являются: усложнение горно-геологических и горнотехнических условий с переходом на глубину разработки более 600 м. Здесь существенно увеличились размеры зон опорного давления в окрестности очистных выработок и интенсивность проявлений горного давления в выработках. Возросли на 35-40 % площадь

поперечного сечения выработок, в особенности выемочных штреков лав, и объемы бесцеликовой охраны выработок на границе с выработанным пространством, с расположением их в зонах сдвижения и обрушения пород соседних отработанных лав; недостаточная изученность геомеханических процессов в породах вокруг выработок на нижних горизонтах и работоспособности анкерной крепи в этих условиях [3].

Факторами, влияющими на возможность применения анкерной крепи в подготовительных выработках, являются: прочность закрепления анкеров во вмещающих породах; размеры области опасных деформаций пород вокруг выработок; величина смещения пород кровли, боков за срок службы выработки и предельная величина безопасного смещения (опускания) закрепленных анкерами пород кровли в выработке за срок ее службы. По мере увеличения глубины разработки наблюдаются различные виды деформаций вмещающих пород и угля, которые обуславливаются сочетанием различных факторов.

Подготовительные выработки основного назначения прямоугольной, применяемой преимущественно (шириной 5,4 м и высотой до 3,7 м) и арочной формы (высотой 3,7 м и шириной до 5,7 м) поперечного сечения при комбинированной крепи (конвейерные штреки и бремсберги) закреплены анкерной крепью, который включает 12-14 сталеполимерных кровельных с шагом установки 0,5 между рядами (через один под стрипс) и 0,65 м в рядах и 4-6 стеклопластиковых боковых анкеров, преимущественно под стрипс (швеллер № 10, полосу 150х5 мм) с сетчатой затяжкой типа ММ поддерживаемого пространства. Кровельные анкера типа АМВ-22 длиной 2,4 м, а боковые типа АМ-16 длиной 1,6 м под углом 35-40° к напластованию, устанавливаемые с сеткой 1х1 м для полного заполнения шнура на 4 химические ампулы АМК-М. При арочной форме выработок применяется комбинированная крепь, состоящая из металлоарочной крепи из арок СВП 27 через 0,5 м и анкерной через 0,5 м в количестве 9 кровельных и 2 боковых (длиной 1,8 м) анкеров или без них с затяжкой металлической сеткой. В ослабленных зонах или с неустойчивыми боковыми породами дополнительно устанавливаются боковые стойки из профилей СВП 27 с закреплением анкерами к бокам выработки через метр

*Список использованной литературы*

1. Zubov V.P. *Повышение эффективности разработки свит сближенных пластов на перспективных шахтах Кузбасса/* Zubov V.P., Фёдоров А.С., Бостанджиев Д.С. // *Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в 21 веке. Том 2. Горный информационный бюллетень. М.: Издательство «Горная книга», 2017.-с. 42-49.*
2. Zubov V.P., Nikiforov A.V. *Features of Development of Superimposed Coal Seams in Zones of Disjunctive Geological Disturbances. International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 12, Number 5 (2017) pp. 765- © Research India Publications. <http://www.ripublication.com> 765.*
3. Zubov V.P., Nikiforov A.V. and Kovalsky E.R. *Influence of geological faults on planning mining operations in contiguous seams (Received 22 January, 2017; accepted 15 March, 2017). Eco. Env. & Cons. 23 (2): 2017; pp. (1176-1180) Copyright@ EM International ISSN 0971-765X\*.*

## ЦИФРОВИЗАЦИЯ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА ДРОБЛЕНИЯ ГОРНОЙ МАССЫ

Буровзрывные работы являются базовым этапом открытой и подземной добычи полезных ископаемых. Качество дробления массива определяет эффективность последующих операций — погрузки, транспортировки, дробления и переработки сырья. Традиционное проектирование схем БВР основано преимущественно на эмпирических зависимостях и плоском графическом представлении параметров взрывного блока, что ограничивает точность прогноза гранулометрического состава и энергетической эффективности разрушения.

Современная цифровизация горного производства предполагает переход к трёхмерному параметрическому моделированию, позволяющему учитывать пространственную геометрию уступа, физико-механические свойства массива, параметры буровых скважин и распределение зарядов взрывчатых веществ. Такой подход обеспечивает более точное управление процессом разрушения горных пород.

Трёхмерное моделирование взрывного блока может быть реализовано средствами CAD-систем, таких как AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks и Autodesk Inventor. Использование инструментов твердотельного и параметрического моделирования позволяет сформировать цифровую модель уступа, задать сетку бурения, определить глубину и диаметр скважин, параметры зарядных колонн и зоны предполагаемого воздействия взрыва. Кроме того, трёхмерная модель позволяет визуализировать расположение буровых скважин в пространстве, оценивать зоны предполагаемого воздействия взрыва и анализировать возможные направления распространения трещин в массиве. Это создаёт предпосылки для более точного прогнозирования характера разрушения горных пород и оптимизации параметров буровзрывных работ.

Параметризация геометрических и технологических характеристик обеспечивает возможность оперативной корректировки проекта при изменении геологических условий. Создание цифрового двойника буровзрывного блока позволяет проводить предварительную оценку распределения напряжений и прогнозировать характер разрушения массива.

После проведения взрыва важнейшим этапом является анализ гранулометрического состава полученной горной массы. Цифровые методы оценки дробления включают фиксацию развала с применением фото- и видеосъёмки, последующую программную сегментацию фрагментов и

построение кривых распределения кусковатости. Сопоставление фактических показателей с расчётной моделью даёт возможность выявить отклонения и скорректировать параметры последующих взрывов.

Интеграция результатов анализа в трёхмерную модель формирует замкнутый цикл управления: моделирование, взрыв, цифровой анализ, корректировка параметров. Такой подход переводит буровзрывные работы из категории эмпирически настраиваемых процессов в область управляемых инженерных систем.

Комплексное применение 3D-моделирования и цифрового анализа дробления обеспечивает снижение удельного расхода взрывчатых веществ, уменьшение выхода негабаритных фракций, повышение однородности гранулометрического состава и сокращение затрат на вторичное дробление. Дополнительным эффектом является повышение промышленной безопасности за счёт более точного расчёта параметров разрушения массива.

Перспективы дальнейшего развития связаны с интеграцией систем трёхмерного моделирования с геоинформационными платформами, внедрением алгоритмов машинного обучения для прогнозирования фрагментации и созданием цифровых двойников карьеров. Использование накопленных данных о результатах предыдущих взрывов позволит формировать адаптивные проектные решения в автоматизированном режиме.

Таким образом, цифровизация буровзрывных работ на основе технологий 3D-моделирования и анализа дробления горной массы является стратегическим направлением развития горнодобывающей отрасли. Переход к цифровым инструментам проектирования обеспечивает повышение точности расчётов, экономическую эффективность и устойчивость производственных процессов.

Список литературы:

1. Анализ современных разработок в области оценки качества дробления взорванной горной массы - А.О. Брухавецкая
2. Книга В. П. большакова, А. Л. бочкова «основы 3d-моделирования. изучаем работу в autocad, компас-3D, solidworks, inventor»
3. П. Я. таранов - буровзрывные работы
4. Интенсификация процесса дробления массива разнопрочных горных пород кумулятивными зарядами при открытой разработке месторождений фосфоритов - Нутфуллоев Гафур Субхонович

## СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТА В УСЛОВИЯХ УЗЕНЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Узеньское месторождение является одним из крупнейших и наиболее значимых нефтяных месторождений Казахстана, расположенным в Мангистауской области. Оно относится к числу зрелых и длительно разрабатываемых объектов, где основные запасы нефти были вовлечены в разработку ещё в советский период. Многолетняя эксплуатация привела к существенному снижению пластового давления, росту обводнённости продукции и уменьшению дебитов скважин. Несмотря на значительные геологические запасы, фактический коэффициент извлечения нефти остаётся ограниченным и в среднем не превышает 30–35%, что соответствует общемировой тенденции: значительная часть углеводородов остаётся в пласте в виде остаточной нефти. Данная проблема особенно актуальна для Узеньского месторождения, поскольку нефть характеризуется повышенной вязкостью, а коллекторы отличаются неоднородностью, что существенно осложняет процесс вытеснения нефти традиционными методами заводнения.

На поздней стадии разработки основным способом поддержания пластового давления на месторождении является закачка воды. Однако эффективность заводнения постепенно снижается из-за высокой степени обводнённости продукции, формирования водяных «языков» и преждевременного прорыва воды к добывающим скважинам. В результате значительные объёмы нефти остаются неизвлечёнными в низкопроницаемых зонах и в участках с ухудшенными фильтрационно-ёмкостными свойствами. Таким образом, возникает необходимость внедрения современных методов увеличения нефтеотдачи (МУН), направленных на мобилизацию остаточной нефти и повышение охвата пласта воздействием.

В качестве перспективного направления для Узеньского месторождения предлагается внедрение комплексной технологии термополимерного воздействия, сочетающей элементы тепловых и химических методов увеличения нефтеотдачи. Сущность предлагаемой технологии заключается в поэтапной закачке теплоносителя (пара или горячей воды) с последующим вводом полимерного раствора. Тепловое воздействие позволяет снизить вязкость нефти, улучшить её подвижность и увеличить коэффициент вытеснения, тогда как полимерное заводнение повышает вязкость вытесняющего агента, выравнивает профиль приёмистости и обеспечивает более равномерный охват пласта. За счёт

этого уменьшается неравномерность фильтрационных потоков и сокращается прорыв воды по высокопроницаемым каналам.

Применение тепловых методов на Узеньском месторождении обосновано физико-химическими свойствами нефти. При повышении температуры её вязкость существенно снижается, что приводит к увеличению подвижности и росту дебита скважин. Дополнительное введение полимеров (например, частично гидролизованного полиакриламида) позволяет повысить коэффициент охвата пласта за счёт улучшения соотношения подвижностей нефти и вытесняющего агента. В результате создаются условия для вовлечения в разработку ранее недренируемых зон. По предварительным оценкам, комплексное термополимерное воздействие способно обеспечить прирост коэффициента извлечения нефти на 8–12% по сравнению с традиционным заводнением, что для крупного месторождения эквивалентно миллионам тонн дополнительно добытой нефти.

Экономическая эффективность предлагаемой технологии обусловлена использованием существующей инфраструктуры месторождения с её частичной модернизацией. Парогенераторные установки могут быть размещены вблизи кустовых площадок, а система закачки полимеров интегрирована в действующую систему поддержания пластового давления. Дополнительным преимуществом является возможность поэтапного внедрения технологии на наиболее проблемных участках, что снижает инвестиционные риски и позволяет проводить опытно-промышленные испытания с последующей корректировкой параметров закачки.

Экологический аспект также играет важную роль при выборе метода увеличения нефтеотдачи. Термополимерное воздействие не предполагает применения агрессивных химических реагентов в больших объёмах и может быть реализовано с соблюдением требований промышленной и экологической безопасности. Повышение нефтеотдачи существующего месторождения позволяет сократить необходимость освоения новых территорий, что снижает антропогенную нагрузку на окружающую среду.

*Используемая литература:*

1. Сургучев М.Л. «Вторичные и третичные методы увеличения нефтеотдачи». М.: Недра, 1985.
2. Амелин И.Д., Сургучев М.Л., Давыдов А.В. «Прогноз разработки нефтяных залежей на поздней стадии». М. Недра, 1994.
3. Степанова Г.С. «Газовые и водогазовые методы воздействия на нефтяные пласты» Москва: Газоил пресс, 2006.



## ТАУ-КЕН ӨНДІРІСІ ӘСЕРІНЕН БҰЗЫЛҒАН ЖЕРЛЕРДІ РЕКУЛЬТИВАЦИЯЛАУДЫҢ ИННОВАЦИЯЛЫҚ ТӘСІЛДЕРІ

Қазіргі кезеңде тау-кен өндірісі экономиканың стратегиялық маңызды саласы болып табылады. Дегенмен, пайдалы қазбаларды ашық және жерасты әдістерімен игеру табиғи ландшафттардың бұзылуына, топырақ құнарлылығының төмендеуіне, гидрологиялық режимнің өзгеруіне және экожүйелердің деградациясына әкеледі. Әсіресе ашық әдіспен жүргізілетін карьерлік жұмыстар жер бедерін толықтай өзгертіп, үлкен аумақтарды техногендік ландшафтқа айналдырады. Осыған байланысты бұзылған жерлерді тиімді және тұрақты қалпына келтіру – қазіргі тау-кен өндірісінің басты міндеттерінің бірі.

Қазақстан Республикасында жерді қалпына келтіру талаптары Қазақстан Республикасының Экологиялық кодексі және Қазақстан Республикасының Жер кодексі нормаларымен реттеледі. Қазіргі жағдайда дәстүрлі рекультивация әдістері жеткіліксіз болып, инновациялық технологияларды енгізу қажеттілігі туындауда.



а) рекультивацияға дейін      ә)рекультивациядан кейін  
1 сурет - Бұзылған жерлерді қайта қалпына келтірудің нәтижесі

### 1. Дәстүрлі рекультивацияның шектеулері

Дәстүрлі рекультивация екі кезеңнен тұрады:

1.Техникалық (жер бедерін тегістеу, еңістерді қалыптастыру, топырақ төсеу);

2.Биологиялық (шөп егу, ағаш отырғызу).

Алайда, дәстүрлі тәсілдер табиғи экожүйені толық қалпына келтірмей, ұзақ уақыт талап етіп, қаржылық шығындары жоғары болып, топырақ құнарлылығын баяу қалпына келтіретіндіктен, инновациялық әдістерді қолдану қажеттілігі артып отыр.

## **2. Рекультивациядағы инновациялық тәсілдер**

Геоакпараттық жүйелер (GIS) және дрондық мониторинг

Геоакпараттық жүйелер (GIS) және дрондық мониторинг дрондардың көмегімен карьер аумағын 3D модельдеп, топырақ эрозиясын бақылап, өсімдік жамылғысының дамуын талдай отырып, ландшафт өзгерістерін сандық картаға түсіруге мүмкіндік береді. Бұл тәсіл рекультивация процесін нақты жоспарлауға және шығындарды азайтуға мүмкіндік береді.

Фиторемедиация технологиясы

Фиторемедиация – ластанған топырақты арнайы өсімдіктер арқылы тазарту әдісі.

Артықшылықтары:

ауыр металдарды сіңіру;

топырақ құрылымын жақсарту;

биологиялық әртүрлілікті арттыру;

экологиялық қауіпсіздік.

Мысалы, бұршақ тұқымдас өсімдіктер топырақты азотпен байытады.

Биопрепараттар мен микробиологиялық әдістер

Биопрепараттар мен микробиологиялық әдістер топыраққа пайдалы микроорганизмдерді енгізу, биогумус қолдану және компост пен органикалық тыңайтқыштарды пайдалану арқылы топырақ құрылымы мен құнарлылығын қалпына келтіруге мүмкіндік береді. Бұл тәсіл топырақтың биологиялық белсенділігін жылдам қалпына келтіреді.

Техногендік ландшафттарды экожобалау (эко-дизайн)

Қазіргі заманда техногендік ландшафттарды экожобалау (эко-дизайн) карьерлерді жай ғана тегістеу емес, оларды жасанды көлге айналдыру, рекреациялық аймақ жасау, күн және жел электр станцияларын орналастыру немесе өнеркәсіптік парк ретінде пайдалану сияқты жаңа функциялармен қайта жобалауды қамтиды.

Гидросев технологиясы

Гидросев – тұқым, тыңайтқыш және бекіткіш қоспаны су арқылы бүрку әдісі.

Артықшылықтары:

еңісті беткейлерде тиімді;

эрозияны азайтады;

өсімдік жамылғысы тез қалыптасады.

Инновациялық рекультивация – тұрақты даму қағидаларына сәйкес келетін, экологиялық және экономикалық тұрғыдан тиімді бағыт болып табылады.

*Пайдаланылған әдебиеттер:*

1.Мирзаев Г.Г., Иванов Б.А., Щербakov В.М. и др. *Экология горного производства*

2.Azam, T., & Kumar, P. (2020). *Innovative techniques in mine reclamation and land restoration*. Springer.

3.ГОСТ 17.5.3.05-84. - *Табиғатты қорғау. Жерді қалпына келтіру. Жерге орналастыруға қойылатын жалпы талаптар (КСРО Мемстандартының 1984 жылы 27 наурыздағы № 1020 Қаулысымен қолданысқа енгізілді).*

## ТАУ-КЕН САЛАСЫНДАҒЫ «SMART MINING» ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ

Тау-кен өнеркәсібі әлемдік экономиканың маңызды салаларының бірі болып табылады. Соңғы жылдары өндіріс тиімділігін арттыру және қауіпсіз еңбек жағдайларын қамтамасыз ету мақсатында цифрлық технологияларды енгізу кеңінен таралуда. Осы бағыттағы негізгі үрдістердің бірі – «Smart Mining» немесе «ақылды кеніш» тұжырымдамасы.

«Smart Mining» технологиялары өндірістік процестерді автоматтандыруға, нақты уақыт режимінде деректерді бақылауға және басқаруға мүмкіндік береді. Бұл жүйелерге геологиялық модельдеу бағдарламалары, өндірістік процестерді басқару жүйелері, сенсорлар, дрондар және қашықтан басқарылатын техника жатады. Осындай технологиялар кен орындарын барлау, өндіру және өңдеу кезеңдерінде деректерді тиімді пайдалануға жағдай жасайды. Сонымен қатар, Big Data технологиялары өндірістік деректердің үлкен көлемін талдауға мүмкіндік береді. Бұл өндірістік процестердің тиімділігін арттыруға, жабдықтардың жұмысын болжауға және апаттық жағдайлардың алдын алуға көмектеседі. Мысалы, интеллектуалды мониторинг жүйелері жабдықтардың техникалық жағдайын бақылап, жөндеу жұмыстарын алдын ала жоспарлауға мүмкіндік береді. «Smart Mining» технологияларының тағы бір маңызды артықшылығы – өндірістегі қауіпсіздік деңгейін арттыру. Қашықтан басқарылатын техника мен автоматтандырылған жүйелер жұмысшылардың қауіпті аймақтарда болуын азайтады. Сонымен қатар, экологиялық мониторинг жүйелері қоршаған ортаға әсерді бақылауға мүмкіндік береді. Осылайша, «Smart Mining» технологиялары тау-кен өнеркәсібінің цифрлық трансформациясының маңызды элементі болып табылады. Олар өндірістің тиімділігін арттыруға, қауіпсіздікті қамтамасыз етуге және табиғи ресурстарды ұтымды пайдалануға мүмкіндік береді.

Қазіргі кезеңде «Smart Mining» технологияларын енгізу тау-кен саласының дамуы үшін маңызды фактор болып табылады. Бұл технологиялар өндірістік процестерді оңтайландырып, еңбек қауіпсіздігін арттырып, экологиялық тұрақтылықты қамтамасыз етеді. Сондықтан болашақта тау-кен кәсіпорындарында цифрлық және интеллектуалды жүйелерді кеңінен енгізу саланың бәсекеге қабілеттілігін арттыруға ықпал етеді.

**Әдебиеттер тізімі**

1. Hartman H., Mutmansky J. Introductory Mining Engineering. – New York: Wiley, 2002. – 356–360 б.
2. Әбдірахманов А.Ә. Тау-кен ісінің негіздері. – Алматы: ҚазҰТЗУ баспасы, 2018. – 145–150 б.
3. Darling P. SME Mining Engineering Handbook. – Colorado: Society for Mining, Metallurgy & Exploration, 2011. – 142–148 б.
4. Hilson G. Sustainable Development in the Mining Industry. – London: Routledge, 2017. – 210–215 б.

## АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖӘНЕ РОБОТТАНДЫРЫЛҒАН КЕН ӨНДІРУ ЖҮЙЕЛЕРІ

Тау-кен өнеркәсібі әлемдік экономиканың стратегиялық маңызды салаларының бірі болып табылады. Пайдалы қазбаларға деген сұраныстың артуы, өндірістік қауіпсіздікті күшейту және тиімділікті арттыру қажеттілігі жаңа технологияларды енгізуді талап етеді. Осыған байланысты автоматтандырылған және роботтандырылған жүйелер тау-кен өндірісінің дамуының маңызды бағыттарының біріне айналып отыр.

Автоматтандырылған жүйелер өндірістік процестерді бағдарламалық басқару және бақылау технологиялары арқылы жүзеге асырады. Ал роботтандырылған жүйелер адам қатысуынсыз немесе минималды қатысумен жұмыс істейтін автономды техникалар мен құрылғылардан тұрады. Бұл технологиялар өндіріс тиімділігін арттыруға, қауіпсіздікті күшейтуге және шығындарды азайтуға мүмкіндік береді.

Автоматтандыру – өндірістік процестерді адамның тікелей қатысуынсыз немесе аз қатысуымен басқару. Тау-кен өндірісінде автоматтандыру бұрғылау, қазу, тасымалдау, ұсату және байыту процестерін қамтиды.

Автоматтандырылған жүйелердің негізгі компоненттеріне өндірісті қашықтан басқаруға арналған SCADA жүйелері, жабдықтардың жұмысын автоматты реттейтін PLC-контроллерлер, кен орындарын картаға түсіруге және талдауға мүмкіндік беретін геоақпараттық жүйелер жатады. Сонымен қатар сенсорлық бақылау жүйелері температура, қысым және газ деңгейі сияқты көрсеткіштерді бақылап отырады. Өндірістік деректерді талдау платформалары үлкен деректерді пайдаланып өндіріс тиімділігін арттыруға көмектеседі. Қазіргі уақытта көптеген халықаралық тау-кен компаниялары автоматтандыру технологияларын белсенді түрде енгізуде. Бұл технологиялар өндірістің қауіпсіздігін арттыруға және жабдықтардың тиімді жұмыс істеуін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Автоматтандыру нәтижесінде өндіріс өнімділігі артып, жұмысшылардың қауіпті аймақтарда жұмыс істеу қажеттілігі азаяды. Автоматтандырылған жүйелердің негізгі артықшылықтарына өндірістік қауіпсіздіктің артуы, апат тәуекелінің төмендеуі, өнімділіктің жоғарылауы және шығындардың азаюы жатады. Сонымен қатар деректерге негізделген басқару шешімдерін қабылдау мүмкіндігі пайда болады. Алайда автоматтандырудың кейбір кемшіліктері де бар. Олардың қатарында жоғары бастапқы инвестициялық шығындар, киберқауіпсіздік мәселелері және жоғары білікті мамандардың тапшылығы бар.

Роботтандырылған кен өндіру жүйелері

Роботтандыру – қауіпті және ауыр өндірістік процестерді автономды техниканың көмегімен орындау. Роботтандырылған жүйелер жасанды интеллект, сенсорлар және машиналық көру технологияларын пайдаланады. Бұл технологиялар өндірісті тиімді әрі қауіпсіз жүргізуге мүмкіндік береді. Тау-кен саласында роботтандыру бірнеше негізгі бағыттар бойынша жүзеге асырылады. Оларға автономды карьерлік самосвалдар, роботтандырылған бұрғылау қондырғылары, жерасты шахталарындағы қашықтан басқарылатын тиегіштер және геологиялық барлау үшін қолданылатын дрондар жатады. Сонымен қатар кейбір роботтар жабдықтардың техникалық жағдайын бақылау және диагностика жасау үшін қолданылады. Роботтандырылған жүйелердің басты артықшылықтарының бірі – қауіпті аймақтарда адам өміріне қауіп төндірмей жұмыс істеу мүмкіндігі. Сонымен қатар мұндай техника тәулік бойы үздіксіз жұмыс істей алады, бұл өндіріс көлемін арттыруға мүмкіндік береді. Роботтардың жұмыс дәлдігі жоғары және олардың жұмысы тұрақты болады. Дегенмен роботтандырудың да белгілі бір қиындықтары бар. Техникалық қызмет көрсету күрделі болуы мүмкін, бағдарламалық қамтамасыз етуге тәуелділік жоғары болады және мұндай жүйелерді енгізу үшін арнайы инфрақұрылым қажет.

#### Қазақстандағы даму мүмкіндіктері

Қазақстан пайдалы қазбаларға бай мемлекеттердің бірі болып табылады және тау-кен өнеркәсібі ел экономикасында маңызды орын алады. Сондықтан өндірісті автоматтандыру мен роботтандыру Қазақстан үшін стратегиялық маңызды бағыт болып саналады. Қазіргі уақытта еліміздегі кейбір ірі тау-кен компаниялары өндірісті цифрландыру және автоматтандыру жобаларын жүзеге асыруда. Болашақта Қазақстанда толық автономды шахталар, жасанды интеллект арқылы кен қорын болжау жүйелері, 5G технологиясы арқылы қашықтан басқарылатын өндіріс және «ақылды карьер» жүйелері дамуы мүмкін. Мұндай технологияларды енгізу тау-кен өнеркәсібінің бәсекеге қабілеттілігін арттыруға мүмкіндік береді.

Қорытындылай келе, автоматтандырылған және роботтандырылған жүйелер тау-кен өнеркәсібінің дамуы үшін маңызды рөл атқарады. Бұл технологиялар өндірістік процестердің қауіпсіздігін арттырып, еңбек өнімділігін жоғарылатады және шығындарды азайтады. Әлемдік тәжірибе автоматтандыру мен роботтандырудың тиімді екенін көрсетіп отыр. Сондықтан Қазақстан үшін тау-кен өндірісін цифрландыру және жаңа технологияларды енгізу саланың болашақ дамуының негізгі бағыты болып табылады.

#### Пайдаланылған әдебиеттер

1. Тау-кен өнеркәсібін цифрландыру материалдары.
2. Кен өндіру ісі негіздері. – Алматы: Қазақ университеті, 2018.
3. Rio Tinto компаниясының Smart Mining жобалары туралы материалдар.
4. ВНР компаниясының өндірісті цифрландыру жөніндегі есептері.
5. Komatsu компаниясының автономды карьерлік техникасы туралы

## ТАУ-КЕН КЕШЕНІНЕ ҮЛКЕН ДЕРЕКТЕР (BIG DATA) МЕН ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТТІ ҚОЛДАНУДЫҢ ЭКОНОМИКАЛЫҚ ӘСЕРІ МЕН ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ

Қазіргі таңда Қазақстанның тау-кен өнеркәсібі цифрлық трансформация кезеңіне қадам басты. Қазақстан Республикасы Индустрия және инфрақұрылымдық даму министрлігі ұсынған цифрлық технологияларды енгізу жөніндегі есептерге сәйкес, өндірістік процестерге Big Data мен жасанды интеллект (AI) элементтерін енгізу саланың бәсекеге қабілеттілігін арттырудың негізгі факторына айналуға.

Үлкен деректерді талдау тау-кен кәсіпорындарында геологиялық барлау жұмыстарын оңтайландыруға, кен орындарының қорын дәлірек болжауға және өндірістік тәуекелдерді төмендетуге мүмкіндік береді. Mining.kz журналында жарияланған зерттеулерге сәйкес, Big Data технологиялары кен құрамын жедел талдауға және өндіріс шығындарын 10–15%-ға дейін қысқартуға ықпал етеді. Бұл, өз кезегінде, кәсіпорындардың қаржылық тиімділігін арттырып, инвестициялық тартымдылығын күшейтеді.

Геологиялық барлау кезеңінде Big Data аналитикасы мен машиналық оқыту алгоритмдері сейсмикалық деректерді, спутниктік суреттерді және геофизикалық мәліметтерді өңдеу жылдамдығы мен дәлдігін еселеп арттырады. Бұл барлау бұрғылауының тиімділігін жоғарылатып, бос шығындарды 20-25%-ға азайтуға мүмкіндік береді. Осылайша, ЖИ технологиялары кен орындарын ашудағы белгісіздік факторын төмендетіп, инвестициялық тәуекелдерді басқарудың жаңа құралына айналады. Тікелей өндіру процесінде «Зияткерлік кеніш» (Smart Mining) тұжырымдамасы аясында предиктивті (болжамды) техникалық қызмет көрсету жүйелері ерекше маңызға ие.

Экономикалық тұрғыдан алғанда, цифрлық технологияларды енгізу операциялық шығындарды төмендетуге, энергия ресурстарын үнемдеуге және логистиканы тиімді ұйымдастыруға ықпал етеді. Өндірістік деректерді талдау арқылы шикізатты тасымалдау бағыттары оңтайландырылып, жеткізу тізбегіндегі тәуекелдер азаяды. Бұл кәсіпорындардың табыстылығын арттырып, инвестициялық тартымдылығын күшейтеді.

Болашақта тау-кен өндірісінде «ақылды кеніштерді» қалыптастыру, толық автоматтандырылған басқару жүйелеріне көшу және цифрлық инфрақұрылымды дамыту негізгі стратегиялық бағыттарға айналады. Бұл Қазақстанның тау-кен саласының жаһандық нарықтағы бәсекеге қабілеттілігін арттыруға мүмкіндік береді.

Мемлекет басшысы Қасым-Жомарт Тоқаев өз жолдаулары мен өнеркәсіпті дамытуға қатысты баяндамаларында экономиканың бәсекеге қабілеттілігін арттыру үшін өндірісті цифрландыру, жасанды интеллект пен жаңа технологияларды енгізу қажеттігін бірнеше рет атап өтті. Бұл бастамалар тау-кен-металлургия кешенін жаңғыртуға, еңбек өнімділігін арттыруға және шикізаттық бағыттан жоғары қосылған құнды, технологиялық экономикаға көшуге бағытталған. Осы тұрғыдан алғанда, Big Data мен жасанды интеллектті енгізу тек жекелеген кәсіпорындардың тиімділігін арттыру құралы ғана емес, ұлттық экономиканың тұрақты дамуы мен жаһандық нарықтағы позициясын нығайтудың маңызды факторы болып табылады.

Жасанды интеллект жүйелері өндірістік қауіпсіздікті қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады. ҚР тау-кен инженерия журналы деректеріне сүйенсек, AI негізіндегі мониторинг жүйелері апаттық жағдайлардың алдын алуға, жабдықтардың істен шығуын болжауға және адам факторынан туындайтын қателіктерді азайтуға мүмкіндік береді. Нәтижесінде өндірістік тоқтап қалулар саны азайып, экономикалық шығындар төмендейді.

Сонымен қатар, Назарбаев Университеті ұйымдастырған ғылыми конференция материалдарында үлкен деректер мен AI-дың интеграциясы кен өндірудің толық автоматтандырылған моделіне көшуге негіз болатыны атап өтілген. Бұл болашақта «ақылды кеніштерді» қалыптастыруға, яғни өндірістің барлық кезеңдерін цифрлық бақылауға мүмкіндік береді.

Халықаралық консалтингтік компаниялар – Deloitte Kazakhstan және PwC Kazakhstan – өз есептерінде Industry 4.0 элементтерін енгізу нәтижесінде операциялық шығындар 15–20%-ға төмендеп, еңбек өнімділігі айтарлықтай өсетінін көрсетеді.

Қорытындылай келе, Big Data мен жасанды интеллект технологияларын тау-кен кешенінде қолдану экономикалық тиімділікті арттырып қана қоймай, өндірістік қауіпсіздік деңгейін жоғарылатады, ресурстарды ұтымды пайдалануға жағдай жасайды және саланың ұзақ мерзімді тұрақты дамуын қамтамасыз етеді. Болашақта цифрлық инфрақұрылымды жетілдіру, кадрлық әлеуетті дамыту және ғылыми-зерттеу жұмыстарын күшейту арқылы Қазақстан тау-кен өнеркәсібі инновациялық даму жолына толық көшуге мүмкіндік алады.

Пайдаланылған әдебиеттер:

1. Абдрахманов, Ә., Жұмабекова, С. – Үлкен деректерді талдау және оның тау-кен саласында қолданылуы – 2023.
2. Сәрсенов, Б., Әлиева, Г. – Жасанды интеллект және өндірістік қауіпсіздік – 2022.
3. Қуанышев, Д. – Қазақстандағы IT-технологиялардың тау-кен өндірісіне әсері – 2021.

## ЦИФРЛЫҚ ЭКОНОМИКА ЖАҒДАЙЫНДА ТАУ-МЕТАЛЛУРГИЯЛЫҚ КЕШЕННІҢ ДАМУЫ МЕН ЗАМАНАУИ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ТРЕНДТЕР

Тау-кен өнеркәсібі-әлемдік және ұлттық экономиканың маңызды секторларының бірі. Ол табиғи ресурстарды өндіру арқылы металлургия, құрылыс, машина жасау және энергетика салаларының дамуына тікелей әсер етеді. Марганец сияқты стратегиялық металдарды өндіру Қазақстан үшін де экономикалық маңызы жоғары сала болып саналады. Үшқатын-III марганец кен орнында өнеркәсіптік және құрылыс алаңдарын дамытуда маркшейдерлік тірек желісін заманауи технологиялық принциптерге сай құру-өндірістің тиімділігін арттыру, қауіпсіздікті қамтамасыз ету және ресурстарды рационалды пайдалану үшін маңызды ғылыми және практикалық мәселе болып отыр.

Маркшейдерлік тірек желісі кеніштің геометриялық, вертикалдық және горизонталдық координаттарын дәл анықтауға мүмкіндік беріп, өндірістік процестерді басқаруды жеңілдетеді. Оның экономикалық мәні бірнеше бағытта көрінеді: өндіріс шығындарын азайту, құрылыс алаңдарын жобалау сапасын арттыру, жұмыс орындарын құру және кеніштің өндірістік тиімділігін жоғарылату. Цифрлық экономика жағдайында маркшейдерлік жүйелер Big Data, GIS (Geographic Information Systems), BIM (Building Information Modeling) және жасанды интеллект технологияларын қолдану арқылы жаңа деңгейге көтерілуде.

Қазіргі замандағы маркшейдерлік тірек желісін құруда бірнеше негізгі аспектілерді атап өтуге болады. Біріншіден, геологиялық барлау деректерін тиімді пайдалану қажет. Кеніштің рельефі, пайдалы қазбалардың таралуы және топырақ құрылымы негізінде өнеркәсіптік және құрылыс алаңдарының орналасуы дәл жоспарланады. Екіншіден, геодезиялық бақылау жүйесі кеніштің барлық өндірістік учаскелерінде тұрақты мониторинг жүргізуді қамтамасыз етеді. Үшіншіден, заманауи 3D-сканерлеу, лазерлік сканерлер және цифрлық екілік көшірмелерді (Digital Twins) қолдану арқылы тірек желісін жобалау кезінде қателерді азайтуға және өндірістік қауіпсіздікті арттыруға мүмкіндік туады.

Тау-кен саласындағы технологиялық трендтер мен цифрлық трансформацияға келер болсақ, олар өндірістік тиімділікті арттыру мен қауіпсіздікті қамтамасыз етудің негізгі факторына айналды. Big Data және жасанды интеллект кеніш деректерін өңдеуді жеделдетіп, кеніштің толық көлемінде тиімділікті болжауға мүмкіндік береді. Пилотсыз жүк көліктері, роботтандырылған бұрғылау кешендері кеніштің әртүрлі учаскелерінде қауіпсіз және үнемді жұмыс істеуге жағдай жасайды. 3D-сканерлеу және лазерлік сканерлер маркшейдерлік тірек желісін дәлірек жобалауға



көмектеседі, ал цифрлық модельдеу өндірістік ақаулар мен тәуекелдерді алдын ала анықтауға мүмкіндік береді.

Үшқатын-III марганец кен орнында заманауи маркшейдерлік тірек желісін құрудың әдістемесі келесі кезеңдерден тұрады: геологиялық барлау деректері негізінде өндірістік аймақтарды жоспарлау; геодезиялық бақылау жүргізу; 3D-модельдеу арқылы тірек желісін жобалау; өндірістік және құрылыс аймақтарын интеграциялау. Бұл тәсіл кеніштің ресурстарын үнемді пайдалануға, өндіріс шығындарын төмендетуге және құрылыс сапасын арттыруға мүмкіндік береді.

Халықаралық тәжірибе көрсеткендей, Австралия, Канада және Норвегияда цифрлық маркшейдерлік жүйелер енгізілуде. Олар 3D-модульдік тірек желілерін, GIS арқылы нақты уақыттағы бақылауды және бұлттық платформаларда деректерді басқаруды қамтиды. Қазақстандағы Үшқатын-III кенішінде осы тәжірибелерді енгізу өндіріс тиімділігін 15-20% арттыруға мүмкіндік береді деп болжануда.

Болашақта маркшейдерлік тірек желісін дамыту мен цифрлық технологияларды қолдану жаңа экономикалық бағыттарға жол ашуы мүмкін. Кеніш қалдықтарын қайта өңдеу, Urban Mining арқылы марганец және сирек элементтерді шығару, биотехнологияларды қолдану (металдарды бактериялар арқылы өндіру) өндірістің экологиялық тұрақтылығын қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, жасанды интеллект пен Big Data аналитикасы кеніштің жоспарлау және басқару процесін жетілдіріп, экономикалық тиімділікті арттырады.

Осылайша, Үшқатын-III марганец кен орнында өнеркәсіптік және құрылыс алаңдары үшін заманауи маркшейдерлік тірек желісін құру тек өндірістік тиімділікті арттырып қана қоймай, ел экономикасын әртараптандыруға, жаңа технологияларды енгізуге және тұрақты даму қағидаларын қалыптастыруға ықпал етеді. Кен орны мысалында бұл тәсіл өндіріс тиімділігін арттыру, қауіпсіздік деңгейін жоғарылату және қоршаған ортаны қорғау саласында нақты нәтижелер береді. Цифрлық экономика жағдайында бұл салада инновациялық технологияларды қолдану стратегиялық маңызды міндет болып қала береді.

*Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:*

1. Көшімбаев Ә.Қ., Ахметов Қ.И. - Тау-кен өндірісінің экономикасы. Алматы: ҚазҰТЗУ баспасы, 2019.
2. Бритвин С.Н., Брусницын А.И., Верецагин О.С., Перова Е.Н. «Месторождение Ушкатын-III: Ba-Pb, Fe, Mn руды в карбонатных отложениях палеорифта» 2025 г., 464 стр.
3. Жақыпов А.Б., Есентеміров С.Е. - Минералдық ресурстарды кешенді пайдалану. Қарағанды: ҚарМТУ, 2020.
4. Еркін Н.Ж., Нұрғалиев С.Т. - Қазіргі заманғы тау-кен ісінің экономикалық аспектілері. "ҚазҰТУ хабаршысы", №3, 2021.
5. Смағұлов Қ.Р., Өмірбекова Л.М. - Жер қойнауын пайдаланудың құқықтық және экономикалық негіздері. Алматы: Экономика баспасы, 2022.

## ТЕОДОЛИТ ДЕРЕКТЕРІН ӨНДЕУДЕ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ НЕГІЗІНДЕГІ ШЕШІМДЕР

**Кіріспе.** Геодезиялық жұмыстарда теодолит деректері бұрыштық өлшеулерді сипаттайтын негізгі ақпарат көзі болып табылады. Бұл деректер құрылыс, жерге орналастыру және инженерлік-геодезиялық есептерде кеңінен қолданылады. Дәстүрлі тәсілде теодолитпен алынған өлшеу нәтижелері қолмен немесе қарапайым бағдарламалар арқылы өңделеді, бұл уақыттың көп жұмсалыуына және қателіктердің туындауына әкелуі мүмкін [1].

Қазіргі кезеңде жасанды интеллект (ЖИ) негізіндегі шешімдер теодолит деректерін өңдеуді автоматтандыруға, өлшеу нәтижелерінің сапасын арттыруға және адам факторын азайтуға мүмкіндік беріп отыр. Бұл жұмыстың мақсаты - теодолит деректерін өңдеуде қолданылатын жасанды интеллект әдістерінің маңызын қарастыру.

### 1. Теодолит деректерін өңдеудің дәстүрлі тәсілдері

Теодолитпен өлшенген бұрыштық мәндер геодезиялық есептеулердің негізін құрайды. Бір нүктеде бірнеше рет өлшеу жүргізілген жағдайда нәтижелердің орташа мәні анықталады [2]:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

мұндағы

$x_i$  - жеке өлшеу нәтижелері,

n - өлшеу саны,

$\bar{x}$  - барлық өлшемдердің орташа мәні.

Бұл тәсіл кездейсоқ қателіктерді азайтуға мүмкіндік береді.

### 2. Жасанды интеллект негізіндегі шешімдер

Жасанды интеллект әдістері теодолит деректерін интеллектуалды өңдеуге мүмкіндік береді. Машиналық оқыту алгоритмдері өлшеу нәтижелерін талдап, қалыпты мәндерден ауытқуларды автоматты түрде анықтайды [4].

Өлшеу деректерін өңдеудің интеллектуалды моделі келесі түрде сипатталады:

$$\hat{y} = f(x)$$

мұндағы

x - теодолитпен алынған бастапқы дерек,

$\hat{y}$  - жасанды интеллект арқылы өңделген немесе түзетілген нәтиже.

Бұл модель арқылы қате мәндер анықталып, сенімді деректер ғана есептеулерге жіберіледі (1-сурет).



1-сурет Жасанды интеллект арқылы деректерді өңдеу

### 3. Жасанды интеллектті қолданудың артықшылықтары

Теодолит деректерін өңдеуде жасанды интеллект негізіндегі шешімдердің негізгі артықшылықтары:

- өлшеу деректерін өңдеу жылдамдығының артуы;
- қателіктерді автоматты түрде анықтау;
- есептеулердің дәлдігін арттыру;
- геодезиялық жұмыстарды цифрландыру деңгейінің өсуі [3].

Бұл тәсілдер заманауи геодезия талаптарына толық сәйкес келеді.

**Қорытынды.** Теодолит деректерін өңдеуде жасанды интеллект негізіндегі шешімдер геодезиялық жұмыстарды автоматтандырудың тиімді бағыты болып табылады. Дәстүрлі геодезиялық әдістерді жасанды интеллект алгоритмдерімен біріктіру арқылы өлшеу нәтижелерінің сапасы артып, адам факторынан туындайтын қателіктер азаяды. теодолит деректерін жасанды интеллектпен өңдеу - цифрлық геодезияны дамытудағы тиімді бағыт болып табылады, әрі заманауи ғылыми-зерттеу жұмыстарында кеңінен қолдануға лайық. Бұл технологиялар геодезия саласының болашақ дамуына елеулі үлес қосады.

#### Қолданылған әдебиеттер тізімі

1. Сейдалин Б. Геодезия негіздері. - Алматы: Білім, 2019.
2. Волф П.Р., Гилани С.Д. Бастапқы геодезия (Elementary Surveying). - Пирсон, 2020.
3. Кахмен Г. Геодезиялық өлшеулер (Surveying). - Берлин: Де Грюйтер, 2021.
4. Бишоп К.М. Үлгілерді тану және машиналық оқыту (Pattern Recognition and Machine Learning). - Шпрингер, 2016.

### «АҚЫЛДЫ КЕНІШ» (SMART MINING) ЖҮЙЕСІН ҚАЛЫПТАСТЫРУ

Қазіргі таңда тау-кен өнеркәсібі жаһандық деңгейде цифрлық трансформация үдерісін бастан өткеріп отыр. Табиғи ресурстарды тиімді игеру, өндірістік шығындарды азайту, еңбек қауіпсіздігін арттыру және экологиялық талаптарды сақтау мәселелері тау-кен кәсіпорындары үшін аса өзекті. Осы жағдайларда өндірісті басқарудың дәстүрлі әдістері өзінің тиімділігін жоғалтып, олардың орнына заманауи цифрлық шешімдер енгізу қажеттілігі туындауда. Осындай инновациялық бағыттардың бірі – «Ақылды кеніш» (Smart Mining) жүйесін қалыптастыру болып табылады.

«Ақылды кеніш» тұжырымдамасы тау-кен өндірісіндегі барлық технологиялық процестерді цифрландыруға, автоматтандыруға және зияткерлік басқару жүйелері арқылы оңтайландыруға негізделген. Бұл жүйе кен орнын барлау кезеңінен бастап, кен өндіру, тасымалдау, байыту және дайын өнімді жеткізуге дейінгі барлық процестерді қамтиды. Smart Mining жүйесінің басты ерекшелігі – өндірістік деректерді нақты уақыт режимінде жинау, талдау және сол деректер негізінде басқарушылық шешімдер қабылдау мүмкіндігі.

Ақылды кеніш жүйесін қалыптастырудың негізгі элементтерінің бірі – датчиктер мен өлшеу құралдарын кеңінен қолдану. Олар тау жыныстарының жағдайын, жабдықтардың жұмыс параметрлерін, температура, қысым, діріл және басқа да көрсеткіштерді үздіксіз бақылауға мүмкіндік береді. Жиналған ақпарат цифрлық платформаларда өңделіп, өндірістің тиімділігі мен қауіпсіздігін арттыруға бағытталған шешімдер қабылдауға негіз болады. Бұл өз кезегінде жабдықтардың істен шығуын алдын ала болжауға және жоспардан тыс тоқтап қалуларды азайтуға жағдай жасайды.

Smart Mining жүйесінде геоақпараттық жүйелер (ГАЗ) мен үшөлшемді модельдеу технологиялары маңызды рөл атқарады. Олар кен орнының геологиялық құрылымын дәл бейнелеуге, пайдалы қазбалардың қорын нақты бағалауға және өндіру процесін тиімді жоспарлауға мүмкіндік береді. Цифрлық модельдер көмегімен кен өндірудің әртүрлі сценарийлерін алдын ала есептеп, ең оңтайлы нұсқасын таңдауға болады. Бұл ресурстарды үнемдеуге және экономикалық тиімділікті арттыруға ықпал етеді.

Сонымен қатар, жасанды интеллект пен үлкен деректерді (Big Data) талдау технологиялары «Ақылды кеніш» жүйесінің ажырамас бөлігі болып табылады. Бұл технологиялар өндірістік процестерден алынған үлкен көлемдегі деректерді өңдеп, жасырын заңдылықтарды анықтауға мүмкіндік береді. Нәтижесінде кен өндіру көлемін болжау, энергия тұтынуды

онтайландыру және өндірістік тәуекелдерді азайту жүзеге асырылады. Мұндай зияткерлік шешімдер басқару сапасын жаңа деңгейге көтереді.

Ақылды кеніш жүйесінің маңызды артықшылықтарының бірі – еңбек қауіпсіздігін қамтамасыз ету. Қашықтан басқарылатын техника мен автоматтандырылған жабдықтарды қолдану арқылы қауіпті аймақтарда адамның қатысуын барынша азайтуға болады. Бұл өндірістік жарақаттар мен апаттардың алдын алуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, нақты уақыт режиміндегі мониторинг жүйелері қауіпті жағдайларды ерте анықтап, шұғыл шаралар қабылдауға жағдай жасайды. Экологиялық тұрғыдан алғанда да Smart Mining жүйесі маңызды рөл атқарады. Цифрлық бақылау құралдары қоршаған ортаға әсер ететін факторларды үздіксіз қадағалап, зиянды шығарындыларды азайтуға мүмкіндік береді. Ресурстарды тиімді пайдалану және қалдықтарды басқарудың заманауи әдістері тау-кен кәсіпорындарының тұрақты дамуына ықпал етеді.

Ақылды кеніш жүйесін енгізу барысында кадрлық әлеуетті дамыту да маңызды орын алады. Цифрлық технологиялармен жұмыс істей алатын білікті мамандарды даярлау, инженерлік-техникалық персоналдың цифрлық құзыреттілігін арттыру Smart Mining жүйесінің тиімді жұмыс істеуінің негізгі шарттарының бірі болып табылады. Осы мақсатта тау-кен кәсіпорындары мен жоғары оқу орындары арасында тығыз ынтымақтастық орнатып, білім беру бағдарламаларын заманауи талаптарға сай бейімдеу қажет. Қазақстан жағдайында «Ақылды кеніш» технологияларын енгізу минералдық-шикізаттық базаны тиімді пайдалануға және ұлттық экономиканың тұрақты дамуына ықпал етеді. Тау-кен металлургия кешенінде цифрлық шешімдерді кеңінен қолдану елдің өнеркәсіптік әлеуетін арттырып, халықаралық нарықтағы бәсекеге қабілеттілігін күшейтеді. Осы тұрғыда Smart Mining жүйесі Қазақстанның индустриялық-инновациялық дамуының басым бағыттарының бірі ретінде қарастырылады. Қорытындылай келе, «Ақылды кеніш» (Smart Mining) жүйесін қалыптастыру – тау-кен өнеркәсібінің болашақ дамуының стратегиялық бағыты болып табылады. Бұл жүйе өндірістің тиімділігін арттырып қана қоймай, еңбек қауіпсіздігін күшейтуге, экологиялық тәуекелдерді азайтуға және кәсіпорындардың бәсекеге қабілеттілігін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Сондықтан Smart Mining технологияларын енгізу Қазақстанның тау-кен саласын жаңғыртудың және оны әлемдік деңгейге көтерудің маңызды құралы болып саналады.

*Пайдаланылған әдебиеттер:*

1. Қуанышев Б.Қ. *Тау-кен өндірісіндегі цифрлық технологиялар*. – Алматы: ҚазҰТЗУ, 2021.
2. Сүлейменов Е.Т., Ахметов Н.А. *Тау-кен өнеркәсібін автоматтандыру және цифрландыру*. – Алматы: Экономика, 2020.
3. Popov D., Kolesnikov A. *Smart Mining Technologies and Digital Transformation*. – Springer, 2019.
4. World Economic Forum. *Digital Transformation Initiative: Mining and Metals Industry*. – Geneva, 2018.
5. Deloitte. *Tracking the Trends: Mining Industry Outlook*. – 2022.

## АНАЛИЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА НА УГОЛЬНОМ РАЗРЕЗЕ КАК ОСНОВА ДЛЯ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

Угольные разрезы Карагандинской области относятся к числу производств с высокими рисками травматизма и аварийности. В Стратегии «Казахстан-2050» и в рамках объявленного Года цифровизации и искусственного интеллекта особое внимание уделяется внедрению инновационных подходов в промышленную безопасность [1]. Целью данной работы является анализ действующей системы управления промышленной безопасностью и охраной труда (СУПБиОТ) на угледобывающем предприятии Нуринского района и выявление проблемных зон, требующих цифровой трансформации.

Объектом исследования является система управления промышленной безопасностью и охраной труда на угольном разрезе с численностью персонала около 3000 человек. В ходе исследования, на угольном разрезе выполнен анализ статистических данных производственного травматизма за 2016–2025 гг., изучены материалы расследований несчастных случаев и внутренняя нормативная документация предприятия [2].

Анализ динамики травматизма на предприятии за десятилетний период указывает на нестабильный характер изменения показателей (рисунок 1). Следует отметить, что из общего числа несчастных случаев, представленных на рисунке 1, 60–70 % относятся к категории тяжёлых.

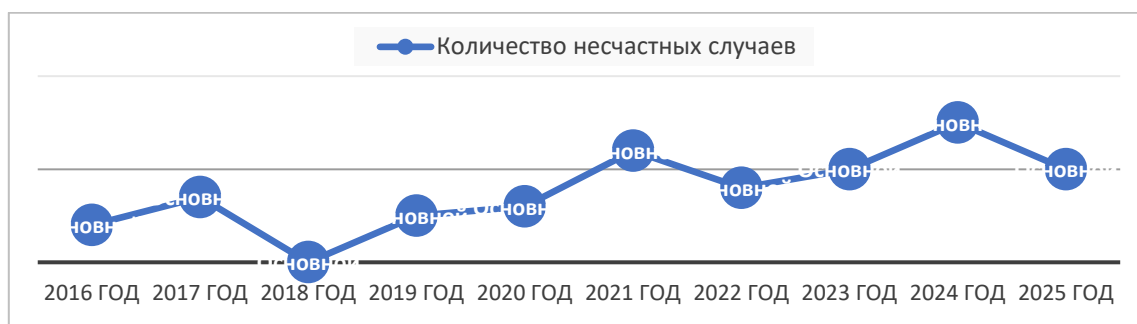


Рисунок 1 – Динамика несчастных случаев с 2016 по 2025 г.

Структура несчастных случаев по видам происшествий представлена на рисунке 2. Наиболее распространённым видом происшествий являются падения на поверхности. Второе место по частоте занимают падения работников с высоты. Кроме того, в ходе анализа выявлена важная закономерность: неопытные сотрудники со стажем до 1 года получают травмы в 2,3 раза чаще, чем опытные работники. Наиболее травмоопасными месяцами являются ноябрь и декабрь, что, вероятно, связано с ухудшением погодных условий и накоплением усталости персонала к концу года.



Рисунок 2 – Структура несчастных случаев по категориям

Проведённый анализ причин происшествий позволил выделить ряд системных факторов, оказывающих ключевое влияние на уровень производственного травматизма:

1. Недоработка процедур и стандартов – инструкции, технологические регламенты и внутренние процедуры не всегда актуальны и не покрывают все рискованные ситуации.

2. Слабый производственный контроль – предпусковые проверки, контроль качества и аудиты проводятся формально, без должной глубины.

3. Недостаточная оценка рисков – риск-ориентированный подход внедрен частично, преобладает реагирование по факту.

4. Неэффективность обучения – несмотря на наличие Корпоративного университета (специализированной внутренней структуры), уровень усвоения знаний остается недостаточным, о чем свидетельствует высокий травматизм среди новичков.

**Заключение.** Проведенный анализ подтвердил актуальность совершенствования СУПБиОТ на угледобывающих предприятиях региона. Основными проблемными зонами являются: реактивный характер управления, недостаточная оперативность мониторинга условий труда, высокий уровень травматизма среди неопытных работников и неэффективность традиционных методов обучения. Выявленные системные причины формируют запрос на цифровую трансформацию ключевых процессов: автоматизацию производственного контроля, внедрение современных средств мониторинга, цифровых тренажеров и систем управления поведенческой безопасностью.

#### Список использованной литературы:

1. Указ Президента Республики Казахстан «Об объявлении Года цифровизации и искусственного интеллекта» от 06 января 2026 года за №1151
2. Анализ травматизма угольного разреза Карагандинской области за последние 10 лет (с 2016 года по 2025 год)

## ТАУ-КЕН ӨНДІРІСІНДЕГІ РОБОТТАНДЫРУ ЖӘНЕ АДАМ ӨМІРІН ҚОРҒАУ

Қазіргі жаһандану және технологиялық даму кезеңінде тау-кен өндірісі экономиканың стратегиялық маңызды салаларының бірі болып табылады. Қазақстан үшін бұл сала ерекше маңызға ие, себебі ел экономикасының едәуір бөлігі пайдалы қазбаларды өндірумен және өңдеумен байланысты. Алайда тау-кен өндірісі жоғары қауіпті өндірістік орта ретінде сипатталады. Жерасты және ашық әдіспен жүргізілетін жұмыстар барысында жұмысшылар әртүрлі табиғи-геологиялық және техногендік қауіп-қатерлерге тап болады.

Тау-кен кәсіпорындарында кен массасының опырылуы, жарылыс жұмыстары, метан мен басқа да улы газдардың бөлінуі, шаңдану, жоғары температура, шу мен діріл, ауыр техниканың қозғалысы сияқты факторлар адам өмірі мен денсаулығына елеулі қауіп төндіреді. Әсіресе жерасты шахталарында қауіп деңгейі анағұрлым жоғары болады. Өндірістік апаттардың едәуір бөлігі адам факторымен байланысты, яғни техникалық қателіктер, шаршау, психологиялық жүктеме немесе қауіпсіздік ережелерінің сақталмауы салдарынан орын алады.

Сондықтан қазіргі таңда тау-кен саласының басты міндеттерінің бірі – өндірістік қауіпсіздікті арттыру және адам өмірін барынша қорғау. Бұл мақсатқа жетудің тиімді жолдарының бірі – роботтандыру мен автоматтандыру технологияларын кеңінен енгізу. Роботтандыру қауіпті, ауыр және адам денсаулығына зиянды жұмыстарды автоматтандырылған жүйелер арқылы орындауға мүмкіндік береді. Нәтижесінде жұмысшының тікелей қауіпті аймақта болу қажеттілігі азайып, жарақат алу және апатқа ұшырау тәуекелі төмендейді.

Қазіргі заманғы тау-кен кәсіпорындары «ақылды өндіріс», «цифрлық шахта», «автономды карьер» сияқты инновациялық тұжырымдамаларға көшуде. Бұл үрдіс тек өндіріс тиімділігін арттырумен шектелмей, ең алдымен адам өмірін сақтауға бағытталған стратегиялық шешім болып табылады. Осы тұрғыдан алғанда, тау-кен өндірісіндегі роботтандыру мәселесін зерттеу – өзекті әрі практикалық маңызы зор тақырып

### 1.Тау-кен өндірісіндегі қауіпті факторлар

Тау-кен саласында жұмысшылар кен массасының құлауы, метан және улы газдардың жиналуы,жарылыс қаупі, жоғары температура, шаң-тозаң, ауыр техниканың соқтығысуы сияқты қауіптерге жиі ұшырайды. Әсіресе жерасты шахталарында тәуекел деңгейі жоғары.Апаттар көбінесе адам факторымен байланысты болады: қателік, шаршау, қауіпсіздік талаптарын





## ТАУ-КЕН ІСІНДЕ ӨНДІРІСТІК ҚАУІПСІЗДІКТІ АРТТЫРУДАҒЫ ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫҢ РӨЛІ

Тау-кен өнеркәсіптің ең күрделі және қауіпті салаларының бірі. Жұмысшылардың қауіпсіздігі мен өндірістік процестердің сенімділігі тау-кен кәсіпорынының тиімділігін анықтайтын маңызды фактор болып табылады. Сонғы жылдары цифрлық технологиялар өндірістік қауіпсіздікті арттыруда шешуші рөл атқаратын құрал ретінде қарастырылуда. Сандық жүйелер, автоматтандыру, жасанды интеллект және “ақылды” датчиктер өндірістік процестері бақылауды жетілдіріп, қауіптерді азайтуға мүмкіндік береді.

Цифрлық технологиялардың негізгі бағыттары осылай бөлінеді

1. Сандық мониторинг жүйелері. Тау-кен өндірісінде газдар мен шаң деңгейін, температура мен қысымды қадағалау маңызды. Цифрлық сенсорлар мен IoT (Internet of Things) құрылғылары нақты уақыт режимінде деректер жинап, қауіпті жағдайларды алдын ала хабарлайды. Мысалы, метан концентрациясы критикалық деңгейге жеткен кезде жүйе автоматты түрде ескерту береді, бұл жарылыстар мен апаттардың алдын алады.

2. Автоматтандырылған басқару жүйелері (АСБ). Автоматты басқару жүйелері кеніштің көптеген процестердің қадағалайды: жарылғыш заттарды қолдану, тасымалдау конвейерлерді, желдету және суыту жүйелері. Мұндай жүйелер адамның қателігін азайтып, қауіпті аймақтарға кіруді шектейді. Сонымен қатар, олар кеніштің жұмысын оңтайландырып, энергия мен ресурстарды үнемдеуге мүмкіндік береді.

3. Деректерді талдау және жасанды интеллект (AI). Жиналған өндірістік деректерді талдау арқылы қауіп-қатерді алдын ала анықтау мүмкіндігі артады. AI алгоритмдері машиналық оқыту арқылы авариялық сценарийлерді болжап, жұмысшылар мен жабдықтарды уақытылы қорғау шараларымен қамтамасыз етеді. Мысалы, кеніштегі сейсмикалық белсенділікті бақылап, опырылулардың алдын алу үшін модельдер құруға болады

Виртуалды және қосылған шындық (VR/AR) технологиялары. 4. VR және AR тренажерлері жұмысшыларды қауіпсіздік ережелеріне үйретуде тиімді құрал болып табылады. Қауіпті сценарийлерді виртуалды ортада көрсету арқылы оқыту жұмыстың нақты жағдайындағы қатерді азайтады. AR көзілдірігі арқылы жұмысшыларға құрылғылардың диагностикасын, техникалық карталарды және қауіпсіздік нұсқауларын нақты уақытта көрсетуге болады.

Цифрлық технологиялар тау-кен өндірісінде өндірістік қауіпсіздікті арттырудың негізгі факторына айналууда. Сенсорлық жүйелер, автоматтандырылған басқару, жасанды интеллект және VR/AR технологиялары қауіп-қатерді азайтып, өндірістің сенімділігін қамтамасыз етеді. Қазіргі таңда цифрлық шешімдерді енгізу тек қауіпсіздік үшін ғана емес, сонымен қатар өндірістік тиімділікті арттыру үшін де маңызды. Болашақта бұл технологиялардың дамуы мен кеңінен қолданылуы тау-кен өндірісін қауіпсіз, тиімді және экологиялық таза етуге септігін тигізеді.

Дрондар мен роботтандыру ашық карьерлерде және қауіпті аймақтарда дрондар жарылыс аймағын тексереді, тау жыныстарының тұрақтылығын зерттейді, геодезиялық өлшеулер жүргізеді. Жерасты кеніштерінде роботтандырылған бұрғылау кешендері қолданылады. Бұл адамның тікелей қауіпті ортада болуын азайтады. Big Data және өндірістік аналитика. Үлкен дерктерді (Big Data) талдау арқылы апаттардың статистикалық себептері анықталады қауіп қатарлары жасалады, қауіпсіздік көрсеткіштері болжанады. Мысалы, сейсмикалық белсенділік пен жыныс қысымын талдау арқылы опырылу қаупін алдын ала анықтауға болады.

Цифрлық технологиялардың тиімділігі мен артықшылықтары  
Қауіп-қатерді алдын алу: Автоматтандырылған мониторинг және AI алгоритмдері апаттардың алдын алуға мүмкіндік береді.

Жұмысшылардың қауіпсіздігі: Қауіпті аймақтарға кіруді азайту және виртуалды оқыту жүйелері травмалардың санын төмендетеді.

Өндірістік тиімділікті арттыру: Процестерді оңтайландыру, энергия мен ресурстарды үнемдеу арқылы жалпы тиімділікті жоғарылатады.

Жылдам және нақты шешім қабылдау: Деректерді нақты уақытта өңдеу шешім қабылдауды жеделдетеді. Тау-кен өнеркәсібі – экономика үшін стратегиялық маңызы бар, бірақ қауіптілігі жоғары өндіріс салаларының бірі. Жерасты және ашық әдіспен кен өндіру барысында газ жарылыстары, тау жыныстарының опырылуы, техника ақаулары, адам факторынан туындайтын қателіктер сияқты қауіптер жиі кездеседі. Сондықтан өндірістік қауіпсіздікті қамтамасыз ету тау-кен кәсіпорындарының негізгі міндеттерінің бірі болып табылады.

Қазіргі кезеңде өнеркәсіптің цифрлық трансформациясы қауіпсіздік жүйелерін жаңа деңгейге көтеруде. Цифрлық технологиялар өндірістік процестерді нақты уақыт режимінде бақылауға, қауіп-қатерді алдын ала болжауға және апаттардың алдын алуға мүмкіндік береді.

Пайдаланылған әдебиеттер

1. Сәбит, Ә.Ж., & Тұрсынбаев, А.Т. (2020). Тау-кен өндірісінде қауіпсіздікті қамтамасыз ету технологиялары. Алматы: ҚазҰТУ баспасы.

2. Ибраев, М.К. (2019). Цифрлық технологиялар және өнеркәсіптік қауіпсіздік. Алматы: Ғылым баспасы.

3. Ерғалиев, Б.С., & Нұрғалиев, А.Р. (2021). «Тау-кен өндірісінде IoT жүйелерін енгізу арқылы қауіпсіздікті арттыру». Қазақстан тау-кен журналы, 4(12), 45–52.

4. ГОСТ Р 55600-2013. Системы обеспечения промышленной безопасности. Общие положения. Москва: Стандартинформ.

## ВЛИЯНИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ОЧИСТКЕ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ СТОЧНЫХ ВОД НА СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Канализационно-очистные сооружения (КОС) имеют огромное значение для социальной и экологической инфраструктуры. Технологический процесс очистки городских и производственных сточных вод включает в себя многоэтапную очистку на: первичных и вторичных отстойниках, аэротенках, песколовках, илоуплотнителях, песковых и иловых площадках. На всех этапах очистки в атмосферный воздух выделяются: метан, аммиак, сероводород, углеводороды, формальдегид, фенолы.

Также, проблема КОС – это распространение неприятных запахов. Неприятные запахи формируются вследствие неэффективной работы КОС, незаконных сбросов сточных вод, вследствие переработки осадка сточных вод. Неприятные запахи имеют косвенное воздействие на здоровье человека. Мировые исследования показывают, что значительные концентрации соединений, вызывающих неприятные запахи, могут способствовать появлению аллергических реакций, головных болей, расстройств нервной системы.

Устойчивые неприятные запахи, исходящие от КОС, формируют у населения чувство дискомфорта, тревожности и раздражительности, что подтверждается данными о влиянии запаховых загрязнителей на нервную систему человека [1]. Таким образом, проблема неприятных запахов – это не только проблема санитарно-гигиенического характера, но и проблема комплексного воздействия на психическое, физическое, социальное благополучие населения.

Описанное выше, говорит о необходимости модернизации существующих в Республике Казахстан канализационно-очистных сооружений. Современные КОС способствуют не только очистке сточных вод до нормативно чистых (культурно-бытовых), помогают решить проблему распространения неприятных запахов, но и помогают преобразовывать образующийся биогаз в производство тепловой и электрической энергии.

Как это происходит? В процессе анаэробного сбраживания в метантенках образуется биогаз, который собирается в верхней части камер. Далее он проходит стадии обезвоживания и очистки от соединений серы в блоке удаления серы, после чего аккумулируется в мембранном газгольдере. Накопленный биогаз используется в когенерационных установках, обеспечивающих одновременное производство тепловой и электрической энергии.

Часть вырабатываемой электроэнергии направляется на питание технологического оборудования очистных сооружений, что повышает их энергетическую автономность. Полученное тепло используется для поддержания оптимальной температуры в метантенках, а избыточное - для отопления зданий предприятия в холодный период года или для сушки обработанного осадка в тёплое время года. Избыточный объём биогаза, не используемый в когенерационных установках, подаётся на систему безопасного сжигания.

На современных КОС сгущенный и сброженный осадок после завершения процесса брожения направляется в закрытый резервуар, где происходит его накопление перед последующей обработкой. Из резервуара осадок подвергается обезвоживанию на центрифугах. Это позволяет максимально снизить его влажность и подготовить к дальнейшему использованию или утилизации. [2].

Таким образом, внедрение технологий сбраживания осадков сточных вод с последующим использованием биологического газа представляет собой эффективное направление сбережения ресурсов и более экологичной работы очистных сооружений. Получаемый биологический газ служит ценным энергетическим ресурсом, который позволяет частично или полностью обеспечить потребности предприятия в энергии (тепловой и электрической), снизить затраты на электроснабжение и теплоснабжение, а также уменьшить углеродный след за счёт сокращения выбросов парниковых газов.

Кроме того, обезвоженный и стабилизированный после сбраживания осадок обладает агрохимической ценностью и может использоваться в качестве органического удобрения при озеленении территорий санитарно-защитных зон и рекультивации нарушенных земель. Такое применение позволяет не только рационально утилизировать отходы очистки сточных вод, но и возвращать в почву полезные питательные вещества, что способствует восстановлению плодородия почв и улучшению экологического состояния окружающей среды.

#### **Список использованных источников**

1. Manuel Alejandro Hernandez-Shek, Catherine Gracian, Valerie Nastasi; *Odor removal via high-speed biofiltration in headwork operations of wastewater treatment plants*. *Water Sci Technol* 15 July 2025; 92 (2): 220–234.
2. Poblete, I.B.S.; Araujo, O.d.Q.F.; de Medeiros, J.L. *Sewage-Water Treatment and Sewage-Sludge Management with Power Production as Bioenergy with Carbon Capture System: A Review*. *Processes* 2022, 10, 788.

## ГЕОДЕЗИЯ ЖӘНЕ КАРТОГРАФИЯ САЛАСЫНДА ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТТІ ҚОЛДАНУ

Цифрландыру дәуірінде геодезия мен картография ғылымдары сапалық жаңа даму кезеңіне өтті. Кеңістіктік деректер ағынының экспоненциалды өсуі, инфрақұрылымдық жобалардың күрделенуі және жоғары дәлдік талаптарының күшеюі дәстүрлі әдістерді қайта қарастыруды қажет етеді. Осы тұрғыда жасанды интеллект (ЖИ) технологиялары саланың стратегиялық құралдарының біріне айналып отыр.

Геодезия және картографияда ЖИ енгізу өлшеу нәтижелерінің сенімділігін арттыруға, уақыттық шығындарды азайтуға және кеңістіктік ақпаратты басқару тиімділігін күшейтуге мүмкіндік береді. Геодезия Жердің геометриялық параметрлерін анықтау, координаталық жүйелер құру және кеңістіктік нүктелердің дәл орнын есептеу міндеттерін орындайды. Қазіргі кезеңде спутниктік бақылау жүйелері, лазерлік сканерлеу және аэрофототүсірілім технологиялары үлкен көлемдегі бастапқы деректерді қалыптастырады.

Жасанды интеллект бұл деректерді автоматтандырылған режимде талдауға мүмкіндік береді. Машиналық оқыту әдістері GNSS сигналдарындағы шумды сүзгілеп, атмосфералық және ионосфералық әсерлерді модельдейді. Нәтижесінде координаталарды анықтау дәлдігі артып, жүйелік қателіктер азаяды.

Картография кеңістіктік деректерді визуализациялау және тақырыптық модельдеу арқылы аумақтық заңдылықтарды бейнелейді. Сандық картография мен геоақпараттық жүйелердің (ГАЖ) дамуы ЖИ технологияларымен тығыз байланысты. Интеллектуалдық алгоритмдер спутниктік суреттерді автоматты дешифрлеуді жүзеге асырады. Семантикалық сегментация әдістері арқылы жол желілері, су айдындары, өндірістік және тұрғын аймақтар анықталады. Бұл картографиялық материалдарды жаңарту процесін жеделдетеді және деректердің өзектілігін қамтамасыз етеді [1].

ЖИ негізіндегі модельдер урбанизация динамикасын, жер пайдалану құрылымының өзгерістерін және экологиялық процестерді талдауға мүмкіндік береді. Табиғи апаттардың таралу аймақтарын болжау және олардың ықтимал әсерін картада модельдеу – қазіргі картографияның маңызды бағыттарының бірі [2]. Сонымен бірге, көлік ағындарын талдау, маршруттарды оңтайландыру және логистикалық модельдеу үлкен деректерді интеллектуалдық өңдеу нәтижесінде жүзеге асырылады (1-сурет).



**1-сурет. Геодезия және картография саласында ЖИ қолданудың бағыттары**

Спутниктік мониторинг жүйелері, ұшқышсыз ұшу аппараттары, жерүсті сенсорлар тәулігіне орасан зор көлемде ақпарат өндіреді. Бұл деректерді тиімді пайдалану үшін интеллектуалдық талдау әдістері қажет. Жасанды интеллект кеңістіктік деректерді құрылымдайды, корреляциялық байланыстарды анықтайды және болжамдық модельдер құрады. Кеңістіктік-уақыттық талдау әдістері табиғи және антропогендік процестердің динамикасын зерттеуге мүмкіндік береді. Жасанды интеллект геодезиялық және картографиялық жұмыстарды толық немесе жартылай автоматтандыруға жағдай жасайды.

Жасанды интеллект геодезия және картография салаларының ғылыми және өндірістік әлеуетін арттыратын негізгі инновациялық фактор болып табылады. Ол өлшеу дәлдігін жоғарылатып, кеңістіктік деректерді өңдеуді жеделдетеді және аналитикалық мүмкіндіктерді кеңейтеді.

Қорытындылай келе, жасанды интеллект геодезия мен картографияның болашақтағы дамуын айқындайтын стратегиялық технология ретінде қарастырылады. Ол ғылыми зерттеулердің нәтижелілігін арттырып қана қоймай, инфрақұрылымдық жоспарлау, аумақтық басқару және тұрақты даму міндеттерін тиімді шешуге мүмкіндік береді.

#### ***Пайдаланылған әдебиеттер тізімі***

1. Кусаинова, А. А. Картографирование пространственного распределения кислотности почвы в окрестностях города Караганды / А. А. Кусаинова, О. В. Мезенцева // Образование и наука как основа устойчивого развития региона : материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Сургут, 13–14 декабря 2024 года. – Сургут: БУ «Сургутский государственный педагогический университет», 2025. – С. 196-199.
2. Мезенцева, О. В. Пространственное распределение дефицита увлажнения на территории Северного Казахстана / О. В. Мезенцева, А. А. Кусаинова // Новые технологии в учебном процессе и производстве : Сборник тезисов 22 Международной научно-технической конференции, посвящённой 90-летию со дня рождения Ю.А. Гагарина, Рязань, 17–19 апреля 2024 года. – Рязань: Московский политехнический университет, 2024. – С. 540-542.

## ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ

Инженерно-геодезические изыскания играют ключевую роль в подготовке любого строительного проекта: от сбора точных данных о рельефе, границах участка, существующих сооружениях и подземных коммуникациях до создания основы для проектирования и последующего контроля строительства. Традиционные методы, основанные на использовании теодолитов, нивелиров и электронных тахеометров, хотя и остаются надёжными, требуют значительных временных и трудовых затрат, а также подвержены влиянию человеческого фактора.

Цифровизация позволяет сократить сроки полевых работ в 3–5 раз, повысить точность измерений до 1–5 см, снизить общие затраты на изыскания на 20–40 % и минимизировать риски для персонала. Для студентов, освоение этих инструментов становится не дополнительным навыком, а необходимостью, поскольку рынок труда уже в ближайшие годы будет отдавать предпочтение специалистам, уверенно работающим с цифровыми данными.

Беспилотные летательные аппараты, или дроны, стали одним из самых заметных элементов цифровизации геодезических изысканий. Они оснащаются высокоточными GNSS-приёмниками, камерами с разрешением 20–100 Мп и, всё чаще, лидарами, что позволяет за один полёт собирать огромные объёмы данных.

Основной принцип работы — фотограмметрия: серия перекрывающихся снимков обрабатывается специальным ПО, которое автоматически строит ортофотоплан, цифровую модель рельефа (ЦМР) и 3D-модель местности. При использовании лидара получается плотное облако точек, не зависящее от освещённости и растительности.

В практике дроны особенно эффективны при изысканиях линейных объектов (дороги, трубопроводы), карьеров, гидротехнических сооружений и территорий комплексного освоения. Они позволяют оперативно получать ортофотопланы и цифровые модели рельефа с высокой степенью детализации. Применение беспилотных летательных аппаратов сокращает сроки полевых работ и снижает затраты на проведение инженерно-геодезических исследований. Кроме того, использование дронов повышает безопасность специалистов за счёт минимизации их присутствия в труднодоступных и потенциально опасных зонах.

Лазерное сканирование основано на измерении времени прохождения лазерного импульса до объекта и обратно. Современные сканеры (Leica



RTC360, Faro Focus, Riegl) собирают до 1–2 млн точек в секунду, формируя облако точек с точностью 3–5 мм.

В инженерно-геодезических изысканиях применяют три типа: наземное (для детальной съёмки зданий, мостов, промышленных объектов), мобильное (на автомобилях или поездах для линейных объектов) и воздушное (на дронах или вертолётах для больших территорий). Комбинированный подход — наиболее эффективный: воздушный LiDAR даёт общую модель рельефа, наземный — детали фасадов и конструкций.

При реконструкции старых зданий или мониторинге деформаций лазерное сканирование незаменимо: оно фиксирует даже микроскопические изменения (осадки, трещины), позволяет строить точные цифровые двойники и сравнивать их с проектными моделями. В отличие от традиционной тахеометрии, здесь практически нет «слепых зон», а съёмка возможна в любое время суток.

ГИС (ArcGIS, QGIS, MapInfo) и BIM (Revit, Civil 3D, Renga) превращают разрозненные данные изысканий в единую интеллектуальную систему. Геодезист собирает информацию с дронов, сканеров, GNSS, добавляет геологические, экологические и кадастровые слои — и всё это анализируется в одной среде.

BIM — это процесс создания и управления цифровыми моделями зданий, включающий все этапы жизненного цикла объекта: от проектирования до эксплуатации. BIM позволяет: детально моделировать конструктивные элементы и инженерные сети, автоматизировать расчёты и прогнозировать затраты, оптимизировать взаимодействие между архитекторами, инженерами и строителями, снижать количество ошибок и доработок на стадии строительства.

По данным McKinsey, использование BIM-технологий может снизить затраты на строительство до 20% и ускорить сдачу объекта в среднем на 30%.

Цифровые технологии радикально меняют инженерно-геодезические изыскания, превращая их из рутинного процесса в высокотехнологичный, быстрый и безопасный. Дроны обеспечивают оперативность и доступность, лазерное сканирование — беспрецедентную детализацию, ГИС и BIM — интеграцию и анализ, ИИ — автоматизацию. Новые ГОСТы и СП 2025–2026 годов закрепляют эти изменения как стандарт.

**Список использованной литературы:**

1. Ханнанов, Р. Р. Влияние рефракции на результаты геодезических измерений при электронной тахеометрии / Р. Р. Ханнанов, Ж. М. Батыршаева // *Геодезия, землеустройство и кадастр: наука и производство* : Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию высшего геодезического образования в Омском ГАУ, Омск, 30 марта 2018 года. – Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2018. – С. 140-146.

2. Analysis of Ground Surface Displacements under the Influence of Repeated Mining Activities in the Zhezkazgan Area / N. F. Nizametdinov, R. F. Nizametdinov, Z. M. Batyrshaeva [et al.] // *Journal of Mining Science*. – 2021. – Vol. 57, No. 2. – P. 184-189. – DOI 10.1134/S1062739121020022.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Современные горнодобывающие предприятия сталкиваются с системными экологическими вызовами, обусловленными неэффективным управлением отходами и энергопотреблением. Как отмечается в исследованиях, «горно-металлургический сектор является одним из наиболее углеродоемких» [6, с.11], что подтверждается статистикой: до 25% промышленных выбросов CO<sub>2</sub> приходится на эту отрасль. Неконтролируемое образование твердых отходов (хвостов обогащения) и загрязнение водоемов тяжелыми металлами ведут к многомиллионным штрафам и репутационным рискам. Традиционные методы мониторинга, основанные на периодическом отборе проб, не обеспечивают оперативного выявления отклонений. Например, задержка в обнаружении утечек шламовых вод из хвостохранилищ на 2-3 часа увеличивает площадь загрязнения почв в 4-7 раз. Цифровая трансформация процессов становится императивом для отрасли. Анализ кейсов лидеров рынка (Rio Tinto, Норникель) демонстрирует, что внедрение сенсоров и систем предиктивной аналитики позволяет сократить объемы отходов на 12-18% уже на первом этапе. Это подтверждает необходимость перехода к комплексным технологическим решениям.

Предлагаемая цифровая платформа интегрирует IoT-датчики (вибрации, pH, мутности воды), AI-алгоритмы компьютерного зрения и облачные вычисления. В дробильных установках сенсоры в режиме реального времени отслеживают гранулометрический состав руды, автоматически корректируя параметры измельчения для минимизации переизмельчения — ключевого источника мелкодисперсных отходов. На примере ГОКа «Уралмеханобр» подобная система сократила образование хвостов на 23%. Для хвостохранилищ реализован двухуровневый мониторинг: подповерхностные датчики давления контролируют целостность дамб, а мультиспектральная съемка с БПЛА выявляет участки испарения токсичных веществ. Данные агрегируются в едином цифровом двойнике предприятия, где нейросетевые модели (на базе LSTM-сетей) прогнозируют риски аварий с точностью до 89%.

Предиктивная аналитика позволяет не только фиксировать, но и предупреждать экологические инциденты. Модели машинного обучения, обрабатывая исторические данные и показатели датчиков, идентифицируют аномальные режимы работы флотомашин или фильтр-прессов за 40-60 минут до критического состояния. На карьере «Михеевский» это сократило

аварийные выбросы взвесей в гидросеть на 34% за 2023 год. Оптимизация реагентного режима флотации через AI-систему (с учетом состава руды и параметров пульпы) уменьшила расход цианидов на 18% при сохранении извлечения металлов.

Экономический эффект платформы подтвержден моделированием для предприятия с добычей 5 млн т/год. Сокращение штрафов за экологические нарушения на 22% (с 120 до 94 млн руб./год) сочетается с экономией ресурсов: снижение потребления электроэнергии дробильным комплексом на 17% (3.2 млн кВт·ч/год) и воды на 24% (290 тыс. м³/год). ROI внедрения составляет 2.3 года при сроке окупаемости типовых природоохранных мероприятий 5-7 лет. Калькуляция выбросов CO<sub>2</sub> учитывает как прямые источники (дизель-генераторы, автотранспорт), так и косвенные (потери при переработке). Оптимизация логистики внутри карьера через AI-маршрутизацию уменьшает пробег БелАЗов на 28%, что эквивалентно 6400 т CO<sub>2</sub>/год. Совокупное снижение экологической нагрузки по ключевым показателям (отходы, вода, выбросы) достигает 18.7% при сохранении объемов добычи.

Цифровая платформа напрямую способствует выполнению ESG-обязательств компаний. Автоматическая генерация отчетов по критериям GRI Standards (GRI 306, GRI 302) снижает риски greenwashing. Для инвесторов это повышает привлекательность: в 2023 г. компании ГКМ с внедренными системами AI-мониторинга получили на 32% больше «зеленых» кредитов по сравнению с традиционными предприятиями. Интеграция с национальной системой «Экопром» позволяет в режиме реального времени передавать данные для госмониторинга, сокращая административную нагрузку. Пилотный проект на месторождении «Воргашорское» показал, что цифровизация экологических процессов увеличивает капитализацию компании на 5-7% за счет включения в ESG-рейтинги RAEX и Sustainalytics. Это подтверждает стратегическую ценность технологий для устойчивого развития отрасли.

#### Список использованных источников:

1. Абрашитов А.Ю., Жаров В.С. Эффекты и модели технологической модернизации горнодобывающего производства // Север и рынок: формирование экономического порядка, 2023. №4. С. 71-84.
2. Винничек В.В. Разработка месторождений полезных ископаемых. Обогащение полезных ископаемых через 105 лет. Минск: БНТУ, 2025.
3. Дмитриева Д.М., Чанышева А.Ф. Вклад добывающих компаний в устойчивое развитие минерально-сырьевой базы арктического региона: новый подход к оценке и взаимодействию ключевых акторов // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2024. №2.- С. 71-87.
4. Карпова С.В., Устинова О.Е. Технологические и маркетинговые тенденции в горнодобывающей промышленности // Горная промышленность. 2025. №3. - С. 170-179.
5. Кучковская Н.В. Экономическая эффективность цифровой трансформации горнодобывающих предприятий в условиях технологической модернизации и решений Индустрии 4.0 // Горная промышленность. 2025. №6. - С. 88-96.

## РОЛЬ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ИЗУЧЕНИИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

В последние десятилетия в естественных науках наблюдается устойчивый переход к цифровым методам исследования, что обусловлено развитием вычислительной техники, систем сбора данных и алгоритмов обработки информации. Изучение земной поверхности, важнейшего компонента географической оболочки, также претерпевает значительные изменения под влиянием цифровизации.

Актуальность темы определяется необходимостью повышения точности наблюдений, оперативности анализа и комплексности интерпретации природных процессов. Цифровые технологии позволяют интегрировать различные данные и формировать целостное представление о динамике земной поверхности.

Цель данной работы анализ роли цифровых технологий в изучении земной поверхности, а также выявление их научного и прикладного значения.

Современные исследования земной поверхности базируются на использовании различных источников цифровых данных, отличающихся высокой точностью, пространственным охватом и регулярностью обновления. Ключевую роль играют методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), включающие спутниковую и аэрокосмическую съёмку.

Космическая система ДЗЗ Республики Казахстан предназначена для обеспечения информации, получаемой посредством космических спутников и систем для анализа, совершенствования деятельности и решения задач в разных сферах и отраслях: сельского хозяйства, обороны и безопасности, предотвращения ЧС, в сфере экологии и природопользования, землепользования, геодезии, картографии и других направлениях жизнедеятельности не только отдельных городов и регионов, но и отраслевых экосистем. Наряду с этим активно применяются геодезические методы, они обеспечивают высокоточное определение пространственных координат и используются при построении цифровых моделей местности [1].

Одним из ключевых направлений цифровизации является создание цифровых моделей земной поверхности. Наиболее распространёнными являются цифровые модели рельефа, которые представляют собой математическое описание высотной структуры территории.

Развитие вычислительных методов позволяет переходить от статических моделей к динамическим, отражающим изменения земной поверхности в реальном времени.

Геоинформационные системы (ГИС) представляют собой важнейший инструмент обработки и анализа пространственных данных. Они обеспечивают интеграцию, визуализацию и интерпретацию информации, полученной из различных источников. ГИС представляют собой важнейший инструмент обработки и анализа пространственных данных. Они обеспечивают интеграцию, визуализацию и интерпретацию информации, полученной из различных источников. В настоящее время геоинформационные технологии широко применяются в прикладных исследованиях, включая территориальное планирование, природопользование и экологический мониторинг [2].

Цифровизация существенно расширяет возможности изучения земной поверхности. Это связано с повышением точности и детализации данных, а также с возможностью их оперативной обработки. Это особенно важно при исследовании быстро меняющихся природных процессов.

Практическое значение цифровых технологий проявляется в мониторинге природных изменений, оценке экологического состояния территорий и управлении природными ресурсами. Например, с их помощью можно отслеживать процессы деградации земель, изменения водных объектов и последствия хозяйственной деятельности. В научной сфере цифровые технологии способствуют развитию междисциплинарных исследований, объединяющих географию, геологию, экологию и информатику. Это позволяет формировать более комплексное понимание процессов, происходящих на земной поверхности.

В перспективе ожидается дальнейшее развитие методов автоматизированного анализа, включая применение алгоритмов машинного обучения. Это позволит повысить эффективность обработки данных и выявления закономерностей. Кроме того, важным направлением является создание интегрированных систем мониторинга, обеспечивающих непрерывное наблюдение за состоянием земной поверхности.

Цифровые технологии играют ключевую роль в современном изучении земной поверхности. Они обеспечивают качественно новый уровень получения, обработки и анализа данных, что способствует более глубокому пониманию природных процессов. В дальнейшем их развитие будет определять направление эволюции естественных наук и эффективность взаимодействия человека с окружающей средой.

*Список использованных источников:*

1. Тутанова, М. С. Анализ построения поверхностей по материалам БПЛА / М. С. Тутанова, С. П. Оленюк, Е. В. Кайгородова // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. – 2025. – Т. 1, № 1. – С. 139-145. – DOI 10.33764/2618-981X-2025-1-1-139-145.

2. <https://www.gov.kz/memleket/entities/maidd/activities/799?lang=ru>

## ШАХТА ӨНДІРІСІНДЕ ДЕРЕКЕТЕРДІ ТАЛДАУ АРҚЫЛЫ ҚАУІПСІЗДІКТІ БАСҚАРУ

Тау-кен өнеркәсібі әлемдегі ең қауіпті өндіріс салаларының бірі болып саналады. Әсіресе жерасты шахталарында жұмыс істеу барысында метан газының жиналуы, көмір шаңының жарылысы, тау жыныстарының құлауы, өрт және желдету жүйесінің бұзылуы сияқты көптеген қауіп-қатерлер туындайды. Осыған байланысты қазіргі таңда шахта өндірісіндегі қауіпсіздікті қамтамасыз ету мәселесі ерекше маңызға ие. Цифрлық экономика жағдайында тау-кен саласында заманауи ақпараттық технологияларды қолдану кеңінен дамып келеді. Соның ішінде өндірістік деректерді талдау арқылы қауіпсіздікті басқару – шахталардағы апаттардың алдын алудың тиімді тәсілдерінің бірі болып табылады. Қазіргі заманғы шахталарда әртүрлі сенсорлар, бақылау құрылғылары және автоматтандырылған жүйелер орнатылған. Бұл құрылғылар жерасты кеңістігіндегі көптеген параметрлер туралы нақты уақыт режимінде ақпарат жинайды [1]. Мысалы, метан газының концентрациясы, ауа температурасы, ылғалдылық, желдету жылдамдығы, тау жыныстарының қысымы және шахтадағы жабдықтардың жұмыс жағдайы сияқты көрсеткіштер үздіксіз бақылауда болады. Осы деректер арнайы бағдарламалық жүйелерде жинақталып, талдау жүргізу үшін қолданылады. Деректерді талдау нәтижесінде қауіпті жағдайлардың пайда болу ықтималдығын алдын ала анықтауға болады. Деректерді талдау технологиялары шахтадағы қауіпсіздік жүйесін жаңа деңгейге көтереді. Мысалы, метан концентрациясының өзгеру динамикасын талдау арқылы жарылыс қаупі бар аймақтарды алдын ала анықтауға мүмкіндік туады. Егер сенсорлар қауіпті деңгейдегі газ концентрациясын тіркесе, жүйе автоматты түрде дабыл беріп, желдету жүйесін күшейтеді немесе өндірістік жұмыстарды уақытша тоқтатады. Осылайша деректерді талдау шахтадағы апаттардың алдын алуға және жұмысшылардың өмірін қорғауға көмектеседі. Сонымен қатар, өндірістік деректерді талдау жабдықтардың техникалық жағдайын бақылауда да маңызды рөл атқарады [2]. Шахтадағы бұрғылау машиналары, конвейерлер, көтеру механизмдері және басқа да техникалар арнайы датчиктер арқылы бақыланады. Егер жабдықтың жұмыс параметрлерінде ауытқу байқалса, жүйе алдын ала ескерту жасайды. Бұл әдіс «болжамдық техникалық қызмет көрсету» деп аталады. Оның басты мақсаты – жабдықтардың істен шығуын алдын ала анықтап, апаттық жағдайлардың туындауын болдырмау (Сурет 1.1). Соңғы жылдары шахта өндірісінде үлкен деректер (Big Data) және жасанды интеллект технологияларын

қолдану кеңінен таралуда. Бұл технологиялар көптеген өндірістік деректерді жылдам өңдеуге және күрделі талдау жүргізуге мүмкіндік береді. Жасанды интеллект алгоритмдері бұрынғы апаттардың себептерін талдай отырып, болашақта қандай қауіптер туындауы мүмкін екенін болжай алады. Мұндай технологиялар шахтадағы қауіпсіздік деңгейін айтарлықтай арттырады [3].

Деректерді талдау шахтадағы жұмысшылардың қауіпсіздігін бақылауда да маңызды құрал болып табылады. Кейбір заманауи шахталарда жұмысшылар арнайы смарт-құрылғылар немесе датчиктері бар каскалар қолданады. Бұл құрылғылар жұмысшылардың орналасқан жерін, қозғалысын және қоршаған ортаның жағдайын тіркеп отырады. Егер жұмысшы қауіпті аймаққа кірсе немесе төтенше жағдай туындаса, бақылау орталығы дереу хабар алады. Мұндай жүйелер төтенше жағдай кезінде адамдарды жылдам эвакуациялауға мүмкіндік береді [4].



1.1 Сурет – Деректерді басқару жүйесі

Қорытындылай келе, деректерді талдау технологияларын қолдану шахта өндірісіндегі қауіпсіздікті басқарудың маңызды элементіне айналып отыр. Заманауи сенсорлар, автоматтандырылған бақылау жүйелері, үлкен деректер және жасанды интеллект технологиялары шахталардағы қауіпті жағдайларды алдын ала анықтауға мүмкіндік береді. Бұл өз кезегінде өндірістік апаттардың санын азайтып, жұмысшылардың өмірі мен денсаулығын қорғауға ықпал етеді. Сондықтан тау-кен өнеркәсібінің болашағы цифрлық технологияларды кеңінен қолданумен және деректерге негізделген қауіпсіздік жүйелерін дамытуымен тығыз байланысты [5].

*Қолданылған әдебиеттер тізімі*

1. *Introduction to Artificial Neural Networks.* – St. Paul: West Publishing Company, 1992.
2. *Deep Learning.* – Cambridge: MIT Press, 2016.
3. *Society for Mining Metallurgy and Exploration. Mining Engineering Handbook.* – 3rd ed. – Littleton, CO, 2011.
4. *International Council on Mining and Metals. Digital Transformation in Mining Report.* – London, 2020.
5. *International Organization for Standardization. ISO 22400-2:2014 Automation systems and integration – Key performance indicators for manufacturing operations management.* – Geneva, 2014.

## SMART MINE ТЕХНОЛОГИЯСЫН ҚОЛДАНУ ТӘЖІРИБЕСІ ЖӘНЕ ОНЫ ҚАЗАҚСТАН ТАУ-КЕН ӨНДІРІСІНДЕ ЕНГІЗУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ

Қазіргі таңда тау-кен өнеркәсібі әлем бойынша цифрландырудың жаңа кезеңіне аяқ басты. Өндіріс көлемінің артуы, қауіпсіздік талаптарының күшеюі және экологиялық мәселелердің өзектілігі тау-кен кәсіпорындарын заманауи технологияларды енгізуге итермелеуде. Осы тұрғыда Smart Mine (Смарт майн) тұжырымдамасы тау-кен саласын дамытудың негізгі бағыттарының бірі болып табылады. Smart Mine – түсінігі және негізгі компоненттері

Smart Mine – бұл цифрлық технологиялар, автоматтандыру және жасанды интеллект негізінде жұмыс істейтін «ақылды кеніш» жүйесі. Оның құрамына келесі компоненттер кіреді: Автономды техника – самосвалдар, бұрғылау қондырғылары және роботтандырылған құрылғылар, олар адам қатысынсыз жұмыс істей алады. Цифрлық бақылау жүйелері – сенсорлар мен IoT құрылғылары кеніштің геотехникалық, экологиялық және өндірістік параметрлерін нақты уақыт режимінде бақылайды.

Геоақпараттық жүйелер (GIS) және сандық егіз (Digital Twin) – кеніштің толық 3D моделін жасап, өндіріс жоспарын дәл құруға мүмкіндік береді. Жасанды интеллект пен мәліметтерді талдау – өндіріс тиімділігін арттыру, апаттарды алдын алу және жабдықтарды алдын ала жөндеу үшін мәліметтерді өңдейді. Әлемдік тәжірибе, Smart Mine технологиясы дамыған елдерде кеңінен қолданылады. Мысалы, Австралияда ірі тау-кен компаниялары автономды самосвалдар, бұрғылау қондырғылары және қашықтан басқару орталықтарын қолданады. Барлық өндірістік процестер нақты уақыт режимінде бақылауға алынып, адам еңбегінің үлесі азайтылған. Бұл еңбек қауіпсіздігін арттырып, өндіріс тиімділігін бірнеше есеге көтерді. Канадада Smart Mine кен орындарын барлау мен жоспарлауда кеңінен пайдаланылады.

Геоақпараттық жүйелер (GIS), 3D модельдеу және сандық егіз технологиялары арқылы кен қорының нақты көлемі анықталып, өндіріс жоспарлары дәл құрылады. Бұл компанияларға инвестициялық шығындарды азайтуға және өндірістік тәуекелдерді төмендетуге мүмкіндік береді. Чилиде мыс кеніштерінде дрондар мен сенсорлық жүйелер енгізілген. Олар кеніштің геотехникалық жағдайын, ауа сапасын және экологиялық көрсеткіштерді үздіксіз бақылап отырады. Нәтижесінде апаттардың алдын алу мүмкіндігі артқан. Қазақстанда енгізу



перспективалары. Қазақстан – пайдалы қазбаларға бай мемлекет. Ел аумағында көмір, темір, мыс, алтын және уран кен орындары мол. Сондықтан Smart Mine технологиясын енгізу Қазақстанның тау-кен саласын жаңа деңгейге көтере алады.

Біріншіден, Smart Mine өндірістік қауіпсіздікті арттырады. Қазақстан кеніштерінде адам еңбегі әлі де жоғары деңгейде қолданылуда. Автоматтандырылған және қашықтан басқарылатын техника енгізілсе, адам өміріне төнетін қауіп азаяды.

Екіншіден, цифрлық мониторинг жүйелері жабдықтардың тозуын алдын ала анықтауға мүмкіндік береді. Бұл кеніштердегі апаттық жағдайлардың алдын алып, жөндеу шығындарын азайтады.

Үшіншіден, Smart Mine экологиялық мәселелерді шешуге ықпал етеді. Сенсорлар мен цифрлық бақылау жүйелері ауа, су және топырақ жағдайын тұрақты қадағалап, қоршаған ортаға зиянды әсерді төмендетеді.

Төртіншіден, цифрландыру еңбек өнімділігін арттырады. Бір оператор бірнеше техника бірлігін қашықтан басқара алады. Бұл кадр тапшылығы мәселесін де шешуге көмектеседі. Сонымен қатар, Қазақстанда Smart Mine енгізу отандық IT саласының дамуына серпін береді. Жергілікті мамандарды даярлау, цифрлық платформалар мен бағдарламалық қамтамасыз ету жасау мүмкіндігі артады. Қосымша мүмкіндіктер мен стратегиялық артықшылықтар Smart Mine технологиясын қолдану Қазақстанның халықаралық аренада бәсекеге қабілеттілігін арттыра алады. Заманауи технологияларды енгізген кен орындары инвестиция үшін тартымды болады және экспорттық әлеуетін көбейтеді. Сонымен қатар, цифрлық трансформация Қазақстанның жасанды интеллект, робототехника және мәліметтерді талдау салаларындағы білім базасын жетілдіруге мүмкіндік береді. Сондай-ақ, Smart Mine экологиялық тұрақтылықты қамтамасыз етеді.

Кеніштің экологиялық көрсеткіштерін нақты уақыт режимінде бақылау арқылы қоршаған ортаға әсерді азайтуға болады. Бұл Қазақстанның халықаралық экологиялық стандарттарға сәйкестігін арттырады және қоғамның сенімін нығайтады. Smart Mine – тау-кен өндірісін дамытудың болашағы зор бағыты.

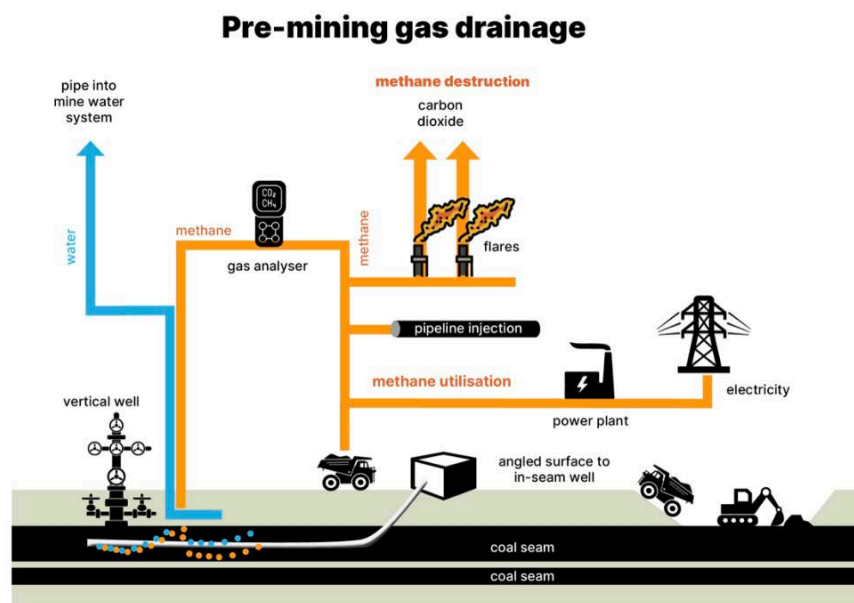
Қолданылған әдебиеттер

1. Ali M.A., Mohammed I.M., Osman A.A. (2025). AIDriven Mining 4.0: A Systematic Review of Smart, Sustainable, and Autonomous Technologies across the Mining Lifecycle. Open Access
2. Chandrahas N., et al. (2025). Role of Digital Transformation in Mining Industry: Enhancing Efficiency, Safety and Sustainability. Open Access
3. Andersson H., et al. (2025). EndUsers' Perspectives on Digitalisation and Automation — Insights from the Swedish Mining Industry. Open Access
4. Zhu X., et al. (2025). Exploring digital twin systems in mining operations: A review. Open Access
5. Kalenov O., Kukushkin S. (2021). Digital Transformation of Mining Enterprises. Open Access

## ТАУ-КЕН КЕШЕНІНДЕ МЕТАН ГАЗЫН ҚАУІПСІЗ БАСҚАРУ ЖОЛДАРЫ

Тау-кен өндірісі – өнеркәсіптің аса маңызды және күрделі салаларының бірі. Әсіресе көмір кен орындарын игеру барысында өндірістік қауіпсіздік мәселелері ерекше назарды талап етеді. Жер асты жұмыстарында кездесетін негізгі қауіптердің бірі – метан газы [ 1]. Метан ( $\text{CH}_4$ ) табиғи жолмен көмір қабаттарында жиналатын, түссіз, иіссіз, ауадан жеңіл және өте жанғыш газ болып табылады. Оның ауадағы мөлшері белгілі бір шекке жеткен жағдайда жарылыс қаупін тудырады. Сондықтан тау-кен кешенінде метан газын қауіпсіз басқару – жұмысшылардың өмірін қорғау мен өндірістің тұрақты жұмысын қамтамасыз етудің басты шарты болып саналады. Метан газы көмірдің геологиялық түзілуі барысында органикалық заттардың ыдырауы нәтижесінде пайда болады. Ол көмір қабаттарында адсорбцияланған күйде немесе жарықшақтар мен қуыстарда еркін газ түрінде жиналады. Көмірді қазу кезінде қысымның төмендеуі әсерінен метан босап шығып, шахта атмосферасына таралады. Метан ауадан жеңіл болғандықтан, көбінесе кен қазбаларының жоғарғы бөліктерінде жиналады. Егер желдету жүйесі жеткіліксіз болса, газдың концентрациясы қауіпті деңгейге дейін көтерілуі мүмкін. Метанның ауадағы 5–15 пайыз аралығындағы концентрациясы жарылғыш қоспа түзеді. Мұндай жағдайда кез келген ұшқын немесе ашық от көзі жарылысқа себеп болуы ықтимал. Метан жарылысы үшін үш негізгі шарт қажет: белгілі мөлшердегі метан концентрациясы, жеткілікті оттегі және тұтану көзі. Тұтану көзі ретінде электр жабдықтарының ақауы, кабельдердің зақымдануы, үйкеліс нәтижесінде пайда болған ұшқын немесе жарылысқа қарсы қорғанысы жоқ құрылғылар қызмет етуі мүмкін. Жарылыс кезінде жоғары температура мен соққы толқыны пайда болып, көмір шаңының қосымша жарылысын тудыруы ықтимал. Бұл жағдай апаттың ауқымын бірнеше есе арттырып, ауыр зардаптарға әкеледі [2]. Метан газын қауіпсіз басқарудың ең негізгі әдісі – тиімді ұйымдастырылған желдету жүйесі. Желдетудің мақсаты – шахта атмосферасындағы метан концентрациясын жарылыс шегінен төмен деңгейде ұстап тұру. Ол үшін негізгі және қосымша желдеткіш қондырғылар қолданылады. Ауа арнайы оқпандар мен штректер арқылы қозғалып, ластанған ауаны сыртқа шығарады. Желдету жүйесінің дұрыс жобалануы мен тұрақты бақылауы шахта ішіндегі газ режимін қауіпсіз деңгейде сақтауға мүмкіндік береді. Метанды басқарудың тағы бір маңызды тәсілі – газды дренаждау немесе дегазациялау. Бұл әдіс көмір қабатынан метанды алдын ала бұрғылау арқылы сорып алуға негізделген. Дегазация

алдын ала, яғни қабатты игеруге дейін, қатарлас – өндіру барысында немесе кейінгі – игерілген кеңістіктен жүргізілуі мүмкін. Метанды алдын ала шығару оның шахтаға бөлінуін азайтады және жарылыс қаупін төмендетеді [3].



1.1 Сурет – Дренаж арқылы алынған метанды электр энергиясын өндіруге пайдалану сұлбасы

Дренаж арқылы алынған метанды электр энергиясын өндіруге, қазандықтарда отын ретінде пайдалануға немесе жергілікті жылумен қамту жүйелеріне қосуға мүмкіндік бар (1.1 сурет). Бұл парниктік газдардың атмосфераға таралуын азайтып, экологиялық жүктемені төмендетеді. Сонымен бірге кәсіпорынның экономикалық тиімділігін арттыруға септігін тигізеді. Қорытындылай келе, тау-кен кешенінде метан газын қауіпсіз басқару кешенді тәсілді талап етеді [4]. Желдету жүйесі, дегазациялау, автоматтандырылған бақылау құралдары, техникалық қауіпсіздік талаптары және қызметкерлерді тұрақты оқыту өзара тығыз байланыста жүзеге асырылуы тиіс. Осындай жүйелі шаралар арқылы өндірістегі апат қаупін азайтып, жұмысшылардың өмірі мен денсаулығын қорғауға болады. Сонымен қатар метанды тиімді пайдалану өндірістің тұрақты дамуына және экологиялық қауіпсіздікке оң әсерін тигізеді [5].

*Қолданылған әдебиеттер тізімі*

1. Қазақстан Республикасының 2017 жылғы 28 желтоқсандағы №125-VI ҚРЗ Қазақстан Республикасының Жер қойнауы және жер қойнауын пайдалану туралы Кодексі.
2. Қазақстан Республикасының 2014 жылғы 11 сәуірдегі №188-V ҚРЗ Азаматтық қорғау туралы Қазақстан Республикасының Заңы.
3. International Labour Organization. Safety and Health in Mines Convention (C176). Geneva, 1995.
4. International Organization for Standardization. ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use. Geneva, 2018.
5. United States Environmental Protection Agency. Coal Mine Methane Recovery: A Primer. Washington, DC.

## ТАУ-КЕН ӨНЕРКӘСІБІНДЕ ТИІМДІЛІК ПЕН ТҰРАҚТЫ ДАМУДЫ АРТТЫРУДАҒЫ АВТОМАТТАНДЫРУ МЕН ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТІҢ РӨЛІ

Тау-кен өнеркәсібі әлемдік экономикада маңызды орын алып, әртүрлі салаларды қажетті шикізатпен қамтамасыз етеді. Алайда қазіргі кезеңде бұл сала өндірістік шығындардың өсуі, экологиялық талаптардың күшеюі, еңбек қауіпсіздігін арттыру қажеттілігі сияқты экономикалық, экологиялық және әлеуметтік сын-қатерлерге тап болып отыр. Осыған байланысты автоматтандыру мен жасанды интеллект технологиялары тау-кен өндірісін трансформациялаудың негізгі құралдарына айналууда.

Автоматтандырылған жүйелерді, соның ішінде автономды көлік құралдарын, роботтандырылған кешендерді және автоматтандырылған бұрғылау-жару қондырғыларын енгізу өндіріс тиімділігін арттыруға, адам факторының әсерін азайтуға және өндірістегі апаттық жағдайлардың санын төмендетуге мүмкіндік береді. Жасанды интеллект технологиялары жабдықтардың техникалық жағдайын алдын ала болжау, пайдалы қазбалар қорын тиімді басқару, геологиялық деректерді талдау және қоршаған ортаның жағдайын нақты уақыт режимінде бақылау үшін кеңінен қолданылады.

Автоматтандыру мен жасанды интеллектті қолдану табиғи ресурстарды ұтымды пайдалануға, өндірістік қалдықтарды азайтуға және қоршаған ортаға келетін теріс әсерді төмендетуге ықпал етеді. Дегенмен, бұл технологияларды енгізу жоғары бастапқы инвестицияларды, сапалы деректердің болуын және білікті мамандарды даярлауды талап етеді. Жалпы алғанда, автоматтандыру мен жасанды интеллект тау-кен өнеркәсібінің тиімділігін, қауіпсіздігін және тұрақты дамуын қамтамасыз ететін негізгі факторлар болып табылады.

Сонымен қатар, жасанды интеллект негізінде жұмыс істейтін интеллектуалды басқару жүйелері тау-кен кәсіпорындарында өндірістік процестерді кешенді оңтайландыруға мүмкіндік береді. Мұндай жүйелер кен өндірудің барлық кезеңдерінде деректерді жинау, өңдеу және талдау арқылы басқарушылық шешімдердің дәлдігін арттырады. Мысалы, машиналық оқыту алгоритмдері кен кен құрамын алдын ала болжауға, кеніштердің жұмыс режимін оңтайландыруға және жабдықтардың істен шығу ықтималдығын ерте анықтауға жағдай жасайды. Бұл өз кезегінде жоспардан тыс тоқтауларды азайтып, өндірістің үздіксіздігін қамтамасыз етеді.

Цифрлық технологиялар мен автоматтандырылған жүйелерді енгізу еңбек өнімділігінің артуына да айтарлықтай әсер етеді. Қауіпті және ауыр жұмыстардың роботтандырылған кешендер арқылы орындалуы адам өміріне төнетін тәуекелдерді төмендетіп, өндірістегі жарақаттану деңгейін азайтады. Сонымен бірге, қашықтан басқару және мониторинг жүйелері арқылы кен орындарындағы процестерді нақты уақыт режимінде бақылау мүмкіндігі артып, өндірістік тәртіп күшейеді.

Тау-кен өнеркәсібінде жасанды интеллектті қолдану экологиялық тұрақтылықты қамтамасыз етудің маңызды құралы болып табылады. Қоршаған ортаны мониторингтеу жүйелері ауа, су және топырақ сапасының өзгерістерін үздіксіз бақылап, экологиялық қауіптердің алдын алуға мүмкіндік береді. Өндірістік қалдықтарды басқару мен энергия тұтынуды оңтайландыру арқылы табиғи ресурстарды үнемді пайдалану жүзеге асырылады. Жасанды интеллектке негізделген талдау әдістері өндірістік процестердің қоршаған ортаға әсерін алдын ала болжауға, зиянды шығарындылардың көлемін азайтуға және апаттық жағдайлардың туындау ықтималдығын төмендетуге жағдай жасайды. Сонымен қатар, бұл технологиялар табиғи ресурстарды пайдалану тиімділігін арттырып, кен өндіру барысында пайдалы қазбалардың жоғалуын азайтуға ықпал етеді. Өндірістік қалдықтарды басқаруды автоматтандыру арқылы қалдықтардың қайта өңделу деңгейі артып, қоршаған ортаға түсетін жүктеме төмендейді. Энергия тұтынуды интеллектуалды басқару жүйелері электр энергиясы мен отын ресурстарын үнемдеуге мүмкіндік беріп, өндірістің экологиялық ізін қысқартуға септігін тигізеді.

Осылайша, автоматтандыру мен жасанды интеллектті тау-кен өнеркәсібіне кеңінен енгізу саланың бәсекеге қабілеттілігін арттырып қана қоймай, оның ұзақ мерзімді тұрақты дамуына негіз қалайды. Бұл технологиялар өндірістің экономикалық тиімділігін арттырумен қатар, әлеуметтік және экологиялық жауапкершілікті күшейтуге бағытталған заманауи тау-кен өндірісінің ажырамас бөлігі болып табылады.

Қорытындылай келе, автоматтандыру мен ЖИ кен өндіруді қауіпсіз, тиімді және экологиялық жағынан тұрақты етуге мүмкіндік береді, ал олардың кеңінен қолданылуы үшін зерттеу, инвестиция және нормативтік реттеу маңызды.

Қолданылған әдебиеттер:

1. Saleem, H.A (2025). Autmatiln and artificial intelligence in enchancing mining efficiency and sustainability: A review. *Procedia Environmental science ,Engineering and Management* 12(1) 213-228
2. Cacciutolo , C., Guzman, V., CAtrinir, P., Atencio, E., et al. (2023) .Low-cost sensors technologies for monitoring sustainability and safety issues in mining activites. *Sensors* ,23,6846
3. Long ,M.,Schafrik, S., kolapo, P., agiotantis ,Z., Sottie ,J (2024) Equipment and operations automation in mining : a review 12,713
4. Ali, D., & Frimpong , S.(2020). Artifical intelligence ,machine learning and procces automation : existing knowledge frontier and way forward for mining sector. *Artifical Intelligence Review* , 53, 6025-6042
5. Onifade, M., (2023) . safe mining operation through technologicaladv ancement. *Process Safety and Environmental Protection* 175, 251-258

## СОВРЕМЕННОЕ ГОРНОЕ ПРОИЗВОДСТВО АКТИВНО ИСПОЛЬЗУЕТ АВТОМАТИЗАЦИЮ ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ДИСТАНЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ

Современная горнодобывающая отрасль активно трансформируется под влиянием автоматизации, цифровых решений и технологий удалённого управления. Эти изменения затрагивают весь производственный цикл — начиная с этапов разведки и проектирования месторождений и заканчивая процессами добычи, транспортировки и переработки минерального сырья. Использование автоматизированных систем управления технологическими процессами позволяет оперативно отслеживать состояние оборудования, корректировать режимы бурения, взрывных работ, погрузки и перемещения горной массы, а также значительно сокращать время вынужденных простоев.

Значительное развитие получили цифровые модели месторождений, создаваемые на основе геоинформационных технологий, трёхмерного моделирования и концепции «цифрового двойника». Применение таких инструментов повышает точность оценки запасов, помогает прогнозировать геомеханическое поведение пород, оптимизировать планирование горных работ и снижать потери полезных компонентов. Использование анализа больших данных и алгоритмов искусственного интеллекта способствует более взвешенному принятию управленческих решений и росту общей эффективности производства.

Одним из приоритетных направлений является внедрение дистанционного управления и роботизированных комплексов. В настоящее время на горных предприятиях всё шире применяются автономные карьерные самосвалы, автоматические буровые установки и дистанционно управляемые очистные системы. Это позволяет существенно повысить уровень промышленной безопасности за счёт сокращения присутствия персонала в потенциально опасных зонах, включая рабочие забои, участки возможных обрушений и области с высокой концентрацией пыли или газов.

Кроме того, автоматизация играет важную роль в снижении экологической нагрузки. Современные системы контроля обеспечивают постоянный мониторинг выбросов, вибрационного воздействия, состояния водных объектов и хвостохранилищ. Оптимизация технологических режимов способствует уменьшению энергозатрат, снижению объёмов отходов и более рациональному использованию природных ресурсов, что соответствует требованиям устойчивого развития.

В итоге можно отметить, что цифровизация, автоматизация и технологии удалённого управления становятся основой модернизации горного производства, обеспечивая повышение производительности труда, улучшение условий и безопасности работы, экономическую устойчивость и экологическую сбалансированность отрасли.

Несмотря на активное внедрение автоматизации, цифровых технологий и дистанционного управления, современное горное производство сталкивается с рядом серьёзных проблем. Одной из основных является высокая стоимость внедрения и обслуживания высокотехнологичного оборудования и программного обеспечения. Для многих предприятий, особенно в удалённых регионах, такие инвестиции оказываются финансово затруднительными.

Существенной проблемой остаётся дефицит квалифицированных кадров. Эксплуатация автоматизированных и цифровых систем требует специалистов с высоким уровнем технической подготовки, знаниями в области информационных технологий, анализа данных и промышленной автоматизации. Недостаточная подготовка персонала может снижать эффективность внедряемых технологий и повышать риск сбоев в работе оборудования.

Кроме того, автоматизация может вызывать социальные проблемы, связанные с сокращением рабочих мест и изменением структуры занятости в горнодобывающих регионах. Это требует разработки программ переподготовки персонала и адаптации работников к новым условиям труда.

#### Список литературы

1. Бакаев А. А. Автоматизация горных предприятий : учебное пособие. М.Недра, 2020.
2. Кузнецов В.С., Петров И.Н. Цифровые технологии в горнодобывающей промышленности : монография. СПб. Горная книга, 2021.
3. Федоров А.Ю. Применение геоинформационных систем и цифровых моделей при проектировании горных работ. Горный журнал. 2022.

## ҒАРЫШТЫҚ ГЕОДЕЗИЯНЫҢ ДАМУЫНДА GNSS ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫНЫҢ РОЛІ

Қазіргі заманғы ғарыштық геодезия GNSS (Global Navigation Satellite Systems) технологияларына сүйенеді. GNSS – жер шарын толық қамтитын спутниктік навигациялық жүйелер жиынтығы. Оларға GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou жатады. Бұл жүйелер координаталарды, жылдамдықты және уақытты тәулік бойы, кез келген ауа райында анықтауға мүмкіндік береді.

Ғарыштық геодезия тек теориялық ғылым емес, ол өндірістік және инженерлік қызметтің маңызды бөлігіне айналды. Бүгінде ірі инфрақұрылымдық жобалар, көлік жүйелері, құрылыс нысандары және тау-кен кәсіпорындары GNSS технологияларынсыз жүзеге аспайды.

Ғарыштық геодезияның бастауын 1957 жылы алғашқы жасанды жер серігінің ұшырылуымен байланыстырады. Спутниктердің орбиталарын бақылау арқылы Жердің гравитациялық өрісі мен геометриялық параметрлері нақтыланды. Кейінгі жылдары радиотехникалық, лазерлік және доплерлік әдістер дамыды.

1970–1990 жылдары жаһандық навигациялық жүйелер қалыптасты. GPS жүйесі толық іске қосылғаннан кейін геодезиялық өлшеулердің дәлдігі бірнеше сантиметрге дейін жетті. Кейін басқа мемлекеттер де өз навигациялық жүйелерін дамытты. Қазіргі уақытта көпжүйелі қабылдағыштар бірнеше спутниктік жүйенің сигналдарын қатар қабылдай алады, бұл өлшеулердің сенімділігін арттырады [1].

Сонымен қатар, халықаралық GNSS тұрақты станциялар желісі (IGS) құрылып, Жер қыртысының қозғалысын үздіксіз бақылау мүмкіндігі пайда болды. Бұл геодинамика, сейсмология және климатология ғылымдары үшін аса маңызды дереккөз болып табылады.

GNSS жүйесінің негізінде спутниктерден таралатын радиосигналдар жатыр. Әр спутник өз орбитасының параметрлері мен дәл уақыт туралы ақпарат жібереді. Қабылдағыш кемінде төрт спутниктен сигнал қабылдап, үш өлшемді координаталарды (X, Y, Z) және уақытты анықтайды.

Дәлдікті арттыру үшін бірнеше әдіс қолданылады:

1. статикалық әдіс – жоғары дәлдікті мемлекеттік геодезиялық торларды құруда;
2. RTK (Real Time Kinematic) – нақты уақыт режимінде сантиметрлік дәлдікпен өлшеу;
3. PPP (Precise Point Positioning) – ғаламдық дәл орбиталар негізінде есептеу;
4. DGPS – дифференциалдық түзетулер арқылы кателіктерді азайту.



Қателіктердің негізгі көздері – ионосфералық және тропосфералық әсерлер, спутник орбитасының дәл еместігі, көпсәулелі шағылысу (мультипас). Заманауи қабылдағыштар көпжиілікті сигналдарды пайдалану арқылы бұл қателіктерді барынша азайтады.

Ғарыштық геодезияның қолданылу аясы өте кең [2]:

1. Инженерлік геодезия – ғимараттар мен құрылыстардың деформациясын бақылау.
2. Тау-кен өндірісі – карьер шекараларын анықтау және техниканың қозғалысын бақылау.
3. Кадастр және жерге орналастыру – жер учаскелерінің нақты координаталарын белгілеу.
4. Геодинамикалық зерттеулер – литосфералық плиталардың қозғалысын анықтау.
5. Климаттық мониторинг – теңіз деңгейінің өзгеруін бақылау.
6. Көлік және навигация – авиация, теңіз және автокөлік саласында бағыттау.

Ғарыштық геодезия – заманауи геодезия ғылымының стратегиялық маңызды бағыты. Ол Жердің геометриялық және физикалық параметрлерін ғаламдық деңгейде жоғары дәлдікпен анықтауға мүмкіндік береді. GNSS технологиялары дәстүрлі өлшеу әдістерін толықтырып қана қоймай, олардың тиімділігін арттырды және өлшеу процесін автоматтандырды.

Қазіргі кезеңде көпжүйелі спутниктік навигация, жоғары дәлдікті орбиталық модельдер және цифрлық өңдеу технологиялары координаталарды анықтаудың сапасын жаңа деңгейге шығарды. Болашақта спутниктер санының артуы, жаңа жиіліктердің енгізілуі және жасанды интеллект негізіндегі деректерді өңдеу әдістері ғарыштық геодезияның мүмкіндіктерін одан әрі кеңейтеді.

Осылайша, ғарыштық геодезия мен GNSS технологиялары ғылыми зерттеулерде де, өндірістік қызметте де шешуші рөл атқарады және заманауи геодезист маман үшін кәсіби құзыреттіліктің маңызды көрсеткіші болып табылады.

#### *Пайдаланылған әдебиеттер тізімі*

1. Мезенцева, О. В. Исследование влагозапаса в растительном покрове на территории Казахстана с применением спутниковых снимков / О. В. Мезенцева, А. А. Кусаинова, К. Р. Галиуллина // Безопасный Север - чистая Арктика : Материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Сургут, 13–14 апреля 2023 года / Ред. А.А. Исаев. – Сургут: Сургутский государственный университет, 2023. – С. 240-244.
2. Кусаинова, А. А. сопоставительный анализ космических систем дистанционного зондирования Земли / А. А. Кусаинова, Н. Р. Сафонов // Геодезия, землеустройство и кадастры: проблемы и перспективы развития : сборник научных трудов по материалам V Международной научно-практической конференции, посвященной 105-летию юбилею кафедры геодезии и дистанционного зондирования, Омск, 30 марта 2023 года. – Омск: ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2023. – С. 65-69.

## РАЗВИТИЕ ЦИФРОВОЙ АЭРОФОТОСЪЕМКИ И ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

На данный момент цифровая аэрофотосъемка развивается очень быстрыми темпами. Основную роль в таком способе играют цифровые технологии, спутники и беспилотные летательные аппараты (БПЛА). Переход к этим более современным и технологичным методам значительно ускорил процесс получения обработки и передачи данных.

В начале 2000-х годов аэрофотосъемка осуществлялась с помощью самолетов, оснащенных камерами. Такие изображения хранились на физических носителях и требовали длительного времени обработки. Однако внедрение цифровых датчиков высокого разрешения стало решающим и повлекло за собой глобальные изменения. Цифровые камеры позволили мгновенно передавать данные на компьютеры, сокращая время между съемкой и анализом.

Темпы развития этого направления еще больше возросли с появлением БПЛА, широко известных как дроны. Беспилотники сделали аэрофотосъемку более доступной, гибкой и эффективной, тем самым совершив в ней революцию. В отличие от традиционных летательных аппаратов, БПЛА могут работать на малых высотах и получать высокодетализированные изображения. В результате компаниям больше не требуются дорогостоящие авиационные ресурсы для определенного процента проектов. Этот прорыв значительно ускорил сбор данных и расширил спектр практического применения.

Еще одним фактором такого быстрого развития цифровой аэрофотосъемки является интеграция спутниковых и навигационных систем, таких как GPS, ГЛОНАСС и т.д.[1]. Эти системы обеспечивают высокую точность получаемых изображений. Данные технологии особенно эффективны, когда используются с современным фотограмметрическим программным обеспечением, они позволяют автоматически создавать ортофотоснимки, 3D-модели местности и цифровые модели рельефа. На сегодняшний день обработка, ранее занимавшая недели, благодаря новым технологиям (мощные компьютеры, облачные хранилища) может быть выполнена за несколько часов.

Помимо этого, большое значение оказало развитие искусственного интеллекта, современное программное обеспечение имеет функцию по самостоятельному обнаружению объектов, классификации растительного покрова, а также выявления изменений в ландшафте. Такое продвижение в автоматизации процессов снижает количество ошибок, происходящих по причине человеческого фактора, и повышает эффективность. Все это

приводит к тому, что аэрофотосъемка становится не только более быстрой, но и более эффективной [2].

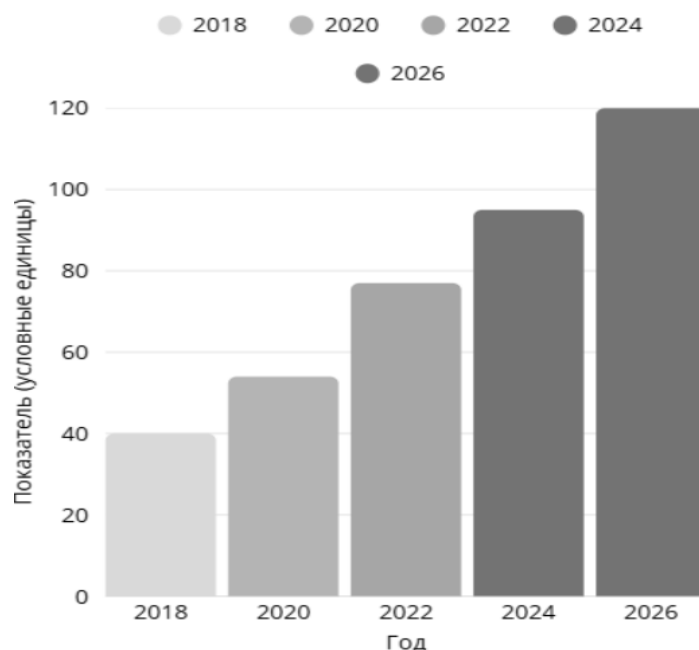


Рисунок 1. Динамика развития цифровой аэрофотосъемки за 2018-2026 гг. (%)

Цифровой аэрофотосъемке находят применение в строительстве и землеустройстве. Благодаря ей создаются точные планы городов, областей, районов, отдельных участков местности. Это помогает в анализе городской застройки и контроле инфраструктуры. Также она используется и в сельском хозяйстве. Дроны, оборудованные камерами, снимают поля и совершают мониторинг состояния посевов. Это повышает производительность и урожайность, не оказывая влияния на окружающую среду.

Но несмотря на такое развитие и успешность цифровая аэрофотосъемка является достаточно молодым направлением. Для его развития необходимо создавать специализированные площадки для обучения, предоставлять государственные гранты на закупку оборудования.

#### Список использованной литературы:

1. Мезенцева, О. В. Исследование увлажнения территории Северного Казахстана на основе спутниковых снимков / О. В. Мезенцева, А. А. Кусаинова, В. Ю. Касаткин // Геодезия, землеустройство и кадастры: проблемы и перспективы развития : сборник научных трудов по материалам V Международной научно-практической конференции, посвященной 105-летию кафедры геодезии и дистанционного зондирования, Омск, 30 марта 2023 года. – Омск: ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2023. – С. 74-78.
2. Методы повышения точности фотограмметрии открытых горных работ // Проблемы недропользования - 2025 <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80635257>

## АКТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ШИХТОВАНИЯ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ МЕДНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ ПРИ АВТОГЕННОЙ ПЛАВКЕ

Современная медеплавильная промышленность характеризуется переработкой серосодержащих медных концентратов сложного и переменного состава. Ухудшение качества минерально-сырьевой базы, рост доли серы и железа в концентратах, а также вовлечение труднообогатимых руд существенно усложняют обеспечение устойчивого автогенного режима плавки. Данные тенденции подтверждаются результатами международных исследований и промышленного опыта [1, 2].

В условиях автогенной плавки ключевым фактором устойчивости технологического процесса становится предплавочная подготовка сырья, в первую очередь — шихтование. Именно состав и однородность шихты определяют тепловой баланс процесса, условия окислительно-восстановительных реакций и распределение меди между фазами. Для медеплавильных предприятий Республики Казахстан, включая Балхашский медеплавильный завод, проблема шихтования приобретает особую актуальность вследствие переработки концентратов различного происхождения и химического состава [3, 4].

Шихтование серосодержащих медных концентратов направлено на формирование заданных соотношений между основными компонентами шихты с целью обеспечения автогенности процесса. Нарушение этих соотношений приводит к дефициту или избытку тепла, изменению кислородного потенциала и нестабильности технологических показателей. В работе Shishin D. и соавторов показано, что даже при неизменных параметрах плавки вариации состава шихты существенно влияют на эффективность переработки и потери металла [1].

Современные исследования в области автоматизации и моделирования процессов смешения концентратов подтверждают необходимость динамического учета состава шихты. Использование методов оптимального управления позволяет снижать влияние стохастических колебаний свойств сырья и повышать устойчивость процесса плавки [2]. Однако в промышленных условиях данные подходы требуют адаптации с учетом реальных характеристик концентратов и технологических ограничений.

Одним из негативных последствий нестабильного шихтования являются повышенные потери меди. Исследования, выполненные на Балхашском медеплавильном заводе, показывают, что при переработке серосодержащих концентратов изменение состава шихты приводит к росту потерь меди и снижению извлечения металла [3]. Это обусловлено

изменением условий формирования расплавов и ухудшением разделения фаз.

Отечественные исследования подтверждают, что физико-химические свойства расплавов и их термические характеристики напрямую связаны с исходным составом шихты [5]. Применение восстановителей и корректирующих добавок позволяет частично компенсировать неблагоприятные эффекты, однако не устраняет первопричины нестабильности процесса, связанные с неравномерностью состава шихты.

Проведенный анализ показывает, что шихтование серосодержащих медных концентратов является ключевым элементом управления автогенной плавкой. Усложнение состава сырья и рост требований к эффективности производства обуславливают необходимость перехода к научно обоснованным методам формирования шихты. Современные подходы, основанные на термодинамическом моделировании и оптимальном управлении, подтверждают перспективность данного направления, однако требуют дальнейшего развития и адаптации к промышленным условиям переработки серосодержащих медных концентратов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

**1. Shishin D., Tripathi N., Sineva S., Jak E.**

Thermodynamic modeling and research for processing complex concentrate blends in custom copper smelters for maximum revenue // *Processes*. 2024. Vol. 12, No. 12. Art. 2820.

DOI: 10.3390/pr12122820

**2. Kalizhanova A., Imanbekova U., Kozbakova A., Imanbekova A., Utegenova A.**

Optimal control of the dynamics of physical and chemical processes of blending and melting of copper concentrates // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*. 2024. Vol. 18, No. 4.

DOI: 10.46300/9104.2024.18.4

**3. Dosmukhamedov N., Shambulayev B., Dityatovskiy L., Zholdasbay Y., Argyn A.**

Determination of quantitative ratios of copper losses in Vanyukov furnace slags under the conditions of the Balkhash copper smelter // *Recycling*. 2025. Vol. 10, No. 5. Art. 181.

DOI: 10.3390/recycling10050181

**4. Кожаметов С.М., Квятковский С.А., Султанов М.К., Тулегенова З.К., Семенова А.С.**

Переработка окисленных медных руд и сульфидных медных концентратов Актогайского месторождения пирометаллургическими способами // *Комплексное использование минерального сырья*. 2018. №3. С. 54–62.

DOI: 10.31643/2018/6445.17

**5. Соколовская Л.В., Квятковский С.А., Кожаметов С.М., Семенова А.С., Сейсембаев Р.С.**

Влияние восстановителя на структуру и термические свойства шлаков автогенной плавки медных сульфидных концентратов // *Металлург*. 2021. №5. С. 45–51.

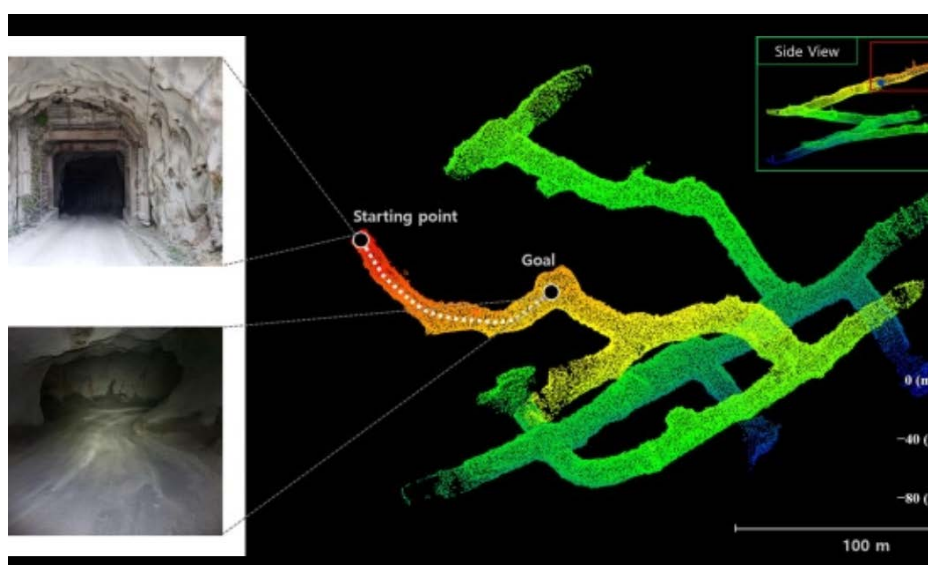
DOI: 10.52351/00260827\_2021\_05\_45

**ЖЕР АСТЫ КЕНІШТЕРІНДЕ ДРОНДАРДЫ ҚОЛДАНУДЫҢ ТИІМДІЛІГІ**

Жер асты кеніштерінде дрондарды қолданудың тиімділігі соңғы жылдары тау-кен өнеркәсібінде ерекше маңызға ие болып отыр. Тау-кен өндірісі – күрделі және қауіпті өндірістік салалардың бірі. Жер астында жұмыс істеу кезінде газдың жиналуы, тау жыныстарының опырылуы, желдету жүйесінің жеткіліксіздігі және басқа да қауіптер жиі кездеседі [1]. Осындай жағдайларда өндірістің қауіпсіздігін қамтамасыз ету, жұмыс тиімділігін арттыру және нақты ақпарат алу үшін заманауи технологияларды қолдану қажет. Сол технологиялардың бірі – дрондар немесе ұшқышсыз ұшу аппараттары. Дрондар – қашықтан басқарылатын немесе автоматты түрде жұмыс істейтін құрылғылар. Олар камералармен, лазерлік сканерлермен, түрлі сенсорлармен және навигациялық жүйелермен жабдықталады. Осындай техникалық мүмкіндіктердің арқасында дрондар жер асты кеніштеріндегі кеңістікті зерттеп, өндірістік процестерді бақылауға мүмкіндік береді. Дрондардың көмегімен бұрын адамдардың қатысуымен жүргізілген көптеген жұмыстарды қауіпсіз және жылдам орындауға болады. Жер асты кеніштерінде дрондарды қолданудың негізгі артықшылықтарының бірі – қауіпсіздікті арттыру. Тау-кен жұмыстарында ең үлкен қауіптердің бірі – метан газының жиналуы және жарылыс қаупі. Дрондар арнайы газ анализаторлары арқылы ауа құрамын тексеріп, метан, көмірқышқыл газы және басқа да қауіпті газдардың деңгейін анықтай алады. Егер газ мөлшері қауіпті деңгейге жетсе, жүйе операторларға ескерту береді. Бұл жұмысшылардың өмірін сақтауға және апаттардың алдын алуға көмектеседі. Сонымен қатар дрондар тау жыныстарының жағдайын бақылауда да маңызды рөл атқарады. Жер астындағы туннельдер мен шахталарда опырылу қаупі әрқашан бар. Дрондар жоғары сапалы камералар мен лазерлік сканерлер арқылы туннельдердің қабырғаларын тексеріп, олардың жағдайын бағалай алады [2]. Осы мәліметтердің негізінде кеніштің үшөлшемді картасы жасалып, қауіпті аймақтар анықталады. Бұл алдын ала шаралар қабылдауға мүмкіндік береді. Дрондарды геологиялық барлау жұмыстарында қолдану да өте тиімді. Бұрын геологиялық зерттеу үшін мамандар ұзақ уақыт бойы шахталарда жүріп, өлшеу жұмыстарын жүргізетін. Бұл көп уақытты қажет ететін және қауіпті жұмыс болатын. Ал дрондар қысқа уақыт ішінде үлкен аумақты зерттеп, жоғары дәлдіктегі фотосуреттер мен бейнежазбалар түсіре алады. Жиналған ақпарат компьютерлік бағдарламалар арқылы өңделіп, кен орындарының нақты карталары жасалады (Сурет – 1.1). Бұл кеннің орналасуын анықтауға және жаңа өндіріс учаскелерін жоспарлауға көмектеседі. Дрондардың тағы бір маңызды артықшылығы – өндірістік тиімділікті арттыру. Кеніштерде

көптеген тексеру және бақылау жұмыстары тұрақты түрде жүргізілуі керек. Егер бұл жұмыстарды адамдар орындаса, көп уақыт пен еңбек қажет болады. Ал дрондар бұл тапсырмаларды әлдеқайда жылдам орындай алады. Нәтижесінде өндірістік процестер жеделдетіліп, жұмыс тиімділігі артады [3].

Дрондар техникалық жабдықтардың жағдайын бақылауда да пайдаланылады. Мысалы, конвейерлердің, желдету жүйелерінің және шахта құрылымдарының жағдайын тексеру үшін дрондарды қолдануға болады. Камералар мен сенсорлардың көмегімен олар апат аймағындағы жағдайды анықтап, құтқарушыларға нақты ақпарат береді. Кейбір дрондар инфрақызыл камералар арқылы адамдардың орналасқан жерін де анықтай алады [4].



1.1 Сурет –Дрондардың қолдану ерекшеліктері

Қазіргі таңда дрон технологиялары жасанды интеллект жүйелерімен біріктіріліп, одан әрі дамып келеді. Болашақта толық автоматтандырылған дрондар кеніштерде өздігінен ұшып, қажетті ақпаратты жинап, өндірістік процестерді бақылап отыруы мүмкін. Бұл тау-кен өндірісінің цифрлануына үлкен үлес қосады. Қорытындылай келе, жер асты кеніштерінде дрондарды қолдану қауіпсіздікті арттыруға, геологиялық зерттеулерді жеңілдетуге, өндірістік тиімділікті жоғарылатуға және шығындарды азайтуға мүмкіндік береді. Сондықтан дрон технологиялары тау-кен өнеркәсібінің болашағында маңызды рөл атқарады [5].

*Қолданылған әдебиеттер тізімі*

1. Introduction to Artificial Neural Networks. – St. Paul: West Publishing Company, 1992.
2. Deep Learning. – Cambridge: MIT Press, 2016.
3. Society for Mining Metallurgy and Exploration. Mining Engineering Handbook. – 3rd ed. – Littleton, CO, 2011.
4. International Council on Mining and Metals. Digital Transformation in Mining Report. – London, 2020.
5. International Organization for Standardization. ISO 22400-2:2014 Automation systems and integration – Key performance indicators for manufacturing operations management. – Geneva, 2014.

## ЛОГИСТИКА РАСЧЁТА ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

### 1. Назначение тепловых сетей

Тепловые сети предназначены для транспортировки теплоносителя (вода, пар) от источника тепла к потребителям.

Основные требования: надёжность, безопасность, экономичность.

При проектировании учитываются температура, давление, масса труб, условия прокладки.

### 2. Логистика расчётов трубопроводов

#### 2.1 Гидравлический расчёт

Определение диаметров труб. Расчёт потерь давления. Обеспечение равномерного движения теплоносителя.

#### 2.2 Теплотехнический расчёт

Определение теплотерь. Подбор теплоизоляции. Повышение энергоэффективности.

#### 2.3 Прочностной и температурный расчёт

Оценка влияния давления. Учёт теплового расширения.

Предотвращение разрушений и утечек.

С учетом многих факторов по данной логистике рационально использовать искусственный интеллект.

### 3. Тепловое удлинение труб

При нагреве труба увеличивается в длине. Величина удлинения зависит от материала и температуры. Без компенсации возникают деформации и повреждения.

4. Компенсация тепловых деформаций. Применяются специальные устройства — компенсаторы: П-образные, U-образные, линзовые, сильфонные.

Их назначение — воспринимать температурные удлинения, снижать напряжения в трубопроводе и устранять аварийные разрушения труб при критических тепловых удлинениях.

### 5. Опоры трубопроводов

#### 5.1 Неподвижные опоры

Полностью фиксируют трубу. Воспринимают осевые усилия, давление и вес. Размещаются у компенсаторов, на поворотах, вводах в здания. Делят трубопровод на расчётные участки.



5.2 Подвижные опоры. Поддерживают трубу. Позволяют продольное перемещение. Воспринимают вертикальную нагрузку. Виды: скользящие, катковые, подвесные. Снижают напряжения при тепловом расширении.

#### 6. Принцип размещения опор

Между двумя неподвижными опорами образуется расчётный участок. На участке устанавливаются компенсаторы. Подвижные опоры обеспечивают свободное перемещение трубы. Правильное чередование опор предотвращает аварии.

#### 7. Практические рекомендации

Анализировать трассу перед проектированием. Закреплять трубу в ключевых точках. Использовать подвижные опоры на длинных участках. Подбирать компенсаторы по температурным условиям. Обеспечивать доступность для обслуживания.

#### 8. Итоговые выводы

Тепловое расширение — обязательный фактор расчёта. Неподвижные опоры фиксируют трубопровод. Подвижные опоры обеспечивают компенсацию удлинений. Совместная работа опор и компенсаторов гарантирует надёжность теплосети.

Проведенный анализ устройств предотвращающих разрушение труб при тепловых удлинениях показывает многообразие многих факторов влияющих на расчет компенсаторов тепловых расширений, учет которых с помощью искусственного интеллекта по логистике расчетов трубопроводов тепловых сетей в условиях цифровизации горно-металлургического комплекса позволяет установить рациональные параметры компенсаторов и условия безаварийной эксплуатации тепловых сетей.

*Список используемых источников:*

1. Цынаева Е. А. Ц95 Гидравлика. Теория и практика : учебное пособие / Е. А. Цынаева. — Ульяновск : УлГУ, 2021. — 94 с.
2. Расчет тепловых потоков и гидравлических режимов водяных тепловых сетей [Электронный ресурс] : методические указания к курсовому и дипломному проектированию / М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т ; сост. Л. В. Кудрявцев, С. В. Улазовский, П. П. Кондауров. — Электронные текстовые и графические данные (1,8 Мбайт). — Волгоград : ВолгГАСУ, 2016. — Учебное электронное издание сетевого рас пространения. — Систем. требования: PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; Internet Explorer 6.0; Adobe Reader 6.0. — Официальный сайт Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета.
3. Вафин, Д. Б. В 18 Теплоснабжение и тепловые сети: учебное пособие / Д.Б. Вафин. — Нижнекамск: Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ», 2014. — 228 с.

## «СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕНДЫ РАЗВИТИЯ ГОРНОГО КОМПЛЕКСА В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ»

Горнодобывающая промышленность является стратегически важной отраслью экономики, обеспечивающей сырьевую базу для металлургии, энергетики, строительства и высокотехнологичных производств. В условиях цифровой экономики традиционные методы управления и организации производства становятся недостаточно эффективными. Цифровая трансформация определяет конкурентоспособность предприятий и устойчивость национальной экономики.

К ключевым вызовам относятся: истощение легкодоступных месторождений; усложнение горно-геологических условий; рост глубины разработки; усиление экологических требований; нестабильность мировых сырьевых рынков; дефицит квалифицированных кадров; необходимость повышения уровня промышленной безопасности.

Разработка глубоких горизонтов требует значительных капитальных вложений и внедрения новых инженерных решений. Повышенные температуры, газообильность и водопритоки усложняют ведение горных работ и увеличивают риски.

Внедрение технологий Индустрии 4.0 включает автоматизированные системы управления (АСУ ТП), промышленный интернет вещей (IIoT), системы позиционирования персонала, цифровые платформы управления производством.

Сбор и обработка данных в режиме реального времени позволяют повысить прозрачность процессов и оперативность управления.

Алгоритмы машинного обучения применяются для анализа геологических данных, построения цифровых моделей месторождений, прогнозирования аварий и оптимизации буровзрывных работ. Использование предиктивной аналитики снижает простои оборудования и затраты на ремонт за счет перехода к системе обслуживания по фактическому состоянию.

Автономные самосвалы, буровые установки и дистанционно управляемые комплексы повышают производительность труда и минимизируют влияние человеческого фактора. Беспилотные летательные аппараты используются для маркшейдерских съемок, контроля состояния бортов карьеров и мониторинга складов полезных ископаемых. Современные предприятия ориентируются на принципы устойчивого развития и ESG. Внедряются технологии снижения выбросов, переработки отходов, рационального использования водных ресурсов.

Цифровые системы экологического мониторинга обеспечивают прозрачность отчетности и контроль воздействия на окружающую среду.

Цифровизация требует подготовки специалистов нового типа, сочетающих знания в области горного дела, информационных технологий, автоматизации и анализа данных. Развитие цифровых компетенций становится приоритетной задачей образовательных учреждений и предприятий.

Интеграция цифровых платформ, создание цифровых двойников предприятий, развитие аналитических центров, внедрение технологий искусственного интеллекта и роботизации формируют новую модель «умного» горного предприятия.

Это обеспечивает повышение эффективности, снижение издержек, рост безопасности и экологичности производства.

Подводя итоги, цифровая экономика формирует качественно новый этап развития горного комплекса. Технологическая модернизация становится не просто инструментом повышения эффективности, а необходимым условием выживания и устойчивого развития отрасли в долгосрочной перспективе.

#### Использованные материалы:

1. World Economic Forum. Digital Transformation Initiative: Mining and Metals Industry.
2. McKinsey & Company. How digital innovation can improve mining productivity.
3. PwC. Mine 2023: The era of reinvention.
4. Deloitte. Tracking the Trends 2024: The top 10 issues transforming mining.
5. Научные публикации по цифровизации горнодобывающей промышленности (2022–2025 гг.).

## СПЕЦИФИКА ЯЗЫКОВОЙ РЕПРЕЗЕНТАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ТЕКСТАХ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ДЕГАЗАЦИИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ С РОСТОМ ГЛУБИНЫ ИХ РАЗРАБОТКИ

Специфика языковой репрезентации технической информации в текстах, созданных системами искусственного интеллекта, определяется особенностями алгоритмической генерации, стандартизацией научного стиля и ориентацией на логико-структурную организацию знания. В условиях цифровизации инженерной деятельности и развития генеративных моделей (в том числе решений, разрабатываемых компанией OpenAI), искусственный интеллект становится инструментом подготовки аналитических, проектных и рекомендационных материалов в технических отраслях.[1]

Тексты, созданные ИИ, характеризуются высокой степенью формализации, терминологической насыщенностью и последовательной аргументацией. В них доминируют обобщающие конструкции, классификационные модели и причинно-следственные связи. В отличие от традиционного авторского изложения, где возможны субъективные интерпретации и стилистическая вариативность, ИИ-репрезентация стремится к нейтральности, унификации и воспроизводимости структуры. Это особенно важно в инженерной сфере, где точность формулировок и логическая непротиворечивость напрямую связаны с безопасностью и эффективностью технологических решений.

Однако специфика ИИ-текстов проявляется и в ряде ограничений: отсутствии эмпирического профессионального опыта, вероятностном характере генерации и необходимости обязательной экспертной верификации. Поэтому материалы, подготовленные ИИ, следует рассматривать как аналитическую основу, требующую проверки специалистами-практиками.[2]

Рассмотрим применение указанных особенностей к разработке рекомендаций по выбору способов дегазации угольных пластов с ростом глубины их разработки. Увеличение глубины горных работ сопровождается повышением горного давления, ростом метаноносности, снижением естественной проницаемости угля и усложнением геомеханических условий. Эти факторы усиливают опасность внезапных выбросов газа и угля и требуют совершенствования технологий дегазации.[3]

На основе систематизации технических данных можно сформулировать следующие рекомендации:

1. Дифференцированный подход к выбору метода дегазации.
2. Интенсификация газоотдачи при сниженной проницаемости.
3. Опережающий характер дегазационных мероприятий.
4. Интеграция цифрового мониторинга и прогнозирования.
5. Оптимизация технико-экономических показателей.[4]

Таким образом, тексты, созданные ИИ, благодаря своей структурной организованности и способности к систематизации технической информации, могут эффективно использоваться для разработки инженерных рекомендаций. При этом обязательным условием их практического применения остается экспертная оценка и адаптация к конкретным горно-геологическим условиям.

Использованные источники:

1. OpenAI. Research and publications on large language models and AI systems.
2. International Energy Agency. Reports on methane emissions and coal mining technologies.
3. International Journal of Coal Geology. Publications on coalbed methane and gas drainage.
4. Горный журнал. Статьи по вопросам дегазации угольных пластов.

## БАЛҚАШ КӨЛІ ЖАҒАЛАУЫНЫҢ ГЕОЭКОЛОГИЯЛЫҚ МОНИТОРИНГІ

Балқаш көлі Қазақстанның оңтүстік-шығысындағы Балқаш-Алакөл ойысында, теңіз деңгейі шамен алғанда 340 м биіктікте орналасқан тұйық көл. Балқаш көлі негізінен Жамбыл облыстарының шегінде, Жетісу, Алматы және Қарағанды, солтүстігінде Сарыарқамен, батысында Бетпақдаламен, оңтүстігінде Шу-Іле тауларымен шектеседі. Балқаш көлінің тереңдігі 26 метрге дейін жетеді. Бұл көлдің басты ерекшегін сипаттасақ, оның суының түрлі минерализациясында және батыс бөлігі тұщы су, ал шығыс бөлігі тұзды сулы.

Тағы айта кететін ақпараттардың бірі Балқаш көлінің жағасында ең ірі қаланың бірі- Балқаш қаласы. Балқаш қаласы Қарағанды қаласынан 380 км қашықтықта орналасқан. Балқаш көл жай көл емес, бұл көлдің жағадауында адамдар демалуға да келеді, яғни Балқаш көлінің жағалауында жылына 4 мыңнан астам демалады.

Балқаш көлі жағалауының ластануы өзекті геоэкологиялық мәселелердің бірі болып табылады. Соңғы жылдары, әсіресе туристік маусым кезінде жиілей түсетін мәселе. Көл жағасы негізінен адамдардың жауапсыздығынан, тұрмыстық қалдықтардан және өндірістік қалдықтарынан ластануда. Балқаш қаласындағы түсті металлургия кәсіпорындары мен энергетикалық нысандардың әсерінен су құрамы ауыр металдармен ластанған. Оңтүстік-шығыс бөлігінде кәріз және тұрмыстық қалдықтардың көлге тікелей құйылуы тіркелген [1].



а)



б)

1-сурет- Ғарыштық суреттер:

Балқаш көлінің бұрынғы жағдайы, 2005 жыл (а)

Балқаш көлінің кейінгі жылдардағы жағдайы, 2025 жыл (б)

Балқаш көлінің бұл ғарыштық суреттерін талдай келе, 1-суреттің а) және б) нұсқасын салыстыру арқылы, 2005 жылға қарағанда 2025 жылы бірқатар өзгерістер орын алғанын көруге болады: көлдің ауданы кей жерлерде тарылған. Көлдің түсінің өзі ашық көк түстен де қою жасыл түске өзгерген. 2005 жылы су деңгейінің жоғары, экологиялық жағдайы да жақсы болғанын көрсетсе, 2025 жылы керсінше судың азайғаны және тұздану мен ластанудың артқаны анық байқалуда. Негізгі себептерінің бірі: Іле өзенінен судың көп алынуы, қуаңшылық жылдардың көбеюі, өнеркәсіптің және ауыл шаруашылығы дамуының әсері, климаттың жылынуы [2,3].

Балқаш көлі жағалауының ластануы табиғи экожүйеге елеулі зиян келтіріп, су сапасының төмендеуіне және биоалуантүрліліктің азаюына әкелуде. Бұл мәселені шешу үшін өнеркәсіптік қалдықтарды қатаң бақылау, жағалау аумағында тазалық сақтау шараларын күшейту және су ресурстарын ұтымды пайдалану қажет. Сонымен қатар, геоэкологиялық мониторингті тұрақты жүргізу және халықтың экологиялық мәдениетін арттыру көлді қорғаудың маңызды жолы болып табылады.

#### ***Пайдаланылған әдебиеттер тізімі***

1. Қазақстан Республикасының Экология және табиғи ресурстар министрлігі. Балқаш көлінің экологиялық ахуалы туралы есеп. - 2020ж.

2. Мезенцева, О. В. Исследование увлажнения территории Северного Казахстана на основе спутниковых снимков / О. В. Мезенцева, А. А. Кусаинова, В. Ю. Касаткин // Геодезия, землеустройство и кадастры: проблемы и перспективы развития : сборник научных трудов по материалам V Международной научно-практической конференции, посвященной 105-летию юбилею кафедры геодезии и дистанционного зондирования, Омск, 30 марта 2023 года. – Омск: ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2023. – С. 74-78.

3. NASA. Landsat спутниктік деректері (Балқаш көлі). - 2005-2025 жж.

## СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕНДЫ РАЗВИТИЯ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

Горно-металлургический комплекс (ГМК) является одним из ключевых секторов мировой и национальной экономики, обеспечивающим добычу, переработку и производство металлов и горнорудного сырья. В условиях стремительного развития цифровой экономики отрасль переживает глубокую трансформацию, обусловленную как внешними вызовами — геополитической нестабильностью, декарбонизацией, дефицитом критических минералов, — так и внутренними потребностями в повышении эффективности, безопасности и устойчивости производственных процессов.

Современные вызовы горно-металлургического комплекса

Среди ключевых вызовов, стоящих перед ГМК, особое место занимают: истощение легкодоступных месторождений и переход к разработке глубокозалегающих запасов; ужесточение экологических требований и необходимость перехода на принципы «зелёной» металлургии; острая нехватка квалифицированных кадров и рост травматизма на производстве; волатильность цен на металлы и энергоносители; необходимость соответствия глобальным ESG-стандартам.

Особую актуальность приобретает вопрос обеспечения критически важными минералами — литием, кобальтом, редкоземельными элементами, — спрос на которые резко возрастает в связи с глобальным энергетическим переходом и электрификацией транспорта. Одновременно усиливается конкуренция за ресурсы между ведущими мировыми державами, что формирует новые геополитические риски для горнодобывающих компаний [1].

Промышленный интернет вещей (IIoT) и интеллектуальный мониторинг. Оснащение горной техники и обогащательного оборудования сенсорами позволяет в режиме реального времени контролировать состояние активов, прогнозировать отказы оборудования и минимизировать внеплановые простои за счёт технологии предиктивного обслуживания [2].

Искусственный интеллект и большие данные (Big Data). Применение алгоритмов машинного обучения для анализа геологических данных, оптимизации технологических режимов обогащения руд и прогнозирования качества продукции обеспечивает существенный прирост извлечения ценных компонентов и снижение удельных затрат на переработку [3].

Автономная и роботизированная техника. Внедрение беспилотных карьерных самосвалов, автономных буровых установок и



роботизированных систем крепления выработок повышает производительность труда, снижает травматизм и позволяет вести работу в опасных зонах без участия человека.

Цифровые двойники. Создание цифровых копий месторождений и металлургических агрегатов открывает возможности для виртуального моделирования производственных сценариев, оптимизации горнотехнических решений до их физической реализации и сокращения капитальных затрат на проектирование [4].

Технологии «зелёной» металлургии. Разработка и внедрение водородного восстановления металлов, электролитических методов плавки и замкнутых водооборотных циклов позволяют существенно сократить углеродный след предприятий и соответствовать международным климатическим обязательствам.

Условия эффективной цифровой трансформации

Успешная реализация цифровой трансформации ГМК требует комплексного подхода, включающего развитие цифровой инфраструктуры (высокоскоростные сети связи, облачные вычисления), формирование корпоративных центров компетенций, подготовку кадров с компетенциями на стыке горного дела и информационных технологий, а также выстраивание государственно-частного партнёрства в области регулирования и стандартизации цифровых решений. Немаловажную роль играет обеспечение кибербезопасности производственных систем, поскольку цифровизация расширяет поверхность атак на критическую инфраструктуру предприятий [5].

Заключение

Таким образом, цифровая трансформация горно-металлургического комплекса представляет собой системный долгосрочный процесс, охватывающий все уровни производственной цепочки. Компании, своевременно осуществившие цифровой переход, получают устойчивые конкурентные преимущества: снижение себестоимости продукции, повышение безопасности труда, улучшение экологических показателей. В условиях нарастающей глобальной конкуренции за ресурсы и ужесточения климатического регулирования интеграция передовых цифровых технологий становится императивом устойчивого развития отрасли.

*Список использованных источников*

1. Голубев В.С., Меренков А.П. Цифровая трансформация горнодобывающей отрасли: вызовы и перспективы // Горный журнал. – 2022. – № 4. – С. 12–18.
2. Смирнов А.Н., Петров Д.В. Промышленный интернет вещей в металлургии // Металлург. – 2023. – № 2. – С. 45–52.
3. Иванов И.В. Применение искусственного интеллекта в горном производстве. – М.: Недра, 2023. – 214 с.
4. Козлов В.К., Федоров С.А. Цифровые двойники в горно-металлургической промышленности // Цветные металлы. – 2022. – № 7. – С. 33–39.
5. World Economic Forum. Mining and Metals in a Sustainable World 2050. – Geneva: WEF, 2023. – 96 p.

## ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ТЕРМИНОЛОГИЯ ГОРНЫХ ИНЖЕНЕРОВ И ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ КОММУНИКАЦИИ

Горнодобывающая отрасль является одной из базовых сфер промышленного развития Казахстана. Эффективность функционирования предприятий горного профиля напрямую зависит не только от уровня технической оснащённости, но и от качества профессиональной коммуникации специалистов. В условиях усложнения технологических процессов, автоматизации и цифровизации производства особую значимость приобретает профессиональная терминология как инструмент точной передачи специализированной информации.

Профессиональный язык горных инженеров представляет собой систематизированный комплекс терминов, обеспечивающий единство понимания производственных задач, координацию действий персонала и соблюдение норм промышленной безопасности.

Профессиональная терминология горных инженеров формируется на основе научных понятий геологии, маркшейдерии, горной механики, взрывного дела и обогащения полезных ископаемых. Она характеризуется:

- высокой степенью точности;
- однозначностью трактовки терминов;
- нормативностью и стандартизованностью;
- связью с технологическими регламентами.

Каждый термин выполняет номинативную функцию - обозначает конкретный процесс, объект или параметр. Например, термины, связанные с креплением выработок, вентиляцией шахт или буровзрывными работами, имеют строго закреплённые значения.

Стандартизация терминологии позволяет унифицировать документацию, проектные решения и производственные инструкции. Это особенно важно при взаимодействии различных подразделений предприятия [1].

Одним из ключевых аргументов является роль профессионального языка в обеспечении промышленной безопасности. В горной промышленности даже незначительное искажение информации может привести к серьёзным последствиям.

Точная формулировка распоряжений, корректное использование технических обозначений и единиц измерения позволяют:

- минимизировать риск аварийных ситуаций;
- обеспечить правильное выполнение технологических операций;
- сократить вероятность производственного травматизма.

В условиях подземных работ оперативность и ясность коммуникации являются критически важными факторами. Следовательно, профессиональная терминология выполняет не только информационную, но и защитную функцию [2].

Производственная коммуникация в горнодобывающей отрасли включает вертикальные и горизонтальные связи между инженерно-техническими работниками, мастерами и рабочими.

Она выполняет следующие функции:

- организационную (координация действий персонала);
- регламентирующую (соблюдение норм и стандартов);
- аналитическую (обсуждение технических решений);
- контрольную (оценка выполнения производственных задач).

Эффективная коммуникация способствует повышению дисциплины труда и сокращению производственных простоев. Использование унифицированной терминологии облегчает обмен информацией между специалистами разных уровней квалификации [3].

Современные процессы цифровизации существенно трансформируют профессиональный язык горных инженеров. Внедрение автоматизированных систем управления, цифровых моделей месторождений, систем дистанционного мониторинга приводит к появлению новых терминов и понятий.

Расширение лексического состава происходит за счёт:

- заимствований из сферы информационных технологий;
- англоязычных технических терминов;
- новых понятий, связанных с автоматизацией процессов.

Это требует адаптации специалистов к обновляющейся терминологической базе и постоянного повышения квалификации [4].

Таким образом, профессиональная терминология горных инженеров является важнейшим инструментом производственной коммуникации. Она обеспечивает точность передачи информации, способствует повышению уровня безопасности и оптимизации технологических процессов. В условиях цифровой трансформации значение профессионального языка возрастает, что требует его систематизации, стандартизации и научного изучения.

Развитие культуры профессиональной речи является необходимым условием устойчивого функционирования горнодобывающих предприятий и повышения их конкурентоспособности.

#### **Список использованных источников**

1. Государственный стандарт Республики Казахстан. Термины и определения в горной промышленности. – Астана, 2018.
2. Абдрахманов С. А. Основы горного дела. – Караганда : КарГТУ, 2020. – 310 с.
3. Жарменов А. А. Технологии горного производства. – Алматы : КазНИТУ, 2019. – 285 с.
4. Касымов Е. Ж. Профессиональная коммуникация в технических специальностях // Вестник науки Казахстана. – 2021. – № 4. – С. 45–50.

## ПРИРОДНЫЙ ВОДОРОД В ШАХТАХ МИРА: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

В последние годы природный молекулярный водород ( $H_2$ ) рассматривается как новый объект геологических и энергетических исследований. Особый интерес представляют его проявления в подземных горных выработках, где водород фиксируется в виде постоянных или импульсных газовыделений. Шахты предоставляют уникальную возможность прямых наблюдений за миграцией глубинных флюидов, позволяя изучать механизмы генерации водорода, связанные с серпентинизацией ультраосновных пород, радиолизом воды и окислительно-восстановительными реакциями в кристаллическом фундаменте [1-2]. На сегодняшний день выходы природного водорода зарегистрированы в ряде горных районов мира, включая шахты Европы, Азии, Африки и Северной Америки. Наиболее известные случаи описаны в районе Буракебугу (Мали), а также в угольных и металлических шахтах Россия, Канада и Австралия. Эти наблюдения подтверждают глобальный характер явления и указывают на то, что шахты могут служить естественными «окнами» для изучения глубинного водородного цикла Земли.

За последние годы накоплен ряд убедительных свидетельств существования значительных аккумуляций природного водорода в подземных горных выработках, что подтверждает глобальный характер данного явления. На хромитовой шахте Булькиза в Албания выявлен наиболее продуктивный на сегодняшний день шахтный источник  $H_2$  с годовой генерацией не менее ~200 т. Исследования под руководством Лоран Трюш (Университет Гренобль-Альпы) показали, что на глубине около 1 км присутствует водоносный резервуар, из которого выделяется газ с концентрацией водорода до ~84%. Месторождение приурочено к офиолитовым комплексам, где серпентинизация ультраосновных пород рассматривается как основной механизм генерации  $H_2$ . Оценочные ресурсы водорода в пределах объекта составляют 5–50 тыс. тонн, что допускает его потенциальное локальное энергетическое использование [3].

Значимый пример из Западной Африки связан с районом Буракебугу в Мали, где после аварийного выброса газа в начале 2000-х годов было установлено, что выделившаяся смесь содержала около 98% молекулярного водорода. Последующие исследования подтвердили наличие подземного резервуара объемом порядка 1,4 млн кг  $H_2$  при площади распространения около 8 км<sup>2</sup>. Показано, что водород формируется *in situ* в результате взаимодействия воды с железосодержащими минералами и продолжает

генерироваться за счёт процессов серпентинизации. Экономические оценки указывают на потенциально низкую себестоимость добычи (~0,5 долл./кг), что существенно ниже показателей для «зелёного» и «синего» водорода [4].

Признаки выделения молекулярного водорода зафиксированы также на территории Казахстана в ряде подземных горных выработок. В частности, газовые проявления отмечаются на хромитовых и полиметаллических объектах, включая шахту Болашак (Актюбинский регион), приуроченную к ультраосновным породам офиолитового типа. Геологическая обстановка месторождения характеризуется развитием разломных зон и присутствием железосодержащих минералов, что создаёт благоприятные условия для генерации водорода в результате реакций воды с породами (серпентинизация). Наблюдаемые газовыделения подтверждают перспективность территории Казахстана как потенциального региона формирования природных водородных систем и указывают на необходимость целенаправленных геохимических и газогеологических исследований в шахтных условиях [5]. Обзор мировых данных показывает, что проявления природного молекулярного водорода в шахтах имеют глобальный характер и приурочены преимущественно к офиолитовым комплексам, разломным зонам и кристаллическому фундаменту. Примеры из Албании, Мали, Франции и Казахстана демонстрируют широкий диапазон масштабов — от локальных газовыделений до крупных аккумуляций с ресурсами в миллионы тонн. Основными механизмами генерации  $H_2$  рассматриваются серпентинизация ультраосновных пород, взаимодействие воды с железосодержащими минералами и глубинные окислительно-восстановительные процессы.

Полученные результаты указывают на ранее недооценённый потенциал шахт как естественных «окон» для изучения глубинного водородного цикла Земли. Природный водород может рассматриваться как перспективный компонент будущей низкоуглеродной энергетики, особенно в регионах с благоприятной геологической обстановкой. Дальнейшие исследования должны быть направлены на количественную оценку ресурсов, изучение механизмов миграции газа и разработку безопасных технологий его извлечения в условиях действующих и заброшенных горных выработок.

#### Список использованных источников

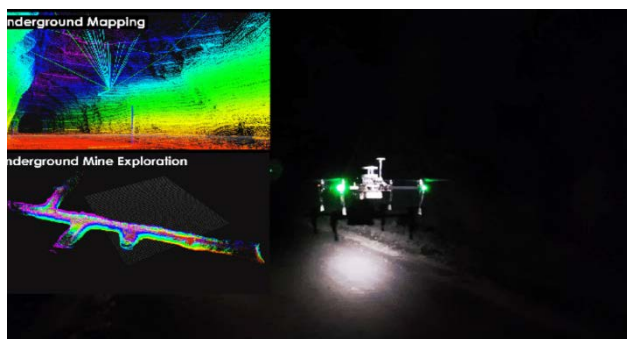
1. C. Greening, A. Biswas, C. R. Carere, C. J. Jackson, M. C. Taylor, M. B. Stott, G. M. Cook, S. E. Morales, Genomic and metagenomic surveys of hydrogenase distribution indicate  $H_2$  is a widely utilised energy source for microbial growth and survival. *ISME J.* 10, 761–777 (2016).
2. V. Zgonnik, The occurrence and geoscience of natural hydrogen: A comprehensive review. *Earth Sci. Rev.* 203, 103140 (2020).
3. Truche, L., Donzé, F.-V., Gskolli, E., Muceku, B., Loisy, C., Monnin, C., Dutoit, H., & Cerepi, A. (2024). A deep reservoir for hydrogen drives intense degassing in the Bulqizë ophiolite. *Science*, 383(6683), 618–621. <https://doi.org/10.1126/science.adk9099>
4. UNIAN. Месторождение чистейшего водорода в Африке может навсегда избавить мир от газа и нефти. <https://www.unian.net> (дата обращения: 17.02.2026).
5. Kazchrome (АО «ТНК Казхром»). Официальный сайт компании. <https://www.kazchrome.com/> (дата обращения: 17.02.2026).

## ЖЕР АСТЫ КЕНІШТЕРІНДЕ ДРОНДАР МЕН РОБОТТАРДЫ ҚОЛДАНУДЫҢ ЦИФРЛЫҚ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІ

Жер асты кеніштерінде дрондар мен роботтарды қолданудың цифрлық басқару жүйесі – тау-кен өндірісін заманауи технологиялар арқылы жаңғыртудың маңызды бағыты болып табылады. Жер асты өндірісі әрдайым жоғары қауіп деңгейімен сипатталады: тау жыныстарының опырылуы, метан мен басқа да улы газдардың жиналуы, жоғары температура, шектеулі кеңістік және күрделі геологиялық жағдайлар жұмысшылардың өмірі мен денсаулығына қауіп төндіреді. Сондықтан соңғы жылдары әлемдік тәжірибеде жер асты кеніштерін автоматтандыру мен роботтандыруға ерекше назар аударылуда. Бұл процестің негізінде бірыңғай цифрлық басқару жүйесі жатыр [1]. Цифрлық басқару жүйесі – дрондар, автономды роботтар, сенсорлар және бағдарламалық қамтамасыз ету арқылы жер асты өндірісін қашықтан бақылап, нақты уақыт режимінде басқаруға мүмкіндік беретін кешенді ақпараттық-интеллектуалды платформа. Мұндай жүйе бірнеше деңгейден тұрады. Бірінші деңгейде әртүрлі датчиктер мен сенсорлар орналасады. Олар температураны, ылғалдылықты, қысымды, дірілді, газ концентрациясын және басқа да маңызды параметрлерді үздіксіз өлшейді. Бұл деректер арнайы байланыс арналары арқылы орталық серверге жіберіледі. Екінші деңгей – автономды құрылғылар, яғни дрондар мен роботтар. Үшінші деңгей – деректерді өңдеу және талдау орталығы. Мұнда үлкен көлемдегі ақпарат Big Data технологиялары арқылы талданып, жасанды интеллект алгоритмдері негізінде шешім қабылданады [2]. Төртінші деңгей – диспетчерлік басқару интерфейсі, онда операторлар барлық өндірістік процесті экрандар арқылы бақылайды. Жер асты дрондары негізінен барлау және мониторинг жұмыстарында қолданылады. Олар қауіпті аймақтарға адам кірмей тұрып, алдын ала зерттеу жүргізеді. Мысалы, опырылу болған немесе газ жиналуы мүмкін учаскелерді тексеру кезінде дрондар жоғары дәлдіктегі камералар мен LIDAR жүйелері арқылы туннельдердің үш өлшемді картасын жасайды. Бұл технология кеніштің цифрлық моделін құруға мүмкіндік береді (1.1 сурет). Цифрлық модель өндірісті жоспарлауда, қауіп аймақтарын анықтауда және тау жыныстарының тұрақтылығын бағалауда аса маңызды рөл атқарады. Сонымен қатар дрондар желдету жүйесінің тиімділігін бақылап, газ концентрациясын өлшей алады. Жер асты роботтары да өндірісте кеңінен қолданылуда. Инспекциялық роботтар тау-кен жабдықтарының жағдайын тексеріп, ақауларды анықтайды. Автономды бұрғылау қондырғылары берілген бағдарлама бойынша дәл және тұрақты бұрғылау жұмыстарын жүргізеді. Жүк тасымалдаушы роботталған

техникалар кен массасын тиеп, белгіленген бағыт бойынша өздігінен қозғалады. Мұндай техникалар навигациялық жүйелер мен сенсорлар арқылы кедергілерді анықтап, соқтығысудың алдын алады. Кейбір роботтар апат жағдайында құтқару операцияларына да қатыса алады, яғни қауіпті ортада барлау жүргізіп, жағдайды бағалайды [3].

Жасанды интеллект технологиялары тау-кен өндірісінде ерекше рөл атқарады. Машиналық оқыту алгоритмдері кен сапасын болжауға, жабдықтардың тозу деңгейін анықтауға және апаттық жағдайлардың ықтималдығын есептеуге мүмкіндік береді. Бұл алдын ала техникалық қызмет көрсету жүйесін енгізуге жағдай жасап, жабдықтардың істен шығуынан болатын шығындарды азайтады. Сонымен бірге өндірістік жоспарлау мен логистиканы оңтайландыру арқылы кәсіпорындардың экономикалық тиімділігі артады [4].



### 1.1 Сурет – Роботтармен цифрландырудың негізі ерекшеліктері

Қазақстанда жер асты кеніштерін цифрландыру бағытында алғашқы қадамдар жасалуда. Ірі тау-кен кәсіпорындары өндірісті автоматтандыру, мониторинг жүйелерін енгізу және интеллектуалды талдау құралдарын қолдану бойынша жобаларды жүзеге асыруда. Бұл үрдіс болашақта толық автономды «ақылды кеніштерге» көшуге негіз қалайды. Қорытындылай келе, жер асты кеніштерінде дрондар мен роботтарды қолданудың цифрлық басқару жүйесі – өндірістің қауіпсіздігін, тиімділігін және тұрақтылығын арттыратын инновациялық шешім. Мұндай технологиялар адам факторын азайтып, тәуекелдерді төмендетеді, өндірістік процестерді нақты уақыт режимінде бақылауға мүмкіндік береді. Алдағы жылдары жасанды интеллект, цифрлық егіз және толық автономды жүйелердің дамуы жер асты тау-кен өндірісін жаңа сапалы деңгейге көтеретіні сөзсіз [5].

*Қолданылған әдебиеттер тізімі*

1. Introduction to Artificial Neural Networks. – St. Paul: West Publishing Company, 1992.
2. Deep Learning. – Cambridge: MIT Press, 2016.
3. Society for Mining Metallurgy and Exploration. Mining Engineering Handbook. – 3rd ed. – Littleton, CO, 2011.
4. International Council on Mining and Metals. Digital Transformation in Mining Report. – London, 2020.
5. International Organization for Standardization. ISO 22400-2:2014 Automation systems and integration – Key performance indicators for manufacturing operations management. – Geneva, 2014.

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ВЫЗОВЫ И КОНЦЕПЦИЯ «ЗЕЛЕННОГО ГОРНОГО ДЕЛА»

Горнодобывающая промышленность Казахстана находится под давлением экологических вызовов, таких как загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами, деградация земель и потеря биоразнообразия. Эти проблемы усугубляются недостаточным внедрением современных экологических стандартов, что требует внимательного анализа и поиска путей решения. Концепция 'Зеленого горного дела' предлагает интеграцию экологической безопасности в процессы добычи, что может помочь в преодолении существующих трудностей.

Актуальность данной темы определяется необходимостью адаптации горнодобывающей отрасли к современным требованиям устойчивого развития и международным стандартам, что важно для достижения национальных целей в рамках стратегии 'Казахстан-2050' и Парижского соглашения. Цель данного исследования заключается в анализе существующих экологических вызовов и оценке возможностей внедрения концепции 'Зеленого горного дела' в Казахстане. Проблема заключается в недостаточной реализации экологических инициатив и отсутствия четкой стратегии, направленной на гармонизацию экономических и экологических интересов.

задачи: во-первых, провести анализ текущего состояния экологической ситуации в горнодобывающей отрасли Казахстана; во-вторых, оценить международный опыт внедрения 'Зеленого горного дела' и его применимость в условиях Республики Казахстан; в-третьих, разработать рекомендации по улучшению экологической политики в горнодобывающем секторе. Методология исследования включает в себя как качественные, так и количественные методы, что позволит получить полное представление о ситуации и выявить ключевые аспекты для дальнейшего анализа.

Казахстан обладает огромным потенциалом в добыче «критических металлов» (литий, кобальт, никель), необходимых для глобального энергетического перехода. Однако, чтобы продавать эти металлы производителям электрокаров (вроде Tesla или BYD), РК обязана доказать, что добыча велась экологичным способом.

«Зеленое горное дело» превращается из экологической инициативы в обязательный входной билет на глобальный рынок.

Научная новизна исследования заключается в комплексном подходе к оценке экологических вызовов ГМК Казахстана через призму цифровой трансформации. В работе обосновано, что внедрение «зеленых» технологий невозможно без интеграции цифровых систем мониторинга, а также



предложена авторская интерпретация адаптации международных стандартов ESG (Environmental, Social, and Governance) к специфике локальных горнодобывающих регионов страны.

Информационную базу исследования составили официальные данные Бюро национальной статистики АСПиР РК, отчеты международных организаций (МСБМ, ОЭСР), экологические кодексы и нормативно-правовые акты Республики Казахстан, а также данные годовой отчетности ведущих горнодобывающих компаний страны («Казатомпром», «Казахмыс», «ERG»).

Объектом исследования являются процессы и технологии, используемые в горнодобывающей промышленности Казахстана, а также связанные с ними экологические аспекты. Важным аспектом является анализ взаимодействия между государственными органами, горнодобывающими компаниями и местными сообществами, что позволит выявить существующие барьеры и возможности для внедрения 'Зеленого горного дела'. Таким образом, данное исследование направлено на создание научно обоснованных рекомендаций, способствующих устойчивому развитию горнодобывающего сектора в Казахстане.

| Направление                 | Описание                                                                                                                      |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Цифровизация (Smart Mining) | Использование ИИ и Big Data для оптимизации маршрутов самосвалов, что снижает расход топлива и выбросы $CO_2$                 |
| Циркулярная экономика       | Переработка техногенных отходов для извлечения ценных компонентов (редкоземов) и использование хвостов в строительстве дорог. |
| ВИЭ и Электрификация        | Переход на электроприводную технику и строительство солнечных/ветровых станций для питания рудников.                          |
| Управление водным циклом    | Внедрение систем замкнутого водооборота, исключающих сброс очищенных вод в природные водоемы.                                 |

#### Список использованных источников:

1. Стратегия достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года, утвержденная Указом Президента РК от 2 февраля 2023 года.
2. Отчет о деятельности горнодобывающей промышленности Казахстана. — Бюро национальной статистики АСПиР РК, 2023.
3. Галиев, С. К. Инновационные технологии в горном деле Казахстана: переход к Индустрии 4.0 и «Зеленому росту» / С. К. Галиев, А. М. Газалиев. — Алматы: Гылым, 2021.
4. Нурлыбаева, А. С. Экономика природопользования и устойчивое развитие горнодобывающих регионов Казахстана. — Караганда, 2020.
5. Национальный доклад о состоянии окружающей среды и об использовании природных ресурсов Республики Казахстан. — Астана, 2023.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Автоматизация горных работ является одним из ключевых направлений технологического развития современной горнодобывающей промышленности. В условиях усложнения горно-геологических условий, увеличения глубины разработки месторождений и роста требований к безопасности труда внедрение автоматизированных и цифровых решений становится стратегической необходимостью. Современные технологии позволяют существенно повысить производительность, снизить издержки и минимизировать влияние человеческого фактора.

Развитие автоматизации в горной отрасли тесно связано с концепцией «Индустрия 4.0», предусматривающей интеграцию интеллектуальных систем управления, датчиков, программного обеспечения и автономной техники. Крупнейшие мировые компании, такие как Caterpillar Inc., Komatsu Ltd. и Sandvik AB, активно разрабатывают и внедряют автономные карьерные самосвалы, буровые установки и системы дистанционного управления оборудованием.

Основными направлениями автоматизации горных работ являются:

1. Автоматизация буровзрывных работ. Применение автоматизированных буровых станков позволяет обеспечить высокую точность бурения скважин, оптимизировать параметры сетки бурения и снизить расход взрывчатых веществ. Использование GPS-навигации и систем позиционирования повышает точность выполнения проектных решений.

2. Автономный транспорт. Беспилотные карьерные самосвалы функционируют на основе систем машинного зрения, лидаров и бортовых вычислительных комплексов. Они обеспечивают круглосуточную работу без снижения производительности, уменьшая риск аварийных ситуаций.

3. Дистанционное управление и телеметрия. Операторы могут управлять техникой из безопасных диспетчерских центров. Системы мониторинга в реальном времени позволяют контролировать техническое состояние оборудования, расход топлива и производственные показатели.

4. Интеллектуальные системы управления производством. Программные комплексы осуществляют сбор и анализ больших массивов данных (Big Data), формируют отчёты, прогнозируют износ оборудования и планируют техническое обслуживание.

Ниже представлена таблица, отражающая влияние автоматизации на основные производственные показатели.

Таблица 1 – Влияние автоматизации на эффективность горных работ

| Показатель эффективности        | До автоматизации                                      | После автоматизации                                                   |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Производительность труда        | Средний уровень, зависимость от человеческого фактора | Рост на 15–30 %, стабильная работа оборудования                       |
| Уровень производственных рисков | Повышенный, присутствие персонала в опасных зонах     | Существенное снижение за счёт дистанционного и автономного управления |
| Эксплуатационные затраты        | Высокие затраты на топливо и ремонт                   | Снижение затрат на 10–20 % благодаря оптимизации процессов            |

Экономический эффект от внедрения автоматизации выражается в повышении производительности, снижении себестоимости добычи и уменьшении влияния человеческого фактора. Кроме того, автоматизация способствует улучшению экологической безопасности за счёт более точного контроля выбросов, пылеобразования и использования ресурсов.

Таким образом, автоматизация в горном деле является стратегическим направлением развития отрасли. Внедрение современных цифровых и роботизированных технологий позволяет обеспечить безопасность работников, повысить эффективность производства и конкурентоспособность горнодобывающих предприятий в условиях глобального рынка.

*Список использованных источников*

1. Мельников Н.Н. Автоматизация и цифровизация горных работ: учебное пособие для вузов. — М.: Горная книга, 2021. — 256 с.
2. Иванов А.А., Петров В.С. Применение автономного транспорта в карьерах // Горный журнал. — 2022. — № 5. — С. 45–52.
3. Caterpillar Inc.. Autonomous haulage systems [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.caterpillar.com/> (дата обращения: 03.03.2026).
4. Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан. Об утверждении Правил обеспечения промышленной безопасности при ведении горных работ: приказ Министра по чрезвычайным ситуациям РК. — Астана, 2022.

## ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРНОЙ ОБСТАНОВКИ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Угольная промышленность играет стратегическую роль в энергетической системе Республики Казахстан и обеспечивает значительную долю производства электроэнергии. Однако добыча угля относится к числу наиболее опасных видов промышленной деятельности и сопровождается высоким уровнем техногенных рисков. К наиболее опасным аварийным явлениям на угольных шахтах относятся эндогенные пожары, возникающие вследствие процессов самонагревания и самовозгорания угля, а также взрывы метановоздушных смесей.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения уровня промышленной безопасности на предприятиях угольной отрасли. Анализ аварийности показывает, что шахты остаются объектами повышенного риска. Так, в октябре 2023 года на шахте имени Костенко в Карагандинской области произошла крупная авария, вызванная взрывом метана, в результате которой погибли 45 шахтеров [1]. В том же году пожар на шахте «Казахстанская» привел к гибели пяти человек и длительной остановке производственного процесса [2]. Ранее, в 2021 году, на шахте «Абайская» произошел выброс метана, в результате которого погибли шесть работников [3]. Статистика подобных аварий свидетельствует о необходимости внедрения современных методов мониторинга и прогнозирования опасных процессов в шахтном пространстве.

Теоретической основой формирования пожарной опасности на угольных шахтах являются процессы низкотемпературного окисления угля. При поступлении кислорода в угольный массив происходят экзотермические реакции, сопровождающиеся выделением тепла. При недостаточном теплоотводе температура угольного пласта повышается, что может привести к самонагреванию и последующему самовозгоранию. На развитие данных процессов влияют геологическое строение пласта, степень трещиноватости массива, глубина залегания, газообильность и параметры вентиляционного режима [4].

Исходя из указанных факторов, для повышения эффективности системы промышленной безопасности предлагается использование цифрового моделирования пожарной обстановки на угольных шахтах. Данный подход предполагает интеграцию геологических, газодинамических и вентиляционных данных в единую цифровую модель шахтного пространства. Использование такой модели позволит сформировать комплексную информационную базу параметров шахтного поля, выявить

участки повышенной пожарной опасности и охарактеризовать динамику изменения ключевых показателей риска.

Предлагаемая модель основывается на анализе геологических характеристик пласта, концентрации метана в горных выработках, распределения температур в угольном массиве и параметров вентиляции. На основе совокупности этих данных формируется интегральный показатель пожарного риска, позволяющий ранжировать участки шахтного поля по степени опасности и выявлять температурные аномалии на ранних стадиях самонагревания угля [5]. Преимуществом цифрового моделирования по сравнению с традиционными методами контроля является возможность непрерывного анализа параметров шахтной среды. Автоматизированная система мониторинга позволяет оперативно выявлять отклонения технологических параметров и формировать предупреждения о потенциальной аварийной ситуации. Это способствует переходу от реактивной системы реагирования к превентивному управлению промышленными рисками.

Практическая значимость предлагаемого подхода заключается в снижении вероятности возникновения эндогенных пожаров, сокращении аварийных простоев и повышении уровня охраны труда на горнодобывающих предприятиях. Таким образом, цифровое моделирование пожарной обстановки является перспективным инструментом повышения промышленной безопасности и формирования системы раннего выявления опасных процессов на угольных шахтах.

*Список использованных источников*

- 1 Авария на шахте имени Костенко в Карагандинской области // РБК : информационный портал. — Москва, 2023. — URL: <https://www.rbc.ru/rbcfreenews/653e6ca49a794732418764f4>.
- 2 Пожар на шахте «Казахстанская» в Карагандинской области // Lada.kz : информационный портал. — Актау, 2023. — URL: <https://www.lada.kz/kazakhstan-news/113843-ogon-v-shahte-kazahstanskaya-perekinulsya-na-ugolnye-plasty.html>.
- 3 Авария на шахте «Абайская» (выброс метана) // РБК : новостной портал. — Москва, 2021. — URL: <https://www.rbc.ru/rbcfreenews/618760cf9a7947d5644c7ed5>.
- 4 Digital twin-driven intelligent prediction and control model for coal mine ventilation systems // Scientific Reports : научный журнал. — London : Nature Publishing Group, 2025. — URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-025-30513-4>.
- 5 Забурдяев, В. С. Технологические решения по снижению метановой опасности в угольных шахтах : монография / В. С. Забурдяев. — Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. — с. 43-64.

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОЖАРНЫХ РИСКОВ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Угольные шахты относятся к объектам повышенной техногенной опасности, где формирование пожароопасной обстановки обусловлено совокупностью геологических, газодинамических и термодинамических факторов. Основной причиной возникновения эндогенных пожаров является процесс самонагревания угля, связанный с его окислением в условиях повышенной температуры и ограниченного воздухообмена. В современных условиях увеличения глубины горных работ возрастает горное давление, метанообильность пластов и интенсивность окислительных процессов, что значительно повышает вероятность возникновения пожаров.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки методов прогнозирования пожароопасных процессов на ранних стадиях их формирования. Например, в 2023 году на шахте имени Костенко произошла крупная авария, сопровождавшаяся взрывом метана и пожаром, что подтверждает необходимость совершенствования систем прогнозирования и мониторинга опасных процессов [1]. Для решения данной проблемы предлагается использование многофакторной модели прогнозирования пожарных рисков, основанной на анализе геологических и газодинамических данных.

В рамках исследования учитываются следующие параметры: температура угольного массива ( $T$ ); концентрация метана ( $CH_4$ ); скорость вентиляционного потока ( $V$ ); геологические характеристики пласта ( $G$ ), включая глубину залегания и степень трещиноватости пород. Интегральный показатель пожарного риска определяется с использованием формулы модели взвешенной оценки факторов:

$$R=0,35T+0,30CH_4-0,20V+0,15G \quad [2]$$

где,  $R$  — интегральный показатель пожарного риска;  $T$  — температура массива, °C;  $CH_4$  — концентрация метана, %;  $V$  — скорость вентиляционного потока, м/с;  $G$  — коэффициент геологических условий.

Для демонстрации работы модели рассмотрим условный участок шахты со следующими параметрами:  $T = 40$  °C;  $CH_4 = 1,8$  %;  $V = 1,2$  м/с;  $G = 3$ . Подставляя значения в формулу, получаем:

$$R = 0,35 \times 40 + 0,30 \times 1,8 - 0,20 \times 1,2 + 0,15 \times 3$$

$$R = 14 + 0,54 - 0,24 + 0,45 = 14,75$$

Полученный результат позволяет определить уровень пожарной опасности на исследуемом участке. Для интерпретации значений используется градация уровней риска [3].

*Таблица 1. Градация уровней риска.*

| Значение R       | Уровень риска | Характеристика                          |
|------------------|---------------|-----------------------------------------|
| $R < 8$          | Низкий        | стабильные условия                      |
| $8 \leq R < 12$  | Средний       | возможны локальные очаги самонагревания |
| $12 \leq R < 16$ | Повышенный    | высокий риск развития пожара            |
| $R \geq 16$      | Критический   | высокая вероятность пожара              |

Поскольку рассчитанное значение составляет  $R = 14,75$ , данный участок относится к категории повышенного пожарного риска. Это означает необходимость усиленного мониторинга состояния горного массива и корректировки вентиляционного режима. Предлагаемая модель позволяет выявить и охарактеризовать пожароопасные зоны шахтного пространства, повысить эффективность прогнозирования эндогенных пожаров и оптимизировать мероприятия по промышленной безопасности. Кроме того, интеграция данной модели в цифровые системы мониторинга шахт позволит автоматизировать анализ параметров и своевременно реагировать на изменения состояния горных выработок.

Таким образом, применение методов анализа геологических и газодинамических данных является эффективным инструментом прогнозирования пожарных рисков на угольных шахтах. Использование подобных моделей способствует повышению уровня промышленной безопасности и снижению вероятности возникновения аварийных ситуаций.

#### *Список использованных источников*

- 1 Авария на шахте имени Костенко в Карагандинской области // РБК : информационный портал. — Москва, 2023. — URL: <https://www.rbc.ru/rbcfreenews/653e6ca49a794732418764f4>.
- 2 Risk identification of coal spontaneous combustion based on COWA modified G1 combination weighting cloud model // Guorui Su, Baoshan Jia, Peng Wang, Ru Zhang, 2022. — URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-06972-4>
- 3 Methodology of Risk Analysis of Endogenous Fire in Coal Mines // Marian Šofranko, 2014. — URL: <https://www.scientific.net/AMR.962-965.1153>

## ЦИФРЛЫҚ ЭКОНОМИКА ЖАҒДАЙЫНДА ТАУ-КЕН ӨНДІРІСІН ЦИФРЛАНДЫРУДЫҢ ӨЗЕКТІ МӘСЕЛЕЛЕРІ

Қазіргі цифрлық экономика жағдайында тау-кен өндірісінің тиімділігі, қауіпсіздігі және бәсекеге қабілеттілігі өндірістік процестерді цифрландыру деңгейімен тікелей байланысты. Соңғы жылдары тау-кен саласында геоақпараттық жүйелерді, цифрлық кен орны модельдерін, автоматтандырылған басқару жүйелерін, сондай-ақ жасанды интеллект пен үлкен деректерді қолдану кеңінен дамып келеді. Бұл технологиялар кен өндіру процестерін нақты уақыт режимінде бақылауға, өндірістік шешімдерді жедел қабылдауға және жоспарлау дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді. Цифрлық технологияларды енгізу кен өндірудің өзіндік құнын төмендетіп, ресурстарды пайдаланудың экономикалық тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, цифрлық мониторинг жүйелері тау-кен жабдықтарының техникалық жағдайын алдын ала болжауға жағдай жасап, апаттық тоқтаулар мен жөндеу шығындарын азайтады. Цифрландырудың маңызды арттықтықшылықтарының бірі – адам еңбегінің қауіпті аймақтардағы үлесін қысқарту арқылы еңбек қауіпсіздігін арттыру. Осыған байланысты тау-кен өндірісін цифрландыру саланың тұрақты дамуын қамтамасыз ететін, ресурстарды тиімді пайдалануға және экологиялық тәуекелдерді төмендетуге бағытталған стратегиялық маңызды бағыт болып табылады. Цифрлық жобалар ірі инвестицияларды талап етеді, бірақ олардың қайтарымы бірден көрінбеуі мүмкін. Көптеген кәсіпорындар қысқа мерзімді пайданы көздеп, ұзақ мерзімді стратегиялық цифрландырудан бас тартады. Цифрландыру – «жасыл» экономикаға өтудің құралы. Автоматтандырылған жүйелер энергияны тұтынуды бақылап, қоршаған ортаға шығатын қалдықтарды азайтуға мүмкіндік береді. Бұл халықаралық инвесторлар алдындағы кәсіпорынның рейтингін көтереді. Қорытындылай келе, тау-кен өндірісін цифрландыру – бұл кешенді процесс. Цифрлық экономика жағдайында технологиялық трансформация – Тау-кен кешені секторының тұрақты дамуының басты факторы болып қала бермек.

*Қолданылған әдебиеттер тізімі:*

1. Қазақстан Республикасының «Цифрлық Қазақстан» мемлекеттік бағдарламасы. Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2017 жылғы 12 желтоқсандағы № 827 қаулысы.
2. Трубецкой К.Н., Рыльникова М.В., Радченко Д.Н. Научно-техническое проблемы освоения ресурсов недр в условиях индустрии 4.0 // Горный журнал. -2019. №11. -С. 7-13.
3. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. -World Economic Forum, Geneva, 2016. -172 p.
4. Бекбергенов Д.К. Тау-кен өндірісі кәсіпорындарын басқаруды цифрландыру: теория мен практика // ҚазҰТУ Хабаршысы. – Алматы, 2022. - №2
5. ҚР Стратегиялық жоспарлау және реформалар агенттігі. – Астана, 2023.



## SMART ENERGY: ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ГЕОДЕЗИИ И ТОПОГРАФИИ

Концепция Smart Energy ориентирована на внедрение современных информационных и цифровых технологий, позволяющих повысить эффективность процессов производства, транспортировки и потребления электрической энергии. Для реализации подобных систем требуется точная информация о пространственном расположении энергетических объектов, поэтому важное значение приобретают геодезические и топографические работы.

На этапе планирования энергетической инфраструктуры геодезические работы помогают определить наиболее подходящие участки для строительства объектов. Проведение топографической съёмки даёт возможность изучить рельеф территории, определить уклоны рельефа и выявить природные или искусственные препятствия. Эти сведения необходимы при размещении различных энергетических объектов, включая солнечные электростанции, ветровые генераторы, трансформаторные подстанции и линии электропередачи. Например, при проектировании солнечных станций учитывается положение склонов относительно солнца и вероятность затенения, а для ветровых электростанций анализируются высота местности, направление и интенсивность ветровых потоков.

Геодезия также играет важную роль при проектировании линий электропередачи. С помощью точных измерений определяются расстояния между опорами, высотные характеристики местности и особенности рельефа. Для получения координат и высот широко применяются спутниковые системы GNSS. Полученные данные используются для выбора оптимального маршрута прокладки линии, что позволяет уменьшить затраты на строительство и повысить эффективность передачи электроэнергии.

В последние годы активно применяются технологии цифровой аэрофотосъёмки и беспилотные летательные аппараты. Использование БПЛА позволяет оперативно получать детальные изображения территории, формировать ортофотопланы и трёхмерные модели местности. Эти данные применяются при проектировании энергетических объектов, исследовании территории и контроле состояния инфраструктуры. Например, с помощью аэрофотосъёмки можно проводить регулярный осмотр линий электропередачи, выявлять повреждения проводов или опор и оценивать состояние прилегающих территорий.

Все полученные результаты геодезических измерений объединяются в геоинформационных системах. В таких системах формируются цифровые карты, на которых отображается расположение энергетических объектов: электростанций, подстанций и линий электропередачи. Использование ГИС позволяет анализировать работу энергосистемы, планировать её дальнейшее развитие и более эффективно управлять энергетическими ресурсами.



Рисунок 1 - Интеграция геодезии и технологий Smart Energy

Кроме того, геодезические технологии применяются для мониторинга энергетических сооружений. С помощью спутниковых измерений и повторных геодезических наблюдений можно выявлять смещения опор ЛЭП, деформации зданий электростанций и изменения рельефа. Это повышает безопасность эксплуатации и позволяет своевременно предотвращать аварийные ситуации.

Внедрение технологий Smart Energy невозможно без применения геодезии и топографии. Геодезические методы обеспечивают точные пространственные данные, необходимые для проектирования, строительства и эксплуатации энергетических объектов, а также для создания цифровых моделей энергосистем.

Список использованных источников

1. Акимов А.А., Ковалева Н.С. *Интеллектуальные энергетические системы (Smart Grid)*. – Москва: Энергоатомиздат, 2019.
2. Шилин В.А. *Основы геодезии и топографии*. – Москва: Академический проект, 2020.
3. ДеМерс М. *Географические информационные системы и наука о пространственных данных*. – Москва: ДМК Пресс, 2018.
4. Goodchild M., Li W. *GIS and Spatial Analysis in Energy Systems // International Journal of Geographic Information Science*. – 2019.
5. *Министерство энергетики Республики Казахстан. Развитие цифровой энергетики и Smart Grid в Казахстане*. – Астана, 2021.

## ЦИФРЛЫҚ ЭКОНОМИКАНЫҢ ТАУ-КЕН КЕШЕНІНЕ ЫҚПАЛЫ: ТРАНСФОРМАЦИЯ ЖӘНЕ ЖАҢА МҮМКІНДІКТЕР

Қазіргі жаһандану жағдайында цифрлық экономика әлемдік экономиканың негізгі қозғаушы күштерінің біріне айналып отыр. Ақпараттық-коммуникациялық технологиялардың қарқынды дамуы дәстүрлі салалардың қызмет ету моделін түбегейлі өзгертіп, өндірістік үдерістердің тиімділігін арттыруға, басқару жүйелерін жетілдіруге және жаңа экономикалық мүмкіндіктерді қалыптастыруға жол ашуда. Осы тұрғыда тау-кен кешені де цифрлық трансформация үдерісінен тыс қалмай, инновациялық шешімдерді кеңінен енгізіп жатқан стратегиялық маңызы бар салалардың бірі болып табылады.

Тау-кен өнеркәсібі – капитал сыйымдылығы жоғары, технологиялық тұрғыдан күрделі және қауіп-қатері мол сала. Сондықтан цифрлық экономиканың құралдары мен технологияларын пайдалану бұл сала үшін ерекше маңызға ие. Цифрлық трансформация ең алдымен өндірістік процестерді автоматтандыру мен цифрландырудан басталады. Геологиялық барлау жұмыстарында үлкен деректерді (Big Data) талдау, жасанды интеллект пен машиналық оқыту алгоритмдерін қолдану пайдалы қазбалардың қорын дәлірек бағалауға, барлау тәуекелдерін азайтуға және шығындарды оңтайландыруға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, тау-кен өндірісінде цифрлық технологияларды енгізу өндірістік қауіпсіздікті арттыруға айтарлықтай ықпал етеді. Заттар интернеті (IoT) негізіндегі сенсорлар мен бақылау жүйелері кеніштердегі температура, газ деңгейі, жабдықтардың техникалық күйі сияқты маңызды көрсеткіштерді нақты уақыт режимінде бақылауға мүмкіндік береді. Бұл өз кезегінде апаттық жағдайлардың алдын алуға, адам өмірі мен денсаулығын қорғауға және өндірістік тәуекелдерді төмендетуге жағдай жасайды.

Цифрлық экономиканың тағы бір маңызды бағыты – өндірісті басқару жүйелерін жетілдіру. ERP, MES және басқа да цифрлық платформалар тау-кен кәсіпорындарының барлық деңгейдегі қызметін біріктіріп, ресурстарды тиімді жоспарлауға, логистикалық тізбектерді оңтайландыруға және басқарушылық шешімдердің сапасын арттыруға мүмкіндік береді. Нәтижесінде өндірістің ашықтығы мен бақылау деңгейі жоғарылап, компаниялардың бәсекеге қабілеттілігі артады.

Экологиялық аспект те цифрлық трансформацияның маңызды құрамдас бөлігі болып табылады. Қоршаған ортаға әсерді бақылау үшін цифрлық мониторинг жүйелерін қолдану қалдықтар көлемін азайтуға, энергия тұтынуды оңтайландыруға және тұрақты даму қағидаттарын жүзеге

асыруға көмектеседі. Бұл тау-кен кешенінің экологиялық жауапкершілігін арттырып қана қоймай, халықаралық экологиялық стандарттарға сай жұмыс істеуіне мүмкіндік береді.

Сонымен бірге цифрлық экономиканың дамуы тау-кен саласында жаңа мамандықтар мен құзыреттердің қалыптасуына ықпал етуде. Деректер талдаушылары, цифрлық инженерлер, автоматтандыру және киберқауіпсіздік мамандарына деген сұраныс артып келеді. Бұл адами капиталды дамытуға, білім беру жүйесін жаңғыртуға және еңбек нарығында сапалы өзгерістерге әкеледі.

Сонымен қатар, тау-кен кешеніндегі цифрлық трансформация инвестициялық тартымдылықты арттырудың маңызды факторы болып табылады. Ашық цифрлық есептілік, өндірістік деректердің нақты әрі жедел қолжетімділігі инвесторлар үшін тәуекелдерді азайтып, саланың айқындылығын қамтамасыз етеді. Цифрлық технологиялар негізінде құрылған “ақылды кеніш” (Smart Mining) тұжырымдамасы өндіріс тиімділігін арттырып қана қоймай, операциялық шығындарды төмендетуге мүмкіндік береді. Бұл ұзақ мерзімді перспективада компаниялардың қаржылық тұрақтылығын күшейтеді.

Бұдан бөлек, цифрлық егіздер (Digital Twin) технологиясын қолдану тау-кен кәсіпорындарының виртуалды модельдерін құруға жол ашады. Мұндай модельдер өндірістік процестерді алдын ала модельдеуге, ықтимал тәуекелдерді болжауға және техникалық шешімдерді сынақтан өткізуге мүмкіндік береді. Нәтижесінде күрделі өндірістік операциялардың қауіпсіздігі мен тиімділігі артады.

Алайда цифрлық трансформация үдерісі белгілі бір қиындықтармен де қатар жүреді. Инфрақұрылымдық дайындықтың жеткіліксіздігі, бастапқы инвестициялардың жоғары болуы, кадр тапшылығы және киберқауіпсіздік қатерлері – негізгі мәселелердің қатарында. Сондықтан мемлекет пен бизнес арасындағы әріптестікті күшейту, цифрлық инфрақұрылымды дамыту, ғылыми-зерттеу жұмыстарын қолдау және салалық стандарттарды жетілдіру маңызды.

Қорытындылай келе, цифрлық экономика тау-кен кешенінің дамуына жан-жақты әсер етіп, өндірістік процестерді трансформациялаудың, тиімділікті арттырудың және жаңа мүмкіндіктерді ашудың маңызды факторы болып табылады. Цифрлық технологияларды жүйелі және кешенді түрде енгізу тау-кен саласының тұрақты дамуын қамтамасыз етіп, ұлттық экономиканың бәсекеге қабілеттілігін күшейтуге елеулі үлес қосады.

*Пайданылған әдебиеттер.*

1. World Economic Forum. (2017). *Digital Transformation Initiative: Mining and Metals Industry*. Geneva: WEF.

2. OECD. (2020). *Digitalisation in the Extractive Sector: Policies and Practices*. Paris: OECD Publishing.

3. International Energy Agency. (2021). *The Role of Digitalization in Energy and Mining Sectors*. Paris: IEA.

4. McKinsey & Company. (2018). *How digital innovation can improve mining productivity*.

5. Қазақстан Республикасы Ұлттық экономика министрлігі. (2022). *Қазақстандағы цифрлық экономиканы дамыту туралы ұлттық баяндама*.

## ШАХТАЛАРДА МЕТАН МЕН КӨМІР ШАҢЫ ЖАРЫЛЫСТАРЫН БОЛДЫРМАУ МӘСЕЛЕСІ

Шахталардағы көмір өндіру өндірістік қауіпсіздік мәселелерін туындатады. Көмір қабаттарында табиғи түрде пайда болатын метан газы мен шахтаның ауа құрамында ұшып жүретін көмір шаңы ең қауіпті факторлардың бірі болып табылады. Метан газын азайтпау немесе бақыламау оны аз ғана концентрацияда да (5–15%) жарылыс тудыруға қабілетті етеді. Көмір шаңы ауада ұшып жүрген ұсақ бөлшектер ретінде отқа өте сезімтал болып, метанмен бірге болғанда күшті жарылысты тудырады. Метанның қауіптілігі оның концентрациясына байланысты. 5–15% аралығында болса, кез келген механикалық немесе электрлік искрадан жарылыс болуы мүмкін. Метанның жоғары концентрациясы шахтадағы апаттарға тікелей қауіп тудырады [1]. Көмір шаңының қауіптілігі де жоғары: ауада ұзақ уақыт қалуы мүмкін және белгілі бір концентрациядан асқанда аз ғана от көзінен тұтанып, жарылыс тудыруы мүмкін. Метанмен бірге болса, оның жарылысы әсіресе күшті болып, кең аумаққа зиян келтіреді. Жарылыстарды болдырмау үшін бірнеше шаралар қолданылады. Біріншіден, вентиляция жүйесін жетілдіру маңызды [2]. Шахтаны таза ауа ағынымен қамтамасыз ету арқылы метан концентрациясын азайтуға болады. Ауа жылдамдығы мен қысымын бақылап, қауіпті аймақтарға ауа ағынын көбейту қажет. Екіншіден, метан мен шаң концентрациясын бақылау жүйелерін енгізу қажет: газ детекторлары мен шаң сенсорлары нақты уақыт режимінде концентрацияны өлшейді және қауіпті деңгейге жеткенде автоматты дабыл сигналын береді. Үшіншіден, дегазациялау арқылы көмір қабатынан метан алдын ала шығарылады, газ арнайы резервуарларда жинақталып немесе қауіпсіз түрде атмосфераға шығарылады. Шаң түзілуін азайту үшін көмірді кесу және тасымалдау кезінде шаңның ауаға шашылуын азайтатын құралдар қолданылады, сондай-ақ шаңды басатын су шашу немесе вакуумдық жүйелер пайдаланылады (Сурет – 1.1). Өрт қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін шахтада жарылысқа төзімді электр құралдары (ЕХ техникасы) пайдаланылады және от көздерін, сигареттерді қатаң бақылау керек. Қызметкерлерді оқыту да маңызды: метан мен көмір шаңының қауіптілігі мен қауіпсіздік ережелері тұрақты түрде түсіндірілуі, жеке қорғаныс құралдарын дұрыс пайдалану және төтенше жағдайда әрекет ету дағдылары меңгертілуі қажет. Автоматтандырылған қауіпсіздік жүйелері де маңызды рөл атқарады: метан мен шаң концентрациясын автоматты түрде өлшейтін жүйелер қауіпті жағдайда дабыл береді, ал қажет болған жағдайда шахтаны

автоматты түрде эвакуациялау мүмкіндігі іске асады. Метан мен көмір шаңының жарылыс қаупі шахталардағы өндірістік қауіпсіздіктің ең күрделі мәселелерінің бірі болып табылады. Қауіптерді азайту үшін вентиляцияны жетілдіру, метан мен шаң концентрациясын бақылау, дегазациялау, шаңның алдын алу [3].

Бұл шаралар толық қолданылған жағдайда ғана шахталардағы апаттардың алдын алуға мүмкіндік береді. Қауіпсіздік тек техникалық шараларға ғана емес, қызметкерлердің білім деңгейі мен қауіпсіздік мәдениетіне де байланысты. Цифрлық технологиялар мен автоматтандырылған бақылау жүйелерін қолдану метан мен көмір шаңының жарылысына қарсы күресті тиімді әрі сенімді етеді. Сонымен қатар, зерттеулер көрсеткендей, шахтаның құрылыс кезеңінде қауіпсіздік шараларын жобалау және алдын ала дегазациялау жүйелерін енгізу жарылыс қаупін айтарлықтай төмендетеді [4].



1.1 Сурет –Шаң бақылау және өңдеу құралдары

Қорытындылай келе, метан мен көмір шаңының жарылыс қаупі шахталардағы өндірістік қауіпсіздіктің ең күрделі мәселелерінің бірі болып табылады. Қауіптерді азайту үшін вентиляцияны жетілдіру, метан мен шаң концентрациясын бақылау, дегазациялау, шаңның алдын алу, өрт қауіпсіздігі шараларын қолдану, қызметкерлерді оқыту және автоматтандырылған жүйелерді кешенді түрде қолдану қажет. Бұл шаралар толық қолданылған жағдайда ғана шахталардағы апаттардың алдын алуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, қауіпсіздік тек техникалық шараларға ғана емес, қызметкерлердің білім деңгейі мен қауіпсіздік мәдениетіне де байланысты [5].

*Қолданылған әдебиеттер тізімі*

1. *Introduction to Artificial Neural Networks.* – St. Paul: West Publishing Company, 1992.
2. *Deep Learning.* – Cambridge: MIT Press, 2016.
3. *Society for Mining Metallurgy and Exploration. Mining Engineering Handbook.* – 3rd ed. – Littleton, CO, 2011.
4. *International Council on Mining and Metals. Digital Transformation in Mining Report.* – London, 2020.
5. *International Organization for Standardization. ISO 22400-2:2014 Automation systems and integration – Key performance indicators for manufacturing operations management.* – Geneva, 2014.

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ПРОЧНОСТИ МОРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Круги напряжений, построенные для момента разрушения сыпучей среды, принято называть предельными. По результатам испытаний серии образцов можно построить ряд предельных кругов (Figure 1), которые строятся по значениям наибольшего  $\sigma_z$  и наименьшего  $\sigma_r$  напряжений, фиксируемых в момент разрушения образца. Значения этих напряжений можно установить по данным испытаний в стабиллометрах и приборах с управляемыми главными напряжениями. В них боковые поверхности цилиндрического образца являются главными площадками, а напряжения  $\sigma_z, \sigma_r$  и  $\sigma_y$  определяются развиваемыми в приборе внешними давлениями на образец материалов.

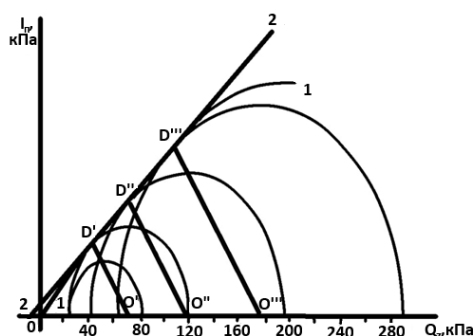


Figure 1 – Предельные круги напряжений для известняка. 1 – нелинейная огибающая; 2 – линейная огибающая.

Теория прочности Мора, как и теория Кулона, исходит из представления о разрушении материала в форме сдвига. В ней принимается, что сопротивление сдвигу  $\tau_n$  нелинейно зависит (Figure 1, огибающая 1) от нормального давления  $\sigma_n, \tau_n = f(\sigma_n)$  по площадкам сдвига, которым на предельном круге напряжений отвечают точки касания огибающих к окружности. В частном случае линейная функция  $f(\sigma_n)$  (Figure 1, линейная огибающая 2), называемая линейным вариантом теории Мора, отвечает закону Кулона. Учитывая это, условие прочности (предельного равновесия) (8) часто называют условием Кулона-Мора. В настоящее время именно теория Кулона-Мора наиболее широко используется в механике сыпучих сред и грунтов.

Из рисунка 2 можно также установить положение площадок, по которым в данной точке сыпучего материала может произойти сдвиг, т.е. положение площадок скольжения. В случае с прямолинейной огибающей, отвечающей условию прочности Кулона-Мора, радиусы кругов  $O'D'$ ,  $O''D''$ ,  $O'''D'''$ , определяющие положение площадок скольжения, составляют с осью абсцисс угол  $2\alpha = 90^\circ + \varphi$ . Следовательно, площадки скольжения наклонены к плоскости, на которой действует большее напряжение  $\sigma_z$ , под углами  $45^\circ$  и  $\frac{\varphi}{2}$ . Для каждого круга, т.е. в каждой точке предельно напряженного образца, таких площадок может быть две: для одной этот угол положителен, для другой отрицателен.

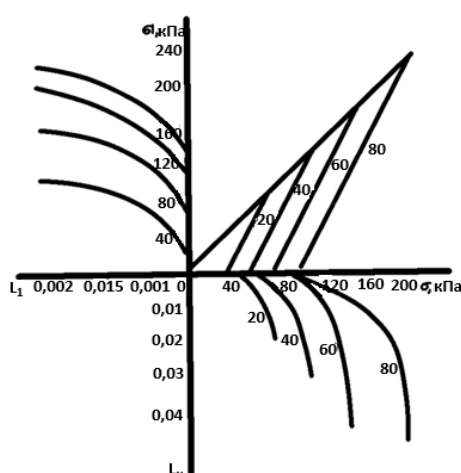


Figure 2- Результаты испытаний образца из коксика: цифры на кривых – значения бокового давления,  $\sigma_r$ , кПа.

Научный смысл работы заключается в экспериментальном обосновании границ применимости теории Мора-Кулона для конкретных типов дисперсных сред. Мы доказываем, что учет нелинейности огибающей предельных кругов напряжений (Figure 1) критически важен для точного расчета устойчивости конструкций и оборудования, работающих с сыпучими грузами, так как стандартные линейные модели могут давать погрешность в определении момента разрушения

Список литературы:

1. Кажикенова Ш.С., Ахметова С.С., научная статья Scopus "Усовершенствование методики и установки для определения реологических свойств дисперсных материалов под нагрузкой".
2. Тимошенко С.П. Сопротивление материалов – М.: Наука, 1986. – 560 с.
3. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 592 с.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория упругости – М.: Наука, 1987. – 248 с.
5. ASTM International. ASTM E111 – Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus. – West Conshohocken, PA, USA.



## ЦИФРОВИЗАЦИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА КАРЬЕРОВ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ГМК

Горно-металлургический комплекс Республики Казахстан занимает ключевое место в структуре национальной экономики. В условиях цифровой трансформации промышленности предприятия ГМК ориентированы на внедрение инновационных технологий, направленных на повышение эффективности производства и уровня промышленной безопасности. Одним из важнейших направлений модернизации является цифровизация геодезического мониторинга карьеров.

Геодезический мониторинг является неотъемлемой частью горных работ и включает контроль положения бортов карьера, отвалов, уступов и гидротехнических сооружений. От точности и оперативности геодезических измерений напрямую зависит безопасность ведения работ, корректность расчета объемов добычи и устойчивость конструктивных элементов карьера.

Проведенный анализ современных технологий показал, что традиционные методы тахеометрической съемки постепенно дополняются и заменяются цифровыми решениями. Наиболее востребованными являются спутниковые GNSS-системы, роботизированные тахеометры, лазерное сканирование и аэрофотосъемка с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [1].

Использование GNSS-приемников позволяет оперативно определять пространственные координаты с высокой точностью, сокращая продолжительность полевых работ. Роботизированные тахеометры обеспечивают автоматизацию измерений и передачу данных в цифровую среду без промежуточной ручной обработки, что снижает вероятность ошибок и повышает надежность результатов.

Особую роль в условиях цифровой экономики играет создание трехмерных цифровых моделей карьеров. На основе результатов съемки формируется цифровая модель рельефа, позволяющая выполнять расчет объемов выемки и насыпи, анализировать геометрию откосов и оценивать динамику изменения поверхности. В отличие от традиционных методов цифровое моделирование обеспечивает более высокую детализацию и наглядность полученных данных.

В качестве практического примера рассмотрена модель мониторинга участка открытого карьера площадью 12 га. При использовании традиционной тахеометрической съемки выполнение полевых работ занимает в среднем 3–4 рабочих дня, а камеральная обработка данных — до

2 дней. Применение БПЛА позволяет выполнить съемку аналогичного участка в течение 4–6 часов.

На основе полученного облака точек формируется цифровая модель рельефа, а расчет объемов горной массы осуществляется автоматизированными средствами. Сравнительный анализ показал сокращение сроков выполнения работ более чем в два раза, повышение точности моделирования поверхности и снижение влияния человеческого фактора [2].

Кроме того, цифровая модель карьера позволяет выявлять потенциально опасные зоны, связанные с изменением углов откосов и деформацией бортов. Это обеспечивает возможность своевременного принятия инженерных решений и повышения уровня промышленной безопасности.

Научная новизна работы заключается в комплексном рассмотрении цифрового геодезического мониторинга карьеров не только как инструмента повышения точности измерений, но и как элемента системы промышленной безопасности горно-металлургического предприятия. В отличие от традиционного подхода акцент сделан на сравнительном анализе временных затрат и эффективности применения БПЛА и цифрового моделирования при мониторинге горных работ, что позволяет обосновать их производственную и управленческую значимость в условиях цифровой экономики.

Таким образом, цифровизация геодезического мониторинга является важнейшим фактором повышения эффективности и устойчивости горно-металлургических предприятий

Интеграция геодезических данных в единую информационную среду предприятия формирует основу для дальнейшего внедрения технологий цифрового двойника и элементов искусственного интеллекта при анализе пространственной информации.

#### **Список использованных источников:**

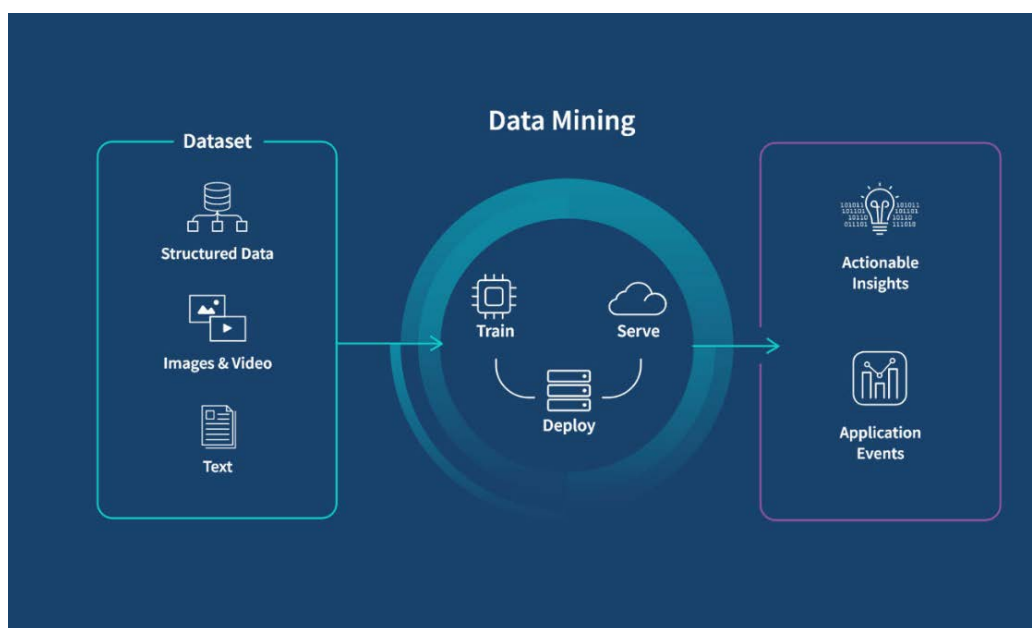
1. Современные технологии для автоматизации маркшейдерско-геодезических измерений / Ж. М. Батыршаева, Р. Н. Джамантыкова, Г. О. Исаинова, А. Д. Каранеева // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2014. – Т. 1, № 2. – С. 184-188.
2. Исследование процесса сдвижения земной поверхности при повторной разработке Жезказганского месторождения / Н. Ф. Низаметдинов, В. Д. Барышников, Р. Ф. Низаметдинов [и др.] // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2021. – № 2. – С. 11-17. – DOI 10.15372/FTPRPI20210202.

## ТАУ-КЕН ӨНДІРІСІНДЕ НЕЙРОЖЕЛІЛЕР АРҚЫЛЫ КЕН САПАСЫН НАҚТЫ УАҚЫТТА БОЛЖАУ ЖҮЙЕСІ

Қазіргі кезеңде тау-кен өндірісі цифрландыру, автоматтандыру және жасанды интеллект технологияларын енгізу арқылы қарқынды дамып келеді. Өндірістік тиімділікті арттырудың маңызды бағыттарының бірі – кен сапасын жедел және дәл бағалау. Кен сапасы пайдалы компоненттердің мөлшерімен, қоспалар деңгейімен, ылғалдылықпен және минералогиялық құрамымен анықталады [1]. Бұл көрсеткіштер байыту процесінің тиімділігіне, дайын өнім сапасына және кәсіпорынның экономикалық нәтижесіне тікелей әсер етеді. Дәстүрлі зертханалық талдау әдістері жоғары дәлдікке ие болғанымен, олар уақытты талап етеді және нақты уақыт режимінде басқару шешімдерін қабылдауға мүмкіндік бермейді. Осыған байланысты нейрожелілер негізінде кен сапасын нақты уақытта болжау жүйелерін енгізу өзекті мәселе болып отыр. Нейрожелілер – адам миының нейрондық құрылымының жұмыс істеу қағидаттарына ұқсас алгоритмдерге негізделген жасанды интеллект технологиясы. Олар үлкен көлемдегі деректерді өңдеп, күрделі бейсызық тәуелділіктерді анықтай алады. Тау-кен өндірісінде көпқабатты персептрондар, конволюциялық нейрожелілер, рекурренттік желілер және терең оқыту модельдері кеңінен қолданылады. Мұндай модельдер тарихи деректер негізінде үйретіліп, болашақтағы көрсеткіштерді болжауға мүмкіндік береді. Нейрожелілердің басты артықшылығы – үлкен деректер ағынын жылдам өңдеу, өзін-өзі жетілдіру қабілеті және нақты уақыт режимінде жұмыс істеу мүмкіндігі. Кен сапасын болжау үшін түрлі дереккөздер пайдаланылады [2]. Оларға бұрғылау нәтижелері, геологиялық барлау мәліметтері, зертханалық химиялық талдау қорытындылары, конвейерлік таразылардың көрсеткіштері, ұсату және байыту жабдықтарының жұмыс параметрлері жатады. Сонымен қатар қазіргі уақытта онлайн анализаторлар – рентген-флуоресценттік (XRF) құрылғылар, гамма-сәулелік сенсорлар және спектралдық талдау жүйелері кеңінен қолданылады. Бұл құрылғылар кен құрамын үздіксіз бақылап, деректерді автоматты түрде ақпараттық жүйеге жібереді. Нақты уақыттағы болжау жүйесінің жұмысы бірнеше кезеңнен тұрады. Алдымен өндірістік сенсорлар арқылы деректер жиналады. Кейін олар алдын ала өңдеуден өтеді: кателіктер жойылады, жетіспейтін мәндер толықтырылады, деректер қалыпқа келтіріледі. Бұдан соң нейрожелі тарихи мәліметтер негізінде оқытылады. Оқыту барысында модель кіріс параметрлері мен кен сапасы арасындағы тәуелділікті анықтайды. Жүйе іске қосылғаннан кейін ағымдағы өндірістік деректерді талдап, кен құрамын болжайды. Ал зертханалық нақты нәтижелер кері байланыс ретінде қолданылып, модельді

қайта оқыту арқылы оның дәлдігі үздіксіз жетілдіріледі. Нейрожелілерді қолдану кен өндіру және байыту процестерін тиімді басқаруға мүмкіндік береді. құрамын немесе көмірдің күлділігін алдын ала болжауға болады [3].

Нейрожелілерді енгізу – «ақылды кеніш» тұжырымдамасының маңызды бөлігі. Бұл бағыт Industry 4.0 қағидаттарына сәйкес жүзеге асырылады, яғни үлкен деректерді талдау, заттар интернеті (IoT), автоматтандырылған басқару жүйелері және цифрлық модельдеу технологиялары біріктіріледі. Болашақта нейрожелілер геологиялық модельдермен және өндірістік процестердің цифрлық егізімен біріктіріліп, кен орнын толық виртуалды басқару мүмкіндігін береді [4].



1.1 Сурет – Нейрожелілерді енгізу арқылы «ақылды кеніш» тұжырымдамасын іске асыру

Қорытындылай келе, тау-кен өндірісінде нейрожелілер арқылы кен сапасын нақты уақытта болжау жүйесі – өндірістің тиімділігін арттыратын, шығындарды азайтатын және басқару сапасын жақсартатын заманауи технологиялық шешім. Бұл тәсіл өндірістік процестерді цифрлық трансформациялаудың маңызды элементі болып табылады және тау-кен саласының болашақтағы дамуы жасанды интеллект технологияларымен тығыз байланысты екенін көрсетеді [5].

*Қолданылған әдебиеттер тізімі*

11. *Introduction to Artificial Neural Networks.* – St. Paul: West Publishing Company, 1992.
12. *Deep Learning.* – Cambridge: MIT Press, 2016.
13. *Society for Mining Metallurgy and Exploration, Mining Engineering Handbook.* – 3rd ed. – Littleton, CO, 2011.
14. *International Council on Mining and Metals. Digital Transformation in Mining Report.* – London, 2020.
15. *International Organization for Standardization. ISO 22400-2:2014 Automation systems and integration – Key performance indicators for manufacturing operations management.* – Geneva, 2014.

## ТАУ-КЕН КЕШЕНІНДЕГІ КИБЕРҚАУІПСІЗДІК ЖӘНЕ ДЕРЕКТЕРДІ ҚОРҒАУ МӘСЕЛЕЛЕРІ

Цифрлық экономиканың қарқынды дамуы тау-кен кешенінің өндірістік, технологиялық және басқарушылық құрылымын түбегейлі өзгертуде. Өндірістік процестердің автоматтандырылуы, қашықтан басқару жүйелерінің енгізілуі, өнеркәсіптік интернет заттарының (IIoT), бұлтты есептеулердің, үлкен деректер талдауы мен жасанды интеллекттің кеңінен қолданылуы тау-кен кәсіпорындарының тиімділігін арттыруға мүмкіндік берді. Алайда цифрлық трансформация деңгейінің өсуі киберқауіпсіздік тәуекелдерін едәуір күшейтіп, деректерді қорғау мәселесін стратегиялық басымдықтардың біріне айналдырды. Тау-кен кешені стратегиялық маңызы бар өнеркәсіп саласы болғандықтан, ақпараттық қауіпсіздік тек техникалық міндет ғана емес, ұлттық және экономикалық қауіпсіздікпен тікелей байланысты кешенді проблема ретінде қарастырылады.

Қазіргі уақытта тау-кен кәсіпорындарында өндірістік процестердің басым бөлігі автоматтандырылған басқару жүйелері (АСУ ТП), SCADA платформалары және диспетчерлік бақылау орталықтары арқылы жүзеге асырылады. Сонымен қатар геологиялық барлау деректері, өндірістік есептер, қаржылық ақпарат және логистикалық мәліметтер цифрлық форматта сақталады және өңделеді. Осындай ауқымды цифрлық инфрақұрылымның қалыптасуы кәсіпорындарды кибершабуылдарға осал етеді.

Тау-кен кешеніндегі негізгі киберқауіптердің қатарына зиянды бағдарламалық қамтамасыз ету, әсіресе бопсалаушы вирустар (ransomware), өндірістік басқару жүйелеріне бағытталған мақсатты шабуылдар, желілік инфрақұрылымның бұзылуы, сондай-ақ қызметкерлердің қателіктеріне негізделген әлеуметтік инженерия жатады. Өндірістік жүйелерге заңсыз қол жеткізу технологиялық процестердің бұзылуына, жабдықтардың істен шығуына немесе өндірістің толық тоқтауына алып келуі мүмкін. Мұндай жағдайлар ірі экономикалық шығындармен қатар экологиялық және техногендік апаттарға да себеп болуы ықтимал. Әсіресе жер асты шахталарында немесе қауіпті өндірістік аймақтарда цифрлық басқару жүйелерінің істен шығуы адам өміріне тікелей қауіп төндіреді.

Киберқауіпсіздік тәуекелдерінің артуына өндірістік және ақпараттық технологиялардың (OT және IT) интеграциясы да әсер етеді. Бұрын оқшау жұмыс істеген өндірістік басқару жүйелері бүгінде корпоративтік желілермен және бұлтты сервистермен біріктірілген. Бұл өндірісті басқарудың икемділігін арттырғанымен, қауіпсіздік периметрін кеңейтіп,

шабуыл жасау нүктелерін көбейтеді. Өнеркәсіптік интернет заттары құрылғыларының жеткілікті деңгейде қорғалмауы, ескірген бағдарламалық қамтамасыз етудің қолданылуы және желілік сегментацияның болмауы қауіптердің өсуіне жағдай жасайды.

Деректерді қорғау мәселесі де тау-кен кешенінде ерекше маңызға ие. Геологиялық барлау нәтижелері, кен орындарының қорлары туралы ақпарат, технологиялық процестердің параметрлері және коммерциялық келісімшарттар – жоғары құндылыққа ие стратегиялық деректер болып табылады. Мұндай ақпараттың жоғалуы, бұрмалануы немесе үшінші тараптардың қолына түсуі кәсіпорынның бәсекеге қабілеттілігіне, инвестициялық тартымдылығына және нарықтағы беделіне елеулі зиян келтіреді. Сонымен қатар персоналдың жеке деректерін қорғау ұлттық заңнама талаптарына сәйкес жүзеге асырылуы тиіс.

Осы жағдайларда киберқауіпсіздікті қамтамасыз ету кешенді және жүйелі тәсілді талап етеді. Біріншіден, ақпараттық қауіпсіздік менеджменті халықаралық стандарттарға негізделуі қажет. ISO/IEC 27001, IEC 62443 сияқты стандарттар өндірістік инфрақұрылымның қауіпсіздігін ұйымдастыруға бағытталған. Екіншіден, желілік архитектураны сегментациялау, яғни IT және OT жүйелерін бөлу, сыртқы және ішкі трафикті бақылау, деректерді шифрлау және көпфакторлы аутентификацияны енгізу маңызды. Үшіншіден, тұрақты аудит пен осалдықтарды бағалау жүргізілуі тиіс. Төртіншіден, қызметкерлердің киберсауаттылығын арттыру – қауіпсіздік жүйесінің ажырамас бөлігі, себебі адам факторы киберинциденттердің негізгі себептерінің бірі болып қала береді.

Қорыта айтқанда, цифрлық экономика жағдайында тау-кен кешенінің тұрақты дамуы киберқауіпсіздік деңгейіне тікелей тәуелді. Өндірістік процестердің цифрландырылуы тиімділікті арттырғанымен, қауіпсіздікке қойылатын талаптарды да күшейтеді. Киберқауіпсіздік тек техникалық инфрақұрылымды қорғау шарасы ғана емес, стратегиялық басқару элементі болып табылады. Сондықтан тау-кен кәсіпорындары цифрлық трансформацияны жүзеге асырумен қатар, ақпараттық және өндірістік қауіпсіздікті кешенді түрде қамтамасыз етуі қажет. Тек осындай жағдайда ғана сала ұзақ мерзімді перспективада бәсекеге қабілетті әрі тұрақты дами алады.

## Әдебиеттер тізімі

1. Я. С. Гродзенский — Информационная безопасность(2019)
2. В. П. Гринёв, И. А. Цинделани — Цифровая экономика и информационная безопасность. Словарь-справочник(2018)
3. Асылбеков У. Б., Исмаилова А. А. — Кибербезопасность (2020)

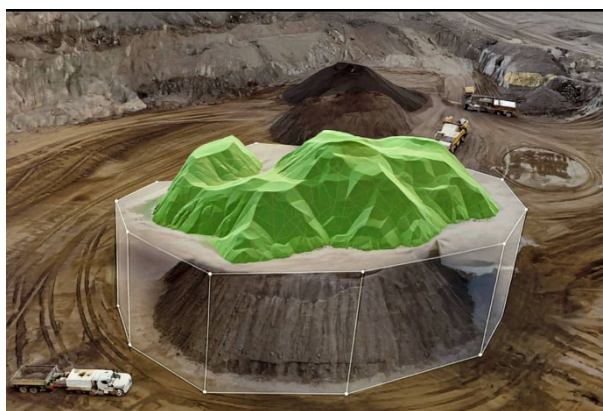
## ЦИФРЛЫҚ КЕНІШ ЖӘНЕ МАРКШЕЙДЕРЛІК ІС: ЗАМАНАУИ ТЕХНОЛОГИЯЛАР МЕН ДАМУ БАҒЫТТАРЫ

Қазіргі экономика жағдайында тау-кен металлургия кешенінің дамуының негізгі бағыттары, қазіргі заманғы сын-қатерлері және технологиялық трендтері, сондай-ақ олардың маркшейдерлік іс саласындағы қолданылуы қарастырылады. Маркшейдерлік қызмет кен орындарын зерттеу, пайдалы қазбаларды барлау, геодезиялық өлшеулер жүргізу және өндірісті тиімді жоспарлауға тікелей қатысады. Қазіргі уақытта өндірісті цифрландыру, автоматтандыру, жасанды интеллект, үлкен деректерді талдау, геоақпараттық жүйелер және заманауи сенсорлық технологияларды енгізу маңызды болып отыр.

Көптеген ірі кен орындары ұзақ уақыт бойы игеріліп, жаңа кен орындары күрделі геологиялық жағдайда орналасқан. Бұл маркшейдерлік жұмыстардың күрделенуіне және өндірістік шығындардың өсуіне әкеледі.

Әлемдік нарықтағы бәсекелестік металл өнімдеріне сұраныстың өзгеруі, бағаның тұрақсыздығы және жаһандық экономикалық факторлар кәсіпорындарды өндірісті тиімді басқаруға итермелейді.

Цифрлық кеніш (Digital Mine) кен орындарын барлау, өндіру және өңдеу процестерін толық цифрлық форматта басқаруға мүмкіндік береді. Маркшейдерлік өлшеулерге заманауи сенсорлар, GPS/ГНСС жүйелері, лазерлік сканерлеу және дрондар енгізілуде (1-сурет). Бұл дәлдікті арттырады, қауіпсіздікті жоғарылатады және өндіріс тиімділігін қамтамасыз етеді.



1 – сурет - Дрон арқылы ашық карьерді сканерлеу арқылы жасалатын 3D модель

Автоматтандырылған техника қашықтан басқарылатын жүк көліктері, роботтандырылған бұрғылау қондырғылары мен карьерлік машиналар маркшейдерлерге нақты уақыттағы деректер негізінде жоспарлау жүргізуге мүмкіндік береді.

Геоақпараттық жүйелер GIS платформалары маркшейдерлік деректерді визуализациялау, TIN беттерін құру және көлемдерді есептеу үшін қолданылады. Бұл өндіріс тиімділігін арттырады және шешім қабылдауды жеделдетеді. Маркшейдерлік іс саласындағы артықшылықтар мен қолданысын төменде келтірілді.

1 – Кесте. Маркшейдерлік іс саласындағы артықшылықтар

| Технология                  | Қолданылуы                             | Артықшылықтары                              |
|-----------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------|
| GPS/ГНСС                    | Кеніш координаттары                    | Өлшеудің дәлдігі, уақыт үнемдеу             |
| Дрондар, лазерлік сканерлеу | Барлау, геодезиялық өлшеу              | Қауіпсіздік, кең аумақты қамту              |
| Big Data, AI                | Өндіріс тиімділігін талдау             | Шешім қабылдауды жылдамдату, шығынды азайту |
| GIS                         | Деректер визуализациясы, көлем есептеу | Картография, жоспарлауды оңайлату           |

Заманауи цифрлық технологиялар маркшейдерлік жұмыстардың тиімділігін арттыруда маңызды рөл атқарады. GPS/ГНСС жүйелері координаттарды дәл анықтауға мүмкіндік берсе, дрондар мен лазерлік сканерлеу кең аумақтарды қауіпсіз әрі жылдам зерттеуге жағдай жасайды. Big Data және жасанды интеллект өндірістік деректерді талдап, тиімді шешім қабылдауға көмектеседі, ал GIS жүйелері деректерді визуализациялау мен жоспарлауды жеңілдетеді.

Цифрлық технологияларды енгізу тау-кен кешеніндегі маркшейдерлік жұмыстың тиімділігін арттырады, өндірістік шығындарды азайтады, қауіпсіздікті жоғарылатады және өндірісті жоспарлауды жеңілдетеді. «Цифрлық кеніш» тұжырымдамасы мен автоматтандырылған технологиялар заманауи маркшейдерлік іс дамуының негізгі бағытына айналып отыр.

*Қолданылған әдебиеттер тізімі*

1. Назарбаев Н.Ә. Қазақстанның индустриялық-инновациялық дамуы. Алматы: Экономика, 2019.
2. Смаилов А.А. Тау-кен өндірісіндегі заманауи технологиялар. Алматы: Қазақ университеті, 2020.
3. Davenport T., Westerman G. Why So Many High-Profile Digital Transformations Fail. Harvard Business Review, 2018.
4. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. Geneva: World Economic Forum, 2016.



## ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ГОРНОГО КОМПЛЕКСА В ЭПОХУ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ.

Горный комплекс — это предприятия, которые добывают полезные ископаемые: уголь, нефть, газ, руду, золото и другие ресурсы. Современный этап развития мировой экономики характеризуется активной цифровизацией промышленности, что формирует новые условия функционирования горного комплекса. Горный комплекс традиционно относится к капиталоемким и технологически сложным отраслям с высоким уровнем экологической нагрузки. В условиях цифровой экономики особую значимость приобретает внедрение технологий Индустрии: промышленного интернета вещей, систем предиктивной аналитики, цифровых двойников, автономной техники и роботизированных комплексов. Использование искусственного интеллекта и технологий больших данных способствует оптимизации процессов геологоразведки, планирования горных работ и технического обслуживания оборудования. Это снижает операционные издержки, минимизирует аварийность и повышает промышленную безопасность. В свою очередь, цифровые системы экологического мониторинга обеспечивают контроль выбросов и рациональное использование природных ресурсов, что соответствует принципам устойчивого развития и ESG-повестки. Таким образом, инновационные технологии выступают системообразующим фактором устойчивого развития горного комплекса в эпоху цифровой экономики. Их интеграция в стратегию предприятий позволяет обеспечить баланс между экономической эффективностью, экологической ответственностью и социальной стабильностью, формируя основу долгосрочной конкурентоспособности отрасли.

### Использованные литературы:

- 1.Бабенко А. Г. Информационные технологии в горном деле // Горный журнал. – 2022. – № 4. – С. 90–100. Анализ технологических аспектов цифровизации производственных процессов в горной промышленности России.
2. Сарычев А. Е., Семенихин Д. Е. Инновационные тренды развития мировой горнодобывающей отрасли: цифровизация управленческих и операционных процессов // Экономика, предпринимательство и право. – 2023. – Т. 13. – № 8. – С. 2897–2908. Обзор цифровых трендов в управлении горной промышленностью.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ BIG DATA В УПРАВЛЕНИИ ГОРНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ

В условиях цифровой трансформации промышленности использование технологий Big Data становится ключевым фактором повышения эффективности, безопасности и устойчивости горнодобывающих предприятий. Современное горное производство характеризуется большим объемом разнородных данных, поступающих от датчиков оборудования, геологоразведочных систем, спутникового мониторинга.

Big Data в горной промышленности представляет собой комплекс технологий сбора, хранения и анализа больших массивов структурированной и неструктурированной информации. Основная ценность заключается не просто в накоплении данных, а в их интеллектуальной обработке с целью выявления закономерностей, прогнозирования рисков и оптимизации производственных процессов.

Одним из ключевых направлений применения Big Data является оптимизация добычи полезных ископаемых. Анализ геологических данных позволяет точнее определять параметры месторождения, прогнозировать содержание полезного компонента и минимизировать потери при выемке. Это повышает коэффициент извлечения и снижает себестоимость продукции.

В сфере эксплуатации оборудования Big Data используется для предиктивной аналитики. На основе данных о вибрации, температуре, нагрузках и других параметрах работы машин формируются модели прогнозирования отказов. Это позволяет переходить от планово-предупредительных ремонтов к ремонту по фактическому состоянию, снижая простои и затраты на обслуживание.

В логистике и управлении карьерным транспортом анализ больших данных помогает оптимизировать маршруты движения самосвалов, сократить время простоев, уменьшить расход топлива и повысить производительность смены. Интеграция данных в режиме реального времени обеспечивает оперативное принятие управленческих решений

Важным аспектом является повышение промышленной безопасности. Системы мониторинга состояния горных выработок, концентрации газа, устойчивости бортов карьера позволяют прогнозировать аварийные ситуации и предотвращать чрезвычайные происшествия.

Кроме того, анализ больших данных способствует реализации принципов устойчивого развития и ESG-трансформации, поскольку

позволяет контролировать выбросы, энергопотребление и воздействие на окружающую среду

Однако внедрение Big Data сопровождается рядом проблем: высокой стоимостью цифровой инфраструктуры, необходимостью подготовки квалифицированных кадров, вопросами кибербезопасности и интеграции разрозненных информационных систем.

Таким образом, использование Big Data в управлении горным производством является стратегическим направлением развития отрасли. Компании, способные эффективно работать с данными, получают конкурентные преимущества за счет снижения затрат, повышения производительности, улучшения безопасности и экологической устойчивости.

Однако внедрение Big Data сопровождается рядом проблем: высокой стоимостью цифровой инфраструктуры, необходимостью подготовки квалифицированных кадров, вопросами кибербезопасности и интеграции разрозненных информационных систем. Дополнительной сложностью является необходимость адаптации традиционных методов управления производством к цифровым технологиям и большим объемам данных.

Список литературы :

1. Журавлев В.П., Каплунов Д.Р. Горное дело: учебник для вузов. М.: Горная книга, 2018.
2. Лисин В.С. Современные технологии в горной промышленности. М.: Недра, 2019.
3. Гаврилов А.В., Лоскутов А.А. Анализ больших данных: учебное пособие для вузов. — М.: Юрайт, 2020.
4. Мельников В.П. Информационные технологии в горном деле. М.: МГГУ, 2017.
5. Кузнецов С.Д. Технологии анализа данных (Data Mining). СПб.: БХВ-Петербург, 2018.

### «ЦИФРЛЫҚ ЖОБАЛАУ НЕГІЗІ: ТАУ-КЕН САЛАСЫНДАҒЫ AUTOCAD ҚОЛДАНУ ТӘЖІРИБЕСІ»

Қазіргі заманда тау-кен өндірісі қарқынды дамып, жаңа технологиялармен толықтырылуда. Өндірістің тиімділігін арттыру, қауіпсіздікті қамтамасыз ету және шығындарды азайту мақсатында цифрлық жобалау жүйелері кеңінен енгізілуде. Осындай заманауи бағдарламалардың бірі – AutoCAD. Бұл бағдарлама тау-кен саласында инженерлік сызбалар дайындау мен жобалау жұмыстарын орындауда маңызды құрал ретінде қолданылады. AutoCAD көмегімен шахталардың, карьерлердің, штректердің, оқпандардың және басқа да жер асты қазбаларының дәл жоспарлары мен сызбалары жасалады. Бұрын мұндай жұмыстар қолмен орындалатындықтан көп уақыт пен еңбек талап етілетін, ал қателік жіберу ықтималдығы жоғары болатын. Ал цифрлық форматта жобалау сызбалардың нақтылығын арттырып, жұмысты едәуір жеңілдетеді. Инженерлер қажетті өзгерістерді тез енгізіп, жобаны қысқа уақыт ішінде жаңарта алады.



Сурет 1. AutoCAD арқылы ашық карьердің 3D моделі

Бағдарламаның 2D және 3D модельдеу мүмкіндіктері кен орындарының құрылымын толық көрнекі түрде көрсетуге мүмкіндік береді. Үш өлшемді модельдер арқылы кен қабаттарының орналасуын, тау жыныстарының пішінін және қазбалардың бағытын нақты анықтауға

болады. Бұл өз кезегінде өндіріс процесін дұрыс жоспарлауға және тәуекелдерді алдын ала бағалауға көмектеседі. Сонымен қатар, AutoCAD геологиялық және маркшейдерлік деректермен біріктіріліп, кеніштің толық цифрлық картасын жасауға жағдай жасайды. AutoCAD-тың тағы бір маңызды артықшылығы – жобаларды тез өзгерту және жаңарту мүмкіндігі. Егер кеніштің геологиялық деректерінде өзгерістер болса немесе өндіріс жоспары өзгерсе, инженерлер сызбаларды оңай түзете алады. Бұл уақытты үнемдеп қана қоймай, жобалау дәлдігін де арттырады. Сонымен қатар AutoCAD бағдарламасы басқа инженерлік және геологиялық бағдарламалармен біріктіріліп жұмыс істей алады. Мысалы, геологиялық деректер базасынан алынған ақпарат AutoCAD жүйесіне енгізіліп, кен орнының толық цифрлық моделін жасауға мүмкіндік береді. Мұндай модельдер өндіріс процесін алдын ала жоспарлауға, қауіпсіздік деңгейін арттыруға және шығындарды азайтуға көмектеседі. Мұндай әдіс көп уақыт талап етіп, қателіктердің пайда болу ықтималдығын арттыратын. Қазіргі таңда AutoCAD сияқты бағдарламалардың пайда болуы жобалау процесін айтарлықтай жеңілдетті. AutoCAD қолдану өндіріс қауіпсіздігін де арттырады. Себебі жобалау кезеңінде қауіпті аймақтарды алдын ала анықтап, техниканың және жұмыс орындарының дұрыс орналасуын жоспарлауға болады. Бұл апаттардың алдын алып, жұмысшылардың денсаулығын қорғауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, автоматтандырылған есептеулер материалдық шығындарды азайтып, уақытты үнемдеуге ықпал етеді. Бүгінде AutoCAD тек сызба құралы ғана емес, ол «цифрлық кеніш» жүйесінің маңызды элементіне айналып отыр. Бағдарлама басқа ақпараттық технологиялармен, яғни деректер базасымен, 3D модельдеу және талдау жүйелерімен бірге қолданылып, өндірісті басқаруды жаңа деңгейге көтереді. Қорытындылай келе, AutoCAD бағдарламасы тау-кен саласында цифрлық жобалаудың негізгі құралы болып табылады. Ол жобалау сапасын жақсартып, жұмыстың дәлдігін арттырады, қауіпсіздікті қамтамасыз етеді және өндіріс тиімділігін көтереді. Сондықтан AutoCAD-ты қолдану – тау-кен өндірісінің болашағы мен тұрақты дамуының маңызды шарты.

*Қолданылған әдебиеттер тізімі*

1. · AutoCAD бағдарламасының ресми сайттамасы. Autodesk ресми сайты.
2. · · Liu G., Zhao H., Fu E. **Three-Dimensional Modeling of Open-Pit Based on AutoCAD and its Application**. Applied Mechanics and Materials, 2013.
3. · · Liang R., Zhang C., Li B. **Data-driven visual model development and 3D visual analytics framework for underground mining**. Tunnelling and Underground Space Technology, 2024.
4. · · Saganiak K., Buketov V. **Integrating mining software, CAD and GIS technologies for enhanced 3D geological mapping and visualization**. E3S Web of Conferences, 2024.
5. · · Yang Y., Sun Y., Wang Y. **Exploring 3D Roadway Modeling Techniques Using CAD and Unity3D**. Processes (MDPI), 2025.

## ПРОБЛЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ПРИ АВАРИЯХ БПЛА В ХОДЕ ЦИФРОВОЙ-АЭРОФОТОСЪЕМКИ

Съемка при помощи БПЛА применяется для создания топографических карт и цифровых моделей местности. По правилам использования дронов владельцы беспилотников обязаны зарегистрировать его, при условии, что вес составляет более 250 грамм, если беспилотный аппарат оснащён камерой или датчиком для сбора информации, то независимо от его веса он подлежит обязательной регистрации. Если запуск дрона осуществляется в густонаселенных районах обязательно нужно получить разрешение в Авиационном комитете. Полет должен проходить на высоте не более 200м. при дневном свете и благоприятных погодных условиях, управляется оператором и находится в его поле зрения. За нарушение правил или незаконное использование воздушных аппаратов приводит к ответственности, которая прописана в Кодексе об административных правонарушениях, часть 3, статья 563: штраф от 10 до 25 МРП, с возможной конфискацией аппарата.

В Казахстане завершили крупный проект по обеспечению цифровизации геоданных. Все города, районы и районные центры страны включены в цифровую- аэрофотосъемку. С января 2025 года начала действовать государственная система QazTRF-23, которая обеспечивает доступ к пространственным данным, помогает в управлении данными, улучшает сферу строительства. Реализация данных инициатив, показывает, что программа «Цифровой Казахстан» демонстрирует высокое развитие.

Однако настолько массовое внедрение беспилотных технологий, вызывает ряд проблем и вопросов. Особенно актуальной проблемой является юридическая ответственность за ситуации при использовании БПЛА.

Рассмотрим несколько вариантов:

1. В случае столкновения профессиональных БПЛА с жилыми домами, транспортными средствами, нежилыми помещениями (частной собственностью), считается за деятельность, создающую повышенную опасность для окружающих и согласно статье 931 ГК РК, «владельцы обязаны возместить ущерб, если не докажут того, что вред был нанесен в результате непреодолимой силы или умысла пострадавшего». Так же существует статья 917 ГК РК: «вред, причинённый неправомерными действиями, подлежит возмещению тем лицом, которое нанесло ущерб в полном объеме». В случае причинения вреда работником при исполнении

трудовых обязанностей, согласно статье 921 ГК РК, «юридическое лицо или гражданин будет возмещать вред, нанесённый его сотрудником.

2. При незаконной съёмке с БПЛА частной территории и людей (без их согласия) будет считаться правонарушением. Которое подкрепляется статьей 18, частью 1 Конституции РК, которая гласит, «что каждый человек имеет право на неприкосновенность частной жизни, личную и семейную тайну». Так же существует статья 145 ГК РК, которая гласит, «что никто не имеет права использовать изображение человека без его согласия», «публикация, использование и распространение изображения с лицом человека, возможно лишь с его разрешения». Если на снимке аэрофотосъёмки можно распознать личность человека, а у компании нет разрешения от этого гражданина – это является прямым нарушением закона. В случае, когда на снимке виден силуэт и невозможно распознать его личность, их можно использовать без согласия человека.

3. Полеты проходят по специальным правилам. Для открытой съёмки правилами является: проверка, что прохождение полета будет вне густонаселенных районах, запретных и опасных зон. Полет должен проходить в радиусе 50 м. при запуске или посадке должны отсутствовать люди, транспортные средства, здания. Запуск дрона обязательно отменить, если погодные условия не позволяют. Запрещено управлять сразу двумя устройствами с одного пульта. Персональная ответственность за обеспечение авиационной безопасности лежит на операторе БПЛА. При столкновении двух летательных аппаратов, ответственность будет нести тот оператор, который нарушил правила полёта, сделал резкий маневр и не убедился позволяет ли сделать это пространство. В ходе поиска виновного будет использоваться протокол полета. Виновная сторона обязана возместить полную стоимость дрона или его ремонт.

Беспилотные технологии являются ведущим инструментом в развитии цифровизации Казахстана. При этом профессиональное использование БПЛА требует хорошего образования, навыков управления, понимание и знание законов. Важно соблюдать правила авиационной безопасности. И работа с дронами, будет приносить пользу и снизит риск возникновения юридических споров. Рассмотренные случаи показывают, что законодательство РК учло эту проблему и приняло решения для урегулирования этой сферы.

#### **Список использованных источников**

1. Казахстан завершил цифровую аэрофотосъёмку всех городов и районов. Информационный портал Mobilaser/kz/
2. Ханнанов, Р. Р. Геодезическое обследование каркаса котлоагрегата в условиях ограниченной видимости / Р. Р. Ханнанов, А. В. Михнев // Труды университета. – 2023. – № 4(93). – С. 158-163. – DOI 10.52209/1609-1825\_2023\_4\_158.

***Цифрландыру дәуіріндегі Геология:  
деректер, модельдер, болжамдар***



## DIGITAL TRANSFORMATION OF GEOLOGICAL SCIENCES: DATA INTEGRATION AND PREDICTIVE MODELING

The rapid development of digital technologies has significantly transformed geological science, shifting it from a primarily descriptive discipline to a data-intensive and computationally advanced field. In the era of digitalization, geology increasingly relies on large-scale data integration, numerical modeling, and predictive analytics to investigate complex Earth systems. The application of geographic information systems (GIS), remote sensing, artificial intelligence, and high-performance computing has improved both the accuracy and efficiency of geoscientific research.

Modern geological studies generate extensive volumes of heterogeneous data obtained from satellite imagery, seismic surveys, borehole logging, geochemical analyses, LiDAR scanning, and unmanned aerial systems. These datasets require advanced data management infrastructures capable of storage, processing, and integration. Cloud computing platforms and standardized digital formats facilitate interdisciplinary collaboration and enable the synthesis of geological, geophysical, and geochemical information within unified analytical frameworks. The implementation of metadata standards, automated data processing pipelines, and digital archiving systems further enhances the reproducibility, transparency, and long-term accessibility of scientific results.

Remote sensing technologies constitute a fundamental component of digital geology. Multispectral and hyperspectral satellite data allow for the identification of lithological units and mineral compositions based on spectral characteristics. Airborne geophysical methods provide insights into subsurface structures, reducing uncertainty in exploration activities. Additionally, continuous monitoring systems based on GNSS and interferometric radar technologies enable precise measurements of crustal deformation, volcanic activity, and land subsidence, contributing to more reliable geohazard assessment and early warning systems. Computational modeling has become central to modern geological research. Numerical simulations grounded in physical principles—such as thermodynamics, fluid dynamics, and rock mechanics—allow for the reconstruction of long-term geological processes, including basin evolution, magma migration, and fluid circulation. Three-dimensional subsurface models integrate seismic and drilling data to support mineral and hydrocarbon exploration, reducing geological risk and improving strategic decision-making. Geostatistical methods further enhance resource estimation through probabilistic analysis of spatial variability and uncertainty quantification.

Machine learning techniques have expanded analytical capabilities in geology. Algorithms such as neural networks, gradient boosting, and random forests are applied to seismic interpretation, lithological classification, mineral prospectivity mapping, and anomaly detection. These approaches identify complex patterns within multidimensional datasets and support data-driven predictions. Although precise short-term earthquake prediction remains scientifically unattainable, probabilistic hazard assessments have improved significantly due to advanced computational methods, continuous data acquisition, and integrated monitoring networks.

Digitalization also contributes to sustainable resource management and environmental monitoring. Integrated modeling systems allow scenario-based evaluations of mining impacts, groundwater extraction, carbon storage, and infrastructure development. By optimizing exploration strategies, reducing operational risks, and minimizing environmental disturbance, digital tools promote more responsible and sustainable use of natural resources while supporting climate-related studies.

Despite its advantages, the digital transformation of geology presents challenges related to data management, computational infrastructure, cybersecurity, and interdisciplinary training. The increasing complexity of digital systems requires geoscientists to develop competencies in programming, data analytics, and model validation. Nevertheless, the integration of advanced technologies continues to redefine geological research. As digital methodologies evolve, geology increasingly operates at the intersection of Earth science and data science, enhancing predictive capacity, supporting informed decision-making, and strengthening societal resilience to natural and anthropogenic hazards.

In this context, the long-term significance of digital transformation extends beyond technical efficiency. It reshapes institutional frameworks, regulatory practices, and international collaboration in Earth sciences. Open-data initiatives, interoperable platforms, and standardized metadata systems enable cross-border exchange of geological information, accelerating innovation and reducing duplication of effort. At the same time, transparent modeling workflows improve accountability in resource governance and environmental assessment. As digital ecosystems mature, geology becomes not only more analytical but also more participatory, integrating stakeholders from industry, academia, and public administration.

*List of sources used:*

1. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. *Deep Learning*. — Cambridge (MA) : MIT Press, 2016.
2. Witten I.H., Frank E., Hall M.A., Pal C.J. *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*. — Burlington (MA) : Morgan Kaufmann, 2025.
3. Jensen J.R. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. — Boston : Pearson, 2025.
4. Fossen H. *Structural Geology*. — Cambridge : Cambridge University Press, 2024.

## ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND MACHINE LEARNING IN GEOLOGY

In the 21st century, geology is developing under conditions of rapid data growth and increasing complexity of tasks related to the study of the Earth's subsurface. Classical geological research methods based on field observations and expert interpretation remain fundamental to the science; however, they are increasingly complemented by digital technologies. Among these, artificial intelligence and machine learning occupy a special place, as they open new opportunities for data analysis, modeling, and forecasting of geological processes.

The relevance of implementing intelligent algorithms in geology is determined by several factors. First, modern geological exploration operates with large volumes of heterogeneous data, including geophysical measurements, drilling results, geochemical analyses, and remote sensing materials. Second, there is a growing need to improve the accuracy of predictions while simultaneously reducing economic and environmental risks. Under these conditions, artificial intelligence becomes an important tool for increasing the efficiency of geological research.

Machine learning is a branch of artificial intelligence based on algorithms capable of independently identifying patterns in data. In geology, the most widely used methods include classification, clustering, regression analysis, and neural networks. Their application allows the automation of data processing and reduces subjectivity in interpretations, which is particularly important when studying complex geological objects.

One of the key areas of artificial intelligence application is mineral exploration and resource assessment. Machine learning algorithms analyze a combination of geological indicators such as lithology, tectonic structures, geochemical anomalies, and geophysical fields. Based on this analysis, predictive maps are created that reflect the probability of mineralization. According to international studies, the use of intelligent models increases the efficiency of exploration activities and reduces the number of unproductive drilling operations.

For Kazakhstan, which possesses significant mineral resource potential, this direction is of particular importance. In Central and Eastern Kazakhstan, machine learning methods are applied to analyze data on copper, uranium, and polymetallic deposits. The use of digital models contributes to more accurate resource estimation and optimization of exploration stages, which is especially relevant for deep and hard-to-recover deposits.

Artificial intelligence has also achieved significant development in the interpretation of geophysical data, particularly seismic data. Seismic exploration

generates massive volumes of information, the processing of which using traditional methods requires considerable time and expertise. Neural networks are capable of automatically identifying reflecting horizons, faults, and zones of increased fracturing. This improves the accuracy of geological cross-sections and three-dimensional subsurface models. In the oil and gas regions of Kazakhstan, including the Caspian Depression, such technologies are used to refine the structure of productive reservoirs and assess their development potential.

Another important direction is the creation of digital geological models and so-called “digital twins” of deposits. These models integrate different types of data and allow the analysis of geological processes in space and time. Machine learning ensures continuous model adaptation as new data become available, making them more flexible and accurate.

Artificial intelligence plays a special role in forecasting geological hazards. The analysis of satellite imagery, geodetic monitoring data, and historical observations makes it possible to identify areas of increased risk for earthquakes, landslides, and ground subsidence. In the seismically active regions of southern and southeastern Kazakhstan, digital methods are used to assess seismic hazard and develop measures to reduce risks to infrastructure and population.

The environmental aspect of artificial intelligence application in geology is also of great importance. Intelligent technologies are used to monitor soil and groundwater contamination in mining areas. Algorithms make it possible to predict the spread of pollutants and assess the long-term consequences of anthropogenic impact. This approach corresponds to modern principles of sustainable development and environmentally responsible subsoil use.

Artificial intelligence and machine learning are becoming essential components of modern geology, significantly expanding the analytical and predictive capabilities of the science. Their application allows more efficient use of accumulated data, improves the accuracy of geological models, and reduces uncertainty in decision-making. Under conditions of intensive natural resource development, such technologies acquire strategic importance.

For Kazakhstan, the implementation of intelligent methods in geology opens new prospects for rational use of mineral resources and increasing the competitiveness of the geological industry. However, effective application of artificial intelligence is possible only through close integration of digital technologies with fundamental geological knowledge. In this context, the training of specialists who possess both classical geological competencies and modern digital skills becomes one of the key tasks of higher education and scientific research.

*List of used sources:*

1. Bishop, C. M. *Pattern Recognition and Machine Learning*. Springer, New York, 2006.
2. Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. *Deep Learning*. MIT Press, Cambridge, 2016.
3. Zhang, J., Zuo, R., Xiong, Y. *Machine learning-based mineral prospectivity mapping: A review*. *Ore Geology Reviews*, 2019, Vol. 109, pp. 103–122.

DIGITIZATION OF EARTH SURFACE MONITORING BASED ON UAVS  
USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS

The digital transformation of scientific and technical industries is driving the active adoption of intelligent technologies in the collection and analysis of spatial data. Monitoring the Earth's surface is an important task in modern geodesy and remote sensing, enabling us to assess the condition of natural objects, monitor infrastructure, and identify terrain changes. In modern conditions, advances in unmanned aerial vehicles and artificial intelligence methods are enabling us to move toward automated monitoring systems that can process large volumes of data and deliver rapid results.

The use of unmanned aerial vehicles enables the acquisition of highly detailed images of the Earth's surface with high accuracy and regularity. The data collected undergoes photogrammetric processing, resulting in orthophotomaps and digital terrain models that reflect the current state of the territory. These materials serve as the basis for subsequent analysis and are used in various tasks, including deformation control, assessment of the condition of natural objects, and monitoring changes in the anthropogenic environment. The main advantage of using UAVs is the ability to quickly update information and monitor large areas at a relatively low cost.

A key stage in the digitalization of monitoring is the use of artificial intelligence methods to analyze geospatial data. Modern machine learning algorithms and neural networks make it possible to automate the processing of aerial photographs and significantly speed up the delivery of results. Artificial intelligence is capable of recognizing objects in images, including buildings, roads, water bodies, and vegetation, which greatly simplifies data interpretation and increases the accuracy of analysis. Automatic recognition reduces information processing time and minimizes the human factor.

One important application of artificial intelligence is the classification of the Earth's surface by land cover type. Machine learning algorithms allow the territory to be divided into different categories, such as built-up areas, vegetation, water bodies, and open land. This is used in environmental monitoring, land-use planning, and land-use analysis. Thanks to the high speed of data processing, it is possible to analyze large areas in a short period of time, which significantly increases the efficiency of monitoring.

The use of artificial intelligence methods to identify changes in the Earth's surface is of particular importance. Comparing digital models obtained at different times allows for the detection of relief deformations, ground subsidence, and other geodynamic processes. The integration of UAV-derived data with cloud-based

geospatial platforms further strengthens the analytical potential of digital monitoring systems. Modern workflows increasingly rely on distributed computing environments, where orthophotomaps, digital elevation models, and classified surface layers are processed in real time. This architecture allows multiple stakeholders—engineers, environmental specialists, and urban planners—to access updated spatial information simultaneously, facilitating coordinated decision-making. The convergence of UAV surveying, artificial intelligence, and cloud infrastructure forms a unified digital ecosystem in which data acquisition, analysis, and visualization are interconnected stages of a continuous process.

An additional dimension of intelligent monitoring is the enhancement of spatial accuracy through sensor fusion. The combination of high-resolution optical imagery with LiDAR scanning, multispectral cameras, and GNSS positioning systems improves the reliability of terrain reconstruction. Artificial intelligence algorithms can integrate heterogeneous datasets, compensating for noise and measurement errors while refining object boundaries and surface models.

The development of explainable artificial intelligence (XAI) is becoming increasingly important in geospatial applications. Since monitoring results may influence infrastructure safety decisions or environmental regulation, transparency in algorithmic reasoning is essential. Methods for visualizing decision boundaries, confidence intervals, and classification reliability contribute to trust in automated systems. The incorporation of uncertainty assessment into spatial analysis enhances the robustness of monitoring outcomes and ensures that critical decisions are supported by quantifiable indicators.

*List of used sources:*

1. Colomina I., Molina P. *Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review* // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. — 2014. — Vol. 92. — P. 79–97.
2. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. *Deep Learning*. — Cambridge: MIT Press, 2016. — 800 p.

### 3D MODELING OF MINERAL DEPOSITS IN THE ERA OF GEOLOGICAL DIGITALIZATION

The ongoing digital transformation of the geological industry is fundamentally changing the way subsurface resources are studied, evaluated, and managed. The rapid growth of computing power, the availability of large geological datasets, and the development of advanced visualization tools enable specialists to move beyond traditional descriptive approaches toward integrated digital analysis. In this context, three-dimensional modeling of mineral deposits has become a central technology that supports exploration, reserve estimation, and long-term planning of mining operations.

The importance of 3D geological modeling stems from the increasing complexity of modern exploration projects and the need to reduce decision-making uncertainty. Conventional geological maps and cross-sections provide only limited spatial understanding, while mineral deposits often demonstrate highly heterogeneous structures and irregular distribution of ore grades. Digital volumetric models allow researchers to combine information from drilling, laboratory analysis, and geophysical surveys into a single interpretative environment, improving both scientific reliability and economic efficiency of geological projects.

Three-dimensional modeling of mineral deposits represents a systematic process of constructing a digital spatial representation of geological structures using integrated datasets. The creation of such models begins with the compilation and verification of primary geological information. These data typically include drill-hole logs, lithological descriptions, sampling results, geophysical measurements, and topographic coordinates. Ensuring data quality at this stage is essential, as inconsistencies or errors may significantly affect the reliability of the final geological interpretation.

After the initial database is prepared, specialized modeling software is applied to interpret geological boundaries and structural relationships. Experts define stratigraphic horizons, fault systems, and mineralized zones, gradually building a structural framework of the deposit. This framework serves as the basis for generating surfaces that describe the geometry of rock layers and ore bodies in three-dimensional space. Compared to traditional manual drafting, digital interpretation makes it possible to update models quickly when new exploration data becomes available, thereby maintaining the relevance of geological conclusions throughout the project lifecycle.

A key stage of the modeling workflow is the development of a block model, in which the entire deposit volume is subdivided into numerous small cells. Each cell is assigned quantitative attributes such as ore grade, density, porosity, or mineral composition. These parameters are calculated using geostatistical methods that account for spatial variability and correlation between sampling points. As a result, the block model becomes a powerful analytical tool for calculating reserves, estimating resource quality, and evaluating potential extraction strategies under different technical and economic conditions.

The practical value of 3D geological models extends beyond visualization. Such models enable engineers and geologists to simulate mining scenarios, optimize pit design or underground layouts, and forecast possible geological risks. For example, digital modeling helps identify unstable structural zones, water-bearing formations, or areas with abrupt changes in ore quality. Early detection of such features contributes to improved safety planning and reduces the likelihood of unexpected operational complications during extraction.

Within the broader framework of geological digitalization, three-dimensional modeling is increasingly integrated with geographic information systems, machine learning algorithms, and automated data-processing platforms. Machine learning tools can help recognize geological patterns, predict ore distribution, and accelerate the interpretation of large exploration datasets. Cloud technologies further enhance this process by allowing distributed teams of specialists to access shared geological databases and modeling environments in real time. This collaborative digital ecosystem improves transparency, speeds up project workflows, and supports evidence-based management decisions in the mineral resource sector.

In conclusion, three-dimensional modeling of mineral deposits is one of the most significant technological components of modern digital geology. It provides a comprehensive spatial understanding of subsurface structures, increases the accuracy of reserve estimation, and supports safer and more efficient mining design. The integration of 3D modeling with geostatistics, artificial intelligence, and cloud-based data systems expands the analytical capabilities of geological research and reduces uncertainty in exploration outcomes.

#### **References**

1. Goodwin A.M. *Geological modeling of mineral deposits*. Moscow: Nedra Publ., 2019. 312 p.
2. Sokolov I.V., Petrov D.A. *Digital technologies in geological exploration*. Saint Petersburg: Mining University Press, 2021. 248 p.
3. Isaaks E.H., Srivastava R.M. *Applied geostatistics*. New York: Oxford University Press, 1989. 561 p.



## GEOLOGY IN THE DIGITAL ERA: DATA, MODELS, AND FORECASTS

In the modern era, digital transformation is fundamentally changing approaches to the study of the Earth's interior, turning geology into a high-tech discipline that uses huge amounts of data. Today, traditional field research methods are being complemented and rethought through the lens of artificial intelligence, cloud computing, and predictive analytics. The need for effective exploration of deep-lying deposits, monitoring of climate change, and ensuring geo-ecological safety requires a transition from static maps to dynamic digital ecosystems. The main purpose of this study is to analyze the role of digitalization in modern geology, consider intelligent modeling methods, and evaluate their impact on the accuracy of predictive decisions.

The digital tools of modern geology are based on three strategic directions. The first area is remote sensing and autonomous data collection systems. The use of hyperspectral satellite imagery and unmanned aerial vehicles (UAVs) equipped with lidars and magnetometers makes it possible to obtain ultra-accurate data on hard-to-reach regions without direct human intervention. The second direction is centered around the concept of the "Digital Twin" of the deposit. It is a multidimensional mathematical model that integrates geophysical, geochemical, and hydrogeological parameters in a single virtual space, allowing you to simulate mining processes and predict reservoir behavior with unprecedented accuracy. The third area involves the application of machine Learning algorithms to interpret seismic data. Neural networks are able to recognize hidden patterns in Big Data arrays, identifying anomalies that may indicate the presence of minerals that are inaccessible to standard statistical analysis methods.

The integration of digital technologies provides a qualitative leap in the efficiency of exploration work. Predictive models make it possible to reduce the volume of expensive exploratory drilling by 20-30%, focusing efforts on the most promising areas. In addition, digitalization significantly increases the level of industrial safety: automated monitoring systems monitor the geomechanical condition of rock formations in real time, preventing landslides and man-made disasters. Nevertheless, the transition to "digital geology" is fraught with a number of challenges. An acute problem remains the lack of standardization of data formats and the need for huge computing power to process geophysical simulations. The industry is also in need of a new type of specialist, "geoinformatics", with expertise in both classical geosciences and Data Science.

The prospects for the development of the industry are related to the creation of global geological cloud platforms that ensure seamless data exchange between

scientific institutions and mining companies. Further development of quantum computing may lead to a revolution in modeling complex thermodynamic processes occurring in the bowels of the planet for millions of years. In conditions of depletion of readily available resources, it is digital competence that will become the determining factor in ensuring the mineral resource security of states.

The digitalization of geology is not just a change of tools, but a new scientific paradigm. The transition from intuitive interpretation to evidence-based analysis based on algorithms makes it possible to minimize investment risks and environmental damage. Successful adaptation of Big Data and artificial intelligence technologies will be the key to the sustainable development of the mining and energy industries in the long term.

At the same time, the epistemological foundations of geological interpretation are being reconsidered. Classical structural analysis was traditionally based on deterministic representations of faults, horizons, and lithological boundaries. In the digital paradigm, these objects are increasingly described in probabilistic terms. Instead of a single interpreted surface, models generate volumes of uncertainty, confidence intervals, and scenario-based reconstructions. Such an approach does not weaken scientific rigor; on the contrary, it makes assumptions transparent and quantifiable. Uncertainty becomes a measurable parameter that can be managed through additional data acquisition and iterative recalibration of models.

Another transformative component is real-time data assimilation. As new drilling results, geochemical assays, or seismic profiles are obtained, they are immediately integrated into centralized platforms. Adaptive algorithms update structural interpretations and resource estimates without waiting for the completion of entire field campaigns. This feedback loop shortens the exploration cycle and enables dynamic decision-making. Geological projects thus evolve from linear sequences of stages into continuously optimized processes supported by automated analytics.

The environmental dimension of digital geology is equally significant. Integrated monitoring systems combine satellite observations, groundwater sensors, and geomechanical measurements to evaluate the long-term impacts of extraction. Predictive models simulate subsidence, contamination pathways, and carbon storage stability, supporting responsible land-use planning. By linking geological forecasting with climate modeling, digital platforms contribute to assessing geothermal potential, carbon sequestration capacity, and resilience to natural hazards. In this context, geology becomes an essential component of global sustainability strategies.

*List of sources used:*

1. Petrov, A.V. *Digital Transformation of Geoscience: From Databases to AI*. — Moscow: Nedra-Business, 2024. — 280 p.
2. Smith, J.K., & Richardson, M. *Intelligent Modeling in Mineral Exploration*. — Houston: GeoTech Press, 2023. — 315 p.

## GEOINFORMATION SYSTEMS AND SUSTAINABLE SUBSOIL MANAGEMENT: ANALYTICS, INTEGRATION, AND STRATEGIC DECISIONS

The accelerated development of digital technologies is fundamentally transforming the methodological foundations of geological science. Modern geology is evolving from a predominantly descriptive field based on field observations into a complex analytical discipline operating within integrated digital environments. The combination of geoscience with artificial intelligence, high-performance computing, geoinformation systems, and advanced data analytics creates a new research paradigm in which conclusions are derived from multidimensional data interpretation rather than solely from empirical intuition.

The relevance of this topic is determined by the growing demand for efficient mineral resource management, environmental sustainability, and risk reduction in the mining industry. Conventional exploration strategies, traditionally focused on localized surveys and manual interpretation, are gradually being replaced by systemic digital frameworks. In these frameworks, satellite imagery, geophysical measurements, geochemical analyses, and drilling results are combined into unified information platforms. The purpose of this thesis is to examine how digital technologies reshape geological forecasting, modeling accuracy, and strategic decision-making in resource development.

One of the primary directions of transformation is automated data acquisition. Remote sensing technologies, satellite monitoring systems, unmanned aerial vehicles, and ground-based sensor networks continuously collect large volumes of geological and environmental data. These tools significantly expand spatial coverage and enable the detection of structural, tectonic, and geochemical anomalies with high precision. As a result, even remote and inaccessible regions can be evaluated effectively, reducing operational costs and minimizing environmental disturbance.

Another crucial component of digital geology is the creation of integrated three-dimensional subsurface models. These models synthesize stratigraphic, tectonic, hydrogeological, and geophysical parameters into a single simulation space. By digitally reconstructing subsurface structures and processes, specialists can test various development scenarios, estimate reservoir behavior, and assess long-term productivity. Such modeling systems serve not only as analytical instruments but also as decision-support tools for sustainable resource management.

The implementation of machine learning algorithms in seismic interpretation represents an additional breakthrough. Intelligent systems trained on extensive datasets are capable of identifying subtle patterns and correlations that may remain undetected through conventional statistical methods. Unlike static analytical approaches, adaptive algorithms continuously improve as new data are introduced, increasing the reliability of forecasts and enhancing the probability of discovering economically viable deposits.

Digital transformation also strengthens industrial safety and environmental monitoring. Real-time control of geomechanical parameters allows early detection of instability in rock masses, preventing landslides, collapses, and other technogenic hazards. At the same time, predictive environmental models help evaluate the long-term ecological consequences of extraction activities, supporting sustainable development principles and responsible resource utilization.

However, the transition to fully digital geological systems presents several challenges. These include the necessity of data standardization, cybersecurity concerns, substantial computational energy requirements, and the shortage of interdisciplinary professionals who possess both geological expertise and advanced data science competencies. Educational institutions must therefore adapt their programs to prepare specialists capable of working effectively at the intersection of Earth sciences and digital technologies.

In the long term, the development of global digital geological platforms may facilitate seamless collaboration between research institutions, governmental agencies, and industrial enterprises. Continuous advancement in computational modeling and data processing technologies will deepen scientific understanding of subsurface processes and strengthen national mineral resource security.

In conclusion, digitalization in geology represents not merely the adoption of new tools but a comprehensive transformation of scientific methodology. The integration of artificial intelligence, big data analytics, and simulation modeling establishes a new paradigm in which predictive accuracy, operational efficiency, and environmental responsibility are interconnected components of a unified digital ecosystem. The future competitiveness of the mining and energy sectors will largely depend on the effective implementation of these digital innovations.

#### *List of Used Sources*

1. Brown, T. L. *Digital Innovation in Geoscience: Data-Driven Approaches to Subsurface Analysis*. — London: Earth Science Publishing, 2024. — 295 p.
2. Williams, R., & Chen, H. *Machine Learning Applications in Mineral Exploration and Seismic Interpretation*. — New York: Springer Geoscience, 2023. — 322 p.
3. Kumar, S. *Geoinformatics and 3D Geological Modeling: Modern Tools for Resource Management*. — Singapore: Global Academic Press, 2025. — 248 p.
4. Anderson, P. J. *Remote Sensing Technologies in Geological Research*. — Toronto: Northern Geology Press, 2022. — 276 p.

## COGNITIVE GEOLOGY AND PREDICTIVE MODELING: THE TRANSFORMATION OF MINERAL EXPLORATION IN THE DIGITAL AGE

The global mining and petroleum industries have reached a critical juncture. The era of "easy-to-find" resources is over; most remaining deposits are located at great depths, within complex stratigraphic traps, or in environmentally sensitive areas. Traditional geological methods, which rely heavily on human intuition and manual data processing, are increasingly unable to handle the vast volumes of information generated by modern geophysical tools.

Digital transformation represents a move toward "Data-Driven Geology." In this new framework, the geological model is not a static map but a living, evolving mathematical entity. The primary objective of this transformation is to mitigate "geological risk"—the inherent uncertainty that accounts for billions of dollars in lost investments annually. By utilizing high-performance computing (HPC) and neural network architectures, the industry can now identify patterns in subsurface structures that were previously invisible to the human eye.

### 1. Advanced Machine Learning in Geophysical Interpretation

Seismic exploration remains the most data-intensive stage of the exploration cycle. The integration of Artificial Intelligence has revolutionized how we process these massive datasets. Seismic Facies Recognition: Modern Convolutional Neural Networks (CNNs) are now routinely trained to identify complex seismic facies, faults, and salt bodies. Unlike human interpreters, these algorithms can analyze hundreds of seismic attributes simultaneously, providing a level of objectivity and speed that was previously unattainable. Signal Restoration and Noise Reduction: Machine learning algorithms based on Generative Adversarial Networks (GANs) are used to reconstruct missing data and remove noise from seismic records obtained in difficult terrains, such as urban areas or offshore environments with high interference.

Automated Lithology Prediction: By integrating well-logging data with 3D seismic cubes, AI models can predict the porosity and permeability of a formation in the inter-well space with high statistical confidence, allowing for more accurate reservoir characterization.

2. Dynamic Digital Twins and 4D Modeling. The concept of a static 3D model is being replaced by the "Digital Twin" (DT). This technology creates a virtual replica of a physical deposit that is updated in real-time as new drilling or production data arrives.

Real-time Geosteering and LWD: During the drilling of horizontal wells, Logging While Drilling (LWD) sensors transmit high-speed data to the surface.

AI-powered geosteering systems analyze this data instantly to adjust the well trajectory, ensuring the drill bit stays within the most productive part of the reservoir (the "sweet spot"). Stochastic Realizations: Traditional models often provide a single "best-case" scenario. AI allows for the generation of thousands of stochastic realizations. This probabilistic approach enables engineers to calculate P10, P50, and P90 reserve estimates, providing a rigorous scientific basis for economic risk assessment and capital allocation. Smart Reservoir Management: By continuously integrating pressure and flow rate data, the digital twin self-corrects its internal parameters, identifying bypass oil zones or unexpected faults that could affect long-term recovery factors.

### 3. Automation of Field Operations and Laboratory Analytics

Digitalization is not confined to the office; it has moved into the field through advanced robotics and remote sensing. Hyperspectral Core Scanning: Automated core logging systems now use hyperspectral imaging to identify mineral species non-destructively. Machine learning algorithms classify mineralogy and alteration zones at a millimeter scale, providing a level of detail that manual logging cannot match. UAV-based Exploration: Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) equipped with miniaturized magnetometers and LiDAR are transforming surface mapping. They allow for high-resolution surveys in inaccessible regions (e.g., mountains or dense forests), significantly reducing the cost and safety risks associated with traditional ground surveys.

### 4. The Challenge of "Explainable AI" (XAI) in Geoscience

The rapid adoption of AI has introduced the "Black Box" challenge—the difficulty of understanding how a deep learning model reaches a specific conclusion. For the future of geology, the focus is shifting toward **Explainable AI (XAI)**. This technology ensures that AI-generated predictions are grounded in physical laws and can be audited by human experts. The geologist's role is evolving from a data collector to a "Model Validator," who oversees the interaction between machine intelligence and geological reality.

The digitalization of geology is an irreversible process that marks the transition to a more efficient and sustainable mining industry. The integration of AI, Big Data, and robotics allows companies to maximize the potential of existing fields and make the exploration of frontier regions economically viable. Cognitive geology will be the cornerstone of the next resource cycle, where success is determined not just by the quality of the rock, but by the quality and processing speed of the data associated with it.

#### References

1. Goodfellow, I., Bengio, Y., and Courville, A. (2016). Deep Learning. MIT Press.
2. Bergen, K. J., et al. (2019). Machine learning for data-driven discovery in solid Earth geosciences. *Science*, Vol. 363, No. 6433.
3. Karpatne, A., et al. (2018). Machine Learning for the Geosciences: Challenges and Opportunities. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, Vol. 31, No. 8.

GEOLOGY IN THE ERA OF DIGITALIZATION: DATA, MODELS,  
AND FORECASTS

In the 21st century, geology is undergoing a structural transformation driven by large-scale digitalization. The discipline, traditionally associated with field surveys, drilling operations, and manual interpretation of cross-sections, is increasingly becoming data-centered and computational. Digital technologies have altered not only the methods of storing geological information but also the epistemological foundations of subsurface research. Geological analysis is now performed through integrated datasets, three-dimensional modeling, and predictive algorithms that expand the analytical capacity of Earth sciences.

A central element of this transformation is geological data itself. Information derived from drilling, well logging, seismic surveys, satellite imagery, geochemical testing, and laboratory analysis forms a heterogeneous but interconnected system. Previously, such data were stored in isolated archives or incompatible formats, limiting their analytical potential. Modern digital databases and cloud infrastructures provide centralized storage, standardization, and real-time accessibility. Geographic information systems enable spatial visualization, while Big Data technologies allow processing of massive datasets that exceed the capabilities of traditional analytical methods. As a result, geological information has become a strategic resource, requiring systematic management and advanced computational tools.

Three-dimensional subsurface modeling represents one of the most significant technological advancements in contemporary geology. Unlike conventional two-dimensional maps, volumetric models reconstruct geological structures in spatial context, allowing more accurate estimation of reserves and structural features. These models are based on interpolation algorithms, probabilistic statistics, and numerical simulations of geological processes. An important extension of this approach is the development of digital twins of mineral deposits. A digital twin functions as a dynamic virtual replica continuously updated with new geological and operational data. This enables simulation of extraction scenarios, assessment of geomechanical stability, and optimization of production strategies. Decision-making thus becomes evidence-based and analytically supported rather than predominantly empirical.

Predictive analytics and artificial intelligence further enhance the analytical depth of geological research. Machine learning algorithms identify non-linear correlations within complex datasets, facilitating detection of mineralization zones, lithological classification, automated well log interpretation, and risk assessment. AI systems process both structured and unstructured data, increasing

forecast accuracy and reducing uncertainty in exploration projects. Importantly, computational models do not substitute professional expertise; instead, they complement it. Geologists formulate conceptual frameworks and validate model outputs, while algorithms provide probabilistic evaluation and pattern recognition. This synergy strengthens the reliability of geological interpretation.

The digital transformation of geology provides clear advantages: improved precision of models, accelerated data processing, reduced financial risks, and optimized drilling strategies. More accurate targeting decreases unnecessary resource expenditure and supports sustainable development. At the same time, significant challenges remain. Standardization of geological data across institutions is complex, given variations in measurement techniques and reporting systems. High costs of specialized software and computational infrastructure may restrict access for smaller organizations. Moreover, the field requires professionals with interdisciplinary competencies combining geology, mathematics, programming, and data science. Issues of cybersecurity and long-term data protection are becoming increasingly relevant within integrated digital environments.

Future development of geology is closely associated with automation, neural network integration, and expansion of global data platforms. Advances in high-performance computing and cloud technologies will enable near real-time modeling of geological processes. Predictive simulations of natural hazards—such as landslides, seismic events, and ground subsidence—will enhance not only economic planning but also public safety. Field investigations are expected to become more targeted, guided by algorithmically identified priority zones.

Thus, geology is evolving into a high-technology discipline grounded in data integration, computational modeling, and predictive analytics. Geological information has acquired strategic value, and digital tools serve as essential instruments for understanding complex subsurface systems. The synthesis of Earth sciences with information technologies forms a new research paradigm that increases analytical accuracy, reduces uncertainty, and supports sustainable resource management.

*List of sources used:*

1. Carranza E.J.M. *Geostatistics for Geoscientists: Applications in Resource Estimation and Modeling*. — Amsterdam: Elsevier, 2019.
2. Hengl T., Heuvelink G.B.M. *Spatial Prediction Methods and Digital Soil Mapping*. — Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2018



## DIGITAL APPROACHES TO NATURAL HAZARD FORECASTING: DATA INTEGRATION, MODELING, AND PREDICTIVE ANALYTICS

Against the backdrop of global climatic instability and increasing anthropogenic pressure on the lithosphere, ensuring the safety of urbanized territories has become a critical priority. For a long time, traditional approaches to assessing geological hazards—such as seismic activity, landslide processes, and mudflows—relied on retrospective analysis and field mapping. However, these methods are characterized by low operational speed and limited predictive potential. The current stage of development in geosciences is marked by a transition toward intelligent digital ecosystems. Today, the foundation of forecasting is shifting from the discrete study of isolated incidents to the synthesis of high-frequency data streams and computational algorithms [1]. This study analyzes how digital integration transforms risk assessment methodology, evolving it from a descriptive discipline into a high-precision system of probabilistic scenario planning. [1].

Modern monitoring of exogenous and endogenous processes is based on continuous data generation. Geographic Information Systems (GIS) have evolved from simple visualization tools into powerful platforms for spatial synthesis. They allow for the correlation of lithological characteristics, morphometric terrain parameters, and tectonic dynamics within a single analytical space. This multidimensionality reveals hidden correlations that remain inaccessible using classical cartographic methods. One of the most significant technological breakthroughs has been the implementation of Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR). Remote sensing allows for the detection of sub-millimetric surface deformations long before the catastrophic phase of a process begins. This enables researchers to interpret deformation "precursors" and develop dynamic geospatial models capable of adapting to real-time incoming information. In parallel with monitoring methods, predictive analytics tools based on machine learning are advancing. Unlike rigid deterministic models, adaptive algorithms can extract patterns from heterogeneous datasets (seismic signals, hydrometeorological indicators, and the physical-mechanical properties of soils) without requiring pre-defined functional dependencies [2]. Self-learning systems constantly improve forecast accuracy by incorporating new empirical data into their structure. Special attention should be paid to the hybridization of approaches: combining data-driven analysis with physics-based mathematical modeling of the stress-strain state of rock masses. Numerical simulations of pore pressure and slope stability provide a physical interpretation of statistical anomalies. Such a

synergistic approach minimizes epistemic uncertainty and increases the verifiability of long-term forecasts. Moreover, the integration of real-time sensor networks significantly enhances temporal resolution in hazard detection. Edge-computing technologies enable preliminary data processing directly at monitoring stations, reducing latency in decision-making. The use of ensemble modeling techniques further improves forecast robustness by comparing multiple algorithmic scenarios simultaneously. Additionally, incorporating stochastic uncertainty metrics allows risk projections to be communicated with measurable confidence intervals rather than absolute statements. Furthermore, the application of high-performance computing accelerates large-scale geodynamic simulations and enables the processing of multi-terabyte spatial datasets. Cross-validation of independent data sources increases the reliability of anomaly detection and reduces the probability of false-positive alerts. Ultimately, the convergence of distributed sensing, advanced analytics, and scalable computing infrastructure establishes a resilient and adaptive digital framework for natural hazard forecasting. In addition, integrating historical archives with streaming data creates longitudinal analytical continuity in risk evaluation. Advanced feature-engineering techniques enhance the sensitivity of predictive models to weak geophysical signals. Scenario-based stress testing allows researchers to simulate extreme but plausible hazard conditions under varying environmental parameters. Collectively, these innovations contribute to the formation of a comprehensive, data-centric paradigm in geological risk management. Continuous model retraining ensures that predictions remain accurate as environmental conditions evolve. Collaborative platforms allow multiple institutions to share insights and improve hazard intelligence collectively. Finally, the integration of visualization tools translates complex data into actionable insights for policymakers and emergency response teams.

From a practical standpoint, the implementation of digital systems allows for a shift from qualitative expert assessments to quantifiable risk indicators. This is crucial for creating automated early warning systems, land-use zoning, and designing resilient infrastructure. [2].

Digitalization does not merely automate routine operations; it changes the epistemological approach to studying geological hazards. The convergence of satellite geodesy, intelligent algorithms, and computational mechanics forms a self-evolving forecasting environment. Further development in the field is linked to the creation of interoperable Big Data platforms and ensuring the transparency of algorithmic decisions. In an era of accelerating change, digital forecasting becomes a strategic tool for protecting the technosphere and human capital.[3]

*List of sources used:*

□ Berlyant, A. M. *Geographic Information Systems: Textbook for Universities*. — Moscow: Aspect Press, 2019. — 464 p. — URL: <https://www.aspectpress.ru/catalog/geografiya-i-ekologiya/geoinformatsionnye-sistemy/> (accessed: 21.02.2026).

□ Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. *Deep Learning*. — Cambridge: MIT Press, 2016. — 800 p. — URL: <https://www.deeplearningbook.org> (accessed: 21.02.2026).

## PROBLEMS OF TRAINING SPECIALISTS IN THE FIELD OF DIGITAL AERIAL PHOTOGRAPHY IN THE CONTEXT OF THE DIGITALIZATION OF GEOLOGICAL AND GEODETIC WORK

At the moment, digital aerial photography is an urgent specialty. It is actively used in cadastre, construction, land management, and in all areas related to geodesy. Its use is driven by the development of equipment and changing ways of working. UAVs (Unmanned Aerial Vehicle), GIS (Geographic Information System), and photogrammetry are involved in digital aerial photography, all of which makes it possible to speed up the process of work and the quality of its execution, and new data is emerging, the visibility of which would be impossible without the use of these methods. However, there is a problem that slows down the development of this field - a shortage of specialists and a small number of educational programs specializing specifically in this discipline.

Over the past 10-15 years, there has been a rapid increase in the use of UAVs in geodesy. The use of drones has made it possible to perform work faster and better than using manned aircraft. The main directions in which digital aerial photography is used are: creation of orthophotoplanes; construction of digital terrain models; land inventory; monitoring of construction sites. The growth in demand for these services is associated with the development of technology, but staffing is lagging behind the pace of development. [1]

In many universities, disciplines related to aerial photography are not separated into a separate field and are presented in fragments. Students study geodesy and cadastre, the basics of photogrammetry, but they do not allocate enough time and resources to work with UAVs. Theoretical knowledge should be consolidated by practical exercises, they form full-fledged professional competencies. To achieve the best training results, you need: training grounds; UAVs, software.

Digital aerial photography is developing very dynamically. For this reason, academic programs do not have time to adapt to new technological changes, which leads to a gap between market requirements and the level of graduate training.[2]

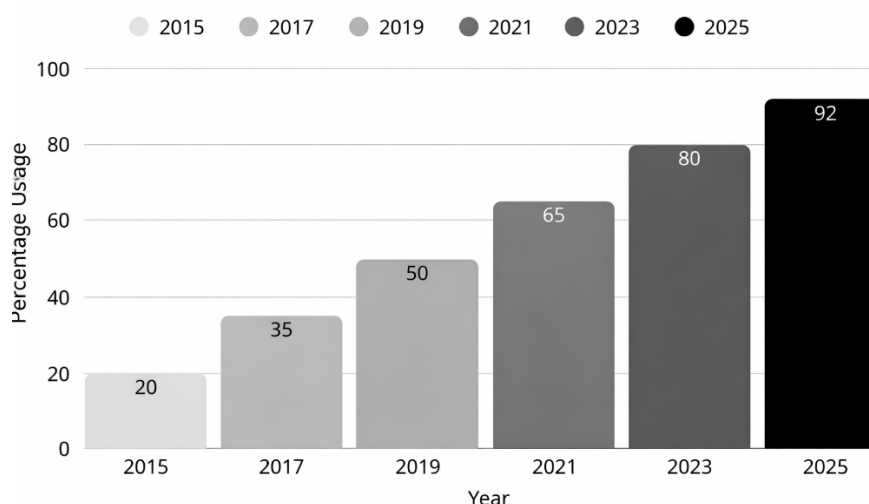
Professional development of already working specialists is also limited. Retraining courses are conducted irregularly, and access to equipment is limited.

Possible ways of solving the problem

To improve the quality of specialist training, it is necessary:

1. The development of existing educational programs, as well as the emergence of new ones.
  2. The introduction of more practical exercises.
  3. Cooperation of educational institutions with geodetic and construction companies.
  4. Equipping universities with modern equipment, UAVs. [3]
- Integration of the educational process with production is needed.

Figure 1 - Growth dynamics of digital aerial photography in geodesy (2015-2025)



The graph shows a steady increase in the level of digital aerial photography, which confirms the relevance of training specialists in this field.

### List of references

1. Varfolameev, A. F., Kovalenko, A. K., Manukhov, V. F., & Kalashnikova, L. G. (2020). Features of aerial photography technology using unmanned aerial vehicles. *Geodesy and Cartography*. Retrieved from [https://geocartography.ru/scientific\\_article/2020\\_8\\_58-64](https://geocartography.ru/scientific_article/2020_8_58-64)
2. Khasanov, D. N. (2025). Methods for improving the accuracy of photogrammetry in open-pit mining. *Problems of Subsoil Use*. Retrieved from <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80635257>
3. Dalbarae, A. S., & Afonin, V. V. (2024). The use of unmanned aerial vehicle imagery for creating an orthophotomap of urban areas. *Moscow Economic Journal*. Retrieved from <https://qje.su/ru/nauka/article/90254/view#online>

SEISMICS AND NEURAL NETWORKS: HOW ALGORITHMS READ THE  
EARTH

Seismics is the art of hearing what is hidden beneath kilometers of rock. We send a pulse into the depths, and the Earth responds with an echo: somewhere it sounds smooth and confident, somewhere it breaks, fades away, gets confused in interference and reflections. These responses are used to construct a seismic picture — not a photograph, but a “translation” of a physical phenomenon into the language of lines, phases, and amplitudes. And that is why interpretation has always been a delicate task: similar patterns on a cross-section can mean completely different geological histories. Where one specialist sees a layer boundary, another suspects a fault; where there appears to be a “gap” in the data, there may in fact be a processing effect or complex wave interference. Geology is rarely unambiguous — and therein lies in its beauty, but also its risk.

For a long time, the interpreter's main support was experience: the ability to recognize characteristic shifts in reflections, read the continuity of horizons, and notice subtle breaks and “rhythm failures” in the texture. The seismologist resembled a conductor who, by listening to the orchestra, could guess where the violin had made a mistake, where the brass had come in, and where the acoustics of the hall distorted the tone. However, the digital age has dramatically changed the scale of the score. Specialists now had three-dimensional cubes, hundreds of square kilometers of data, and a multitude of attributes at their disposal—and with them came a new limitation: human attention became the scarcest resource. At this point, neural networks entered geophysics not as competitors to humans, but as amplifiers of their capabilities: they can repeat the same action millions of times without tiring, without distraction, and without losing concentration, freeing up experts for what is most important: meaning and responsibility.

Neural networks have organically “taken root” in seismology because a significant part of interpretation resembles working with images. A seismic section is visual text: reflection lines, their slopes, interruptions, shifts, characteristics, bands,” and graininess. For the human eye, this is already a familiar language, but for an algorithm, it is a set of stable patterns that can be learned to recognize. Convolutional neural networks, known for their use in computer vision tasks, learn to find what is important to geologists in seismology: faults, channel bodies, salt mass boundaries, and facies-changing areas. They do not “guess by inspiration”: they analyze examples, compare, generalize, and establish patterns. And when there are enough such examples, the algorithm begins to see in the volume what is difficult for a person to keep in focus due to the scale.

The most noticeable change is not even the speed, but the new style of the result. The classic interpretation often looks like a confident line on a cross-section: here is a fault, here is the horizon boundary. The digital approach increasingly offers probabilistic thinking: instead of a single line, there is a map or cube of probabilities, where each point indicates how confidently the model “suspects” the presence of a fault or boundary. This is more honest in relation to the nature of geological data: the subsurface is rarely fully revealed, especially in the early stages of exploration. The probabilistic picture does not hide doubt but makes it manageable: it shows where it is possible to act with confidence and where it is necessary to strengthen verification — with additional attributes, comparison with wells, and clarifying data. This is especially important in geological exploration, because mistakes here are rarely “theoretical”: an incorrectly interpreted structure can cost wells, time, and reputation. Where previously one had to rely on luck and intuition in conditions of information overload, there is now a mode of conscious control of uncertainty — like an early warning system that reduces the chance of costly mistakes.

When algorithms take over routine tasks, the role of the geologist changes. They spend less time on mechanical “drawing lines” and more on what really determines the quality of the project: comparing well data, checking geological plausibility, building several scenarios, and choosing the one that stands up to the facts. In this sense, neural networks do not replace thinking — they free it up for the most important step: turning signals into knowledge, and knowledge into responsible decisions. And that is when the conversation with the Earth becomes more mature: the waves still carry the history of the subsoil to us, but now we read it not at random, but more carefully and accurately — as if the depths have become a little closer to understanding.

In practical terms, this maturity is expressed in a new culture of collaboration between human expertise and computational systems. The model proposes hypotheses in the form of probability fields, sensitivity maps, and ranked structural scenarios; the geologist interrogates these outputs, testing them against stratigraphic logic, regional tectonics, and drilling evidence. Each iteration refines the shared understanding of the subsurface. What emerges is not a rigid answer, but a dynamically updated geological narrative in which uncertainty is quantified, assumptions are transparent, and decisions are traceable. As additional seismic lines are acquired or new wells are drilled, the model is recalibrated, and the probability architecture is reshaped in real time.

*List of references*

1. Nikolaenko S.V. et al. *Experience in the application of machine learning in the analysis of seismic data for the identification of tectonic disturbances in various seismogeological* — Moscow (Russia): CyberLeninka electronic library of scientific publications, 2024. : <https://cyberleninka.ru>
2. Avdeev P.A. *Transition to the use of digital assistants in the kinematic interpretation of seismic survey data based on artificial intelligence, machine learning, and deep neural networks* // *Bulletin of the Oil and Gas Industry of Kazakhstan*. — Almaty (Kazakhstan), 2022.

## INFORMATION TECHNOLOGY AND DIGITAL TRANSFORMATION IN EARTH SCIENCES

The geological sciences are currently undergoing a fundamental paradigm shift, moving away from traditional qualitative observations toward a data-driven, quantitative discipline often referred to as Geology 4.0. This transformation is fueled by the convergence of high-performance computing, the Internet of Things, and sophisticated algorithms that allow researchers to analyze Earth's structures with unprecedented precision. The primary objective of this digital metamorphosis is to enhance the accuracy of geological interpretations while significantly reducing the time and costs associated with mineral exploration and environmental monitoring. By integrating digital workflows, geologists can now process vast amounts of information that were previously managed in fragmented, manual formats.

A cornerstone of modern digital geology is the revolution in data acquisition through remote sensing and Unmanned Aerial Vehicles. Drones equipped with Light Detection and Ranging (LiDAR) and hyperspectral sensors provide high-resolution mapping capabilities that surpass traditional field surveys in both scale and detail. These technologies enable the creation of highly accurate digital terrain models and the identification of mineralogical signatures across inaccessible terrains. This influx of "Big Data" from satellite imagery and aerial surveys allows for a more holistic understanding of regional geological settings, facilitating the discovery of surface anomalies that indicate deeper structural features.

The integration of the Internet of Things (IoT) into drilling and mining operations has introduced real-time telemetry to the geological workflow. Smart sensors embedded in borehole equipment now provide a constant stream of geophysical data, such as pressure, temperature, and seismic velocity, directly to cloud-based platforms. This real-time connectivity allows geologists to make immediate adjustments to exploration strategies, minimizing the risk of expensive drilling errors. Furthermore, the automation of data collection ensures a higher degree of objectivity, as sensor-based measurements are less prone to the human bias often found in manual field logging.

Transitioning from static 2D maps to dynamic 3D and 4D geological models represents one of the most significant technical leaps in the industry. Modern modeling software utilizes advanced spatial statistics and geostatistical interpolation to predict subsurface structures between known data points. Instead of relying on rigid mathematical formulas, these systems use complex numerical simulations to account for geological uncertainty and spatial variance. A 4D model adds the dimension of time to these visualizations, allowing scientists to simulate historical tectonic movements or the migration of fluids within a

reservoir over millions of years, which is crucial for the petroleum and geothermal industries.

Artificial Intelligence and Machine Learning have become indispensable tools for pattern recognition in complex geological datasets. Machine learning algorithms can be trained on historical exploration data to identify "fingerprints" of specific mineral deposits that are hidden deep beneath the Earth's surface. These AI-driven models are particularly effective at processing seismic reflections and automated core logging, tasks that used to require months of manual expert labor. By using convolutional neural networks, digital systems can now categorize rock types and fracture patterns with an accuracy that often rivals or exceeds that of human observers.

The application of digital twins—virtual replicas of physical geological sites—is transforming the way mining and civil engineering projects are managed. A digital twin integrates geological, hydrological, and geotechnical data into a single living model that updates as new information becomes available. This allows for predictive maintenance of infrastructure and more efficient extraction of resources. In the context of the green energy transition, these models are vital for locating and managing "critical minerals" like lithium and cobalt, ensuring that extraction is done with the smallest possible environmental footprint.

Digitalization also plays a critical role in forecasting natural hazards and mitigating geological risks. By analyzing historical seismic data and real-time crustal deformation through GPS monitoring, digital systems can provide more reliable early warnings for earthquakes, landslides, and volcanic eruptions. Predictive analytics allow urban planners to simulate various disaster scenarios and assess the vulnerability of infrastructure. This shift toward proactive risk management is essential for protecting populations in geologically active regions and for ensuring the long-term stability of large-scale construction projects.

This shift toward proactive risk management is essential for protecting populations in geologically active regions and for ensuring the long-term stability of large-scale construction projects. Moreover, the integration of remote sensing technologies, satellite imagery, and AI-driven pattern recognition enhances the accuracy of hazard mapping and improves decision-making under conditions of uncertainty. As digital monitoring networks expand, risk assessment is increasingly transitioning from periodic evaluation to continuous, data-driven supervision, strengthening resilience and adaptive capacity at both local and national levels.

*List of used sources:*

1. Bárdossy G., Fodor J. *Uncertainty Modeling in Geology*. – Amsterdam: Elsevier Science, 2013. – 350 p.
2. Harvey F. *A Primer of GIS: Fundamental Geographic and Cartographic Concepts*. – New York: The Guilford Press, 2016. – 310 p.



## DEVELOPMENT OF DIGITAL PLATFORMS IN THE MINING AND METALLURGICAL COMPLEX

The mining and metallurgical complex is one of the key sectors of Kazakhstan's economy. This industry provides a full cycle of processing of mineral raw materials into metal, which is used in the production of a wide range of products — from electronics and vehicles to building structures. Industry plays a significant role in shaping the country's GDP and providing employment to the population.

In the era of analog technology, the development of the mining and metallurgical industry was accompanied by a number of technological limitations. Geological exploration was carried out using paper maps and traditional field survey methods, which reduced the accuracy of estimating mineral reserves. Insufficient information could lead to a decrease in the productivity of extraction and processing of raw materials, as well as an increase in production costs. [1]

In recent decades, digital technologies have been actively introduced in the industry, which contributes to improving the efficiency of production processes. Work on the survey of territories is carried out using unmanned aerial vehicles (UAVs), which makes it possible to map the area, create three-dimensional models of quarries, explore underground workings and increase the level of industrial safety. The use of digital tools provides faster information retrieval and analysis.

One of the directions of digitalization is the creation of "digital twins" of production facilities. The digital twin is a virtual model of a career or enterprise that is synchronized with the authentic data coming from the sensors. This allows you to monitor the condition of the equipment and the production environment in almost real time. [2]

Internet of Things (IoT) technologies are becoming more widespread. Through these technologies, wireless sensors monitor indicators such as pressure, temperature, vibration, and rock movement. The collected information is used to assess the state of the infrastructure and enhance industrial safety.

Nevertheless, large-scale digitalization requires consideration of a number of organizational and technological aspects. Foreign software products such as SAP ERP, Micromine, Dispatch, Honeywell Experion and other platforms providing management of production, financial and logistic operations are widely used in the practice of enterprises. The use of international solutions makes it

possible to integrate the industry into the global technological landscape, but at the same time exacerbates the issues of adapting software products to government realities and the long-term sustainability of the digital structure. [3]

Under the current conditions, the development of our own digital solutions aimed at the specifics of the domestic mining and metallurgical complex is of particular importance. The creation of local platforms can contribute to increasing the flexibility of management, the development of engineering and IT competencies, as well as the formation of new areas of technological entrepreneurship.

Projects to create digital production management and supervision systems are already being implemented in Kazakhstan. These include:

- DMSS (Decision Management Support System)) - Production process management system;
- Digital Mine is a complex for collecting and analyzing data from equipment and sensors;
- Ecomonitoring - a system for monitoring environmental indicators;
- Geomechanical monitoring is a tool for assessing rock stability and ensuring mining safety.

Further development of digital platforms in the mining and metallurgical complex is associated with the need for consistent technological renewal, training of qualified personnel and expansion of the research base. An integrated approach to digitalization can increase the competitiveness of the industry, streamline production processes and create new vectors of economic growth.

#### List of references

- 1.Yusupbekov N., Adilov F., Ivanyan A., Abdurasulov F. Application of digital twin technologies in mining industrial branch // E3S Web of Conferences. - 2023. - Vol. 41, Article 05016. - DOI: 10.1051/e3sconf/202341705016.
- 2.Hassan N., Prauzek M., et al. Deep learning and IoT enabled digital twin framework for monitoring open-pit coal mines // Frontiers in Energy Research. - 2023. - Article (Open Access).
- 3.Frolova O. Comprehensive use of remote sensing methods: laser 3D scanning and photogrammetry to obtain 3D and BIM models for monitoring underground mining workings // Vestnik VKTU. - 2023. - Vol. 1, No. 3.

## GIS AND GEOANALYTICS: PREDICTING NATURAL RISKS

The growing impact of natural hazards on society has intensified the need for reliable methods of risk assessment and forecasting. Geological and environmental disasters such as landslides, floods, earthquakes, and erosion processes cause significant economic losses and threaten human safety. Modern digital technologies, particularly Geographic Information Systems (GIS) and geoanalytics, provide effective solutions for analyzing spatial data and predicting hazardous events. This paper examines the role of GIS-based approaches in natural risk assessment and highlights their importance for environmental monitoring and disaster prevention [\[1\]](#).

The increasing frequency of natural hazards is closely linked to climate change, urban expansion, and human interference in natural systems. Traditional methods of hazard analysis cannot often process large volumes of spatially distributed data. GIS technologies overcome these limitations by integrating diverse geospatial information into a unified analytical environment. Spatial datasets such as geological maps, climate indicators, hydrological networks, land use patterns, and remote sensing data can be analyzed simultaneously, allowing for a comprehensive understanding of hazardous processes.

GIS plays a key role in identifying areas with elevated levels of natural risk. Through spatial analysis and digital modeling, it becomes possible to assess slope stability, flood susceptibility, seismic activity, and soil erosion intensity. For instance, digital elevation models are widely used to analyze terrain characteristics, which directly influence landslide formation. Hydrological modeling within GIS environments enables the prediction of flood-prone zones by considering precipitation intensity, river discharge, and surface runoff parameters. These analytical tools support early warning systems and contribute to effective disaster preparedness.

Geoanalytics significantly expands the analytical capabilities of GIS by incorporating statistical methods and machine learning techniques. The application of machine learning algorithms allows for the identification of complex relationships between environmental factors and hazard occurrence. Long-term datasets can be processed to improve prediction accuracy and to model multiple risk scenarios. As a result, high-risk zones can be identified more precisely, and preventive measures can be planned. The integration of geoanalytics is especially valuable in regions with complex geological structures and dynamic environmental conditions.

Remote sensing data further enhances GIS-based risk assessment by providing up-to-date and objective information about the Earth's surface. Satellite

imagery allows researchers to monitor land cover changes, vegetation loss, ground deformation, and water dynamics. These data are essential for detecting early signs of potential disasters and for monitoring hazardous areas in real time. Combined with GIS and geoanalytics, remote sensing supports rapid response strategies and reduces uncertainty in hazard forecasting.

The practical application of GIS technologies is particularly important in urban planning and infrastructure development. Risk maps generated through GIS analysis help decision-makers avoid construction in hazardous areas and design safer transportation and utility networks. In emergency management, GIS supports evacuation planning, resource allocation, and coordination of response efforts. These applications demonstrate the value of GIS as a decision-support tool for sustainable development and public safety [2].

Despite the advantages of GIS and geoanalytics, certain challenges remain. The reliability of predictive models depends on data accuracy, spatial resolution, and methodological assumptions. Incomplete or outdated information may reduce the effectiveness of risk assessments. Therefore, continuous data updating, field validation, and methodological improvements are necessary to ensure high-quality results.

In summary, GIS and geoanalytics represent essential tools for the analysis, prediction, and management of natural hazards. Their ability to integrate diverse datasets, perform advanced spatial modeling, and support evidence-based decision-making makes them indispensable in modern geology and environmental sciences. The use of GIS-based risk assessment contributes to improved disaster preparedness, reduced environmental damage, and enhanced resilience of communities.

### **References**

1. *Integrating GIS for Natural Hazard Management - A systematic review on Web-GIS applications in risk and disaster management. Sustainability* 2024, 16(10), 4238. Available at: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/10/4238> (accessed: 06.02.2026).
2. *GIS-based prediction and prevention of environmental geological disaster susceptibility - A study on integrated GIS models for hazard assessment. Ecotoxicology and Environmental Safety* 2021. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112881> (accessed: 06.02.2026).

## ПРИМЕНЕНИЕ GPS/GNSS В ГЕОДЕЗИИ

Глобальные навигационные спутниковые системы (GNSS) стали основным инструментом геодезических измерений в Казахстане. Использование спутниковых группировок GPS, ГЛОНАСС, Galileo и BeiDou в сочетании с сетью постоянно действующих базовых станций (CORS) позволяет получать координаты с сантиметровой точностью практически на всей территории страны. Для Казахстана с его большой площадью, сложным рельефом и активным развитием кадастра, строительства и горнодобывающей отрасли это имеет стратегическое значение.

### Сеть базовых станций и RTK

В стране функционируют базовые станции Leica и Trimble, работающие по технологии Real-Time Kinematic (RTK). Стационарная станция с известными координатами определяет ошибки спутниковых сигналов и передаёт поправки мобильному приёмнику через радио или интернет (NTRIP). Это обеспечивает плановую точность  $8\text{--}15\text{ мм} + 1\text{ ppm}$  и высотную  $15\text{--}30\text{ мм} + 2\text{ ppm}$ .

Плотность сети неоднородна: высокая концентрация наблюдается в Астане, Алматы и промышленных регионах, тогда как в степных и горных районах расстояние до ближайшей станции может достигать 50–70 км. В степной зоне RTK стабильно работает до 60 км, в горных условиях возможна потеря сигнала, поэтому часто применяется комбинирование с тахеометрическими измерениями.

### Модернизация и государственные программы

Современные спутниковые системы переходят к новому поколению (GPS III, Galileo+, BeiDou-3, ГЛОНАСС-K2), что повышает точность и надёжность позиционирования. В Казахстане развитие поддерживается программой «Цифровой Казахстан» и проектом создания национальной системы высокоточного спутникового позиционирования. Планируется дальнейшее расширение сети CORS (включая государственные станции KazPOS и коммерческие сети), а также внедрение технологий PPP-RTK и PPP-AR, позволяющих получать сантиметровую точность без локальных базовых станций.

### Спутниковое нивелирование

Перспективным направлением является определение ортометрических высот методом спутникового нивелирования. Оно основано на вычислении эллипсоидальной высоты и учёте модели квазигеоида. Полевые испытания в Алматы в 2024 году показали повторяемость результатов 1–2 см при статических наблюдениях продолжительностью 3–4,5 часа. Это позволяет

рассматривать метод как альтернативу геометрическому нивелированию III–IV класса на средних расстояниях.

Основным ограничением остаётся точность глобальной модели EGM2008, достигающая 10–15 см на территории Казахстана. Для повышения точности необходима национальная модель квазигеоида, учитывающая региональные гравитационные особенности. После внедрения системы координат QazTRF-23 (2023 г.) создание такой модели стало одной из приоритетных задач.

#### Практическое применение

В настоящее время более 90 % кадастровых и землеустроительных работ выполняются с применением спутниковых методов не ниже RTK или Network RTK. GNSS активно используются при строительстве транспортной и энергетической инфраструктуры, прокладке нефте- и газопроводов, мониторинге гидротехнических сооружений и в маркшейдерской практике.

Применение GNSS в геодезии Казахстана окончательно стало стандартом профессиональной деятельности. Дальнейшее развитие связано с увеличением плотности сети базовых станций, внедрением многочастотных приёмников и сервисов PPP-RTK в реальном времени, а также созданием национальной модели квазигеоида. Это обеспечит полный переход к цифровому циклу геодезического обеспечения — от полевых измерений до ведения государственного кадастра и пространственных данных.

#### Список использованных источников

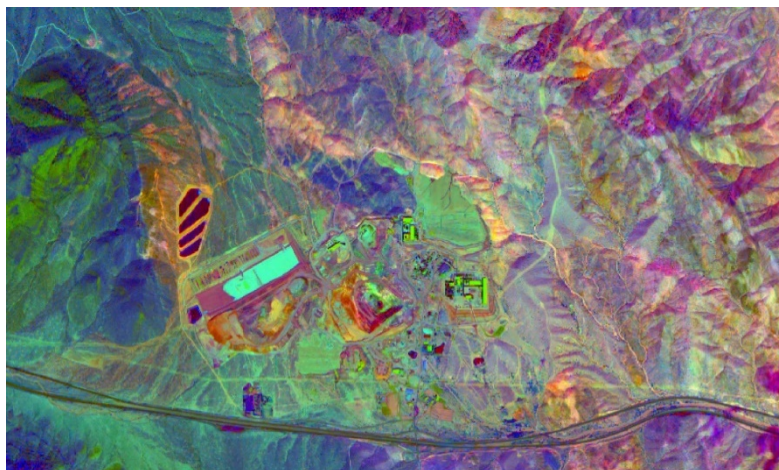
1. Балтышев А.С., Сейтмуханов Б.Б. Геопространственная плотность базовых станций «Leica» и «Trimble» в пределах Казахстана // Вестник науки. – 2025. – № 5 (86), Том 3. – С. 1630–1632.
2. Сакенов Ж.К., Ракишев Ж.Б., Керимбай Н.Н., Ергалиев Д.С. Цифровой Казахстан: анализ технических и технологических параметров GNSS // Труды Международного симпозиума «Надёжность и качество». – 2018. – Том 2. – С. 22–23.
3. Касымканова Х.М., Кенбаев А.А., Ахметов Р.А., Ибраимова А. Перспективы применения спутникового нивелирования в условиях Республики Казахстан // Горный журнал Казахстана. – 2025. – № 6. – С. 27–33.

## ПАЙДАЛЫ ҚАЗБАЛАР КЕН ОРЫНДАРЫН БОЛЖАУДА ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТІ ҚОЛДАНУ

Қазіргі таңда тау-кен өнеркәсібі әлемдік экономиканың маңызды салаларының бірі болып табылады. Пайдалы қазбаларды тиімді іздеу, барлау және өндіру мемлекеттердің экономикалық дамуына тікелей әсер етеді. Дәстүрлі геологиялық барлау әдістері көп уақыт пен үлкен қаржылық шығындарды талап етеді. Сонымен қатар, кейбір жағдайларда геологиялық мәліметтердің жеткіліксіздігі немесе күрделі құрылымы пайдалы қазбалардың нақты орналасуын анықтауды қиындатады. Осыған байланысты соңғы жылдары тау-кен саласында цифрлық технологиялар мен жасанды интеллект жүйелерін қолдану кеңінен дамып келеді [1]. Жасанды интеллект геологиялық деректерді талдау арқылы пайдалы қазбалар кен орындарын болжаудың дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді. Жасанды интеллект – үлкен көлемдегі деректерді талдап, заңдылықтарды анықтай алатын және белгілі бір болжамдар жасайтын заманауи технология. Геология саласында жасанды интеллект геофизикалық, геохимиялық, спутниктік және геологиялық деректерді өңдеу үшін қолданылады. Бұл технологиялар үлкен деректер жиынтығын жылдам талдап, адамның көзіне байқалмайтын байланыстар мен үлгілерді анықтай алады. Нәтижесінде жаңа кен орындарын анықтау мүмкіндігі артады және барлау жұмыстарының тиімділігі жоғарылайды. Пайдалы қазбаларды болжауда ең жиі қолданылатын жасанды интеллект әдістерінің бірі – машиналық оқыту (machine learning). Машиналық оқыту алгоритмдері бұрынғы геологиялық зерттеулердің деректерін пайдалана отырып, жаңа аймақтардағы пайдалы қазбалардың орналасу ықтималдығын анықтай алады. Мысалы, нейрондық желілер, шешім ағаштары, кластерлік талдау және регрессиялық модельдер геологиялық құрылымдар мен минералдардың таралу заңдылықтарын анықтауға көмектеседі. Бұл әдістер жер қойнауындағы күрделі геологиялық процестерді модельдеуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, жасанды интеллект спутниктік суреттер мен қашықтықтан зондтау деректерін талдауда да тиімді қолданылады [2]. Жер бетінің құрылымын, тектоникалық жарықтарды, тау жыныстарының ерекшеліктерін анықтау арқылы белгілі бір аймақта пайдалы қазбалардың болуы мүмкін екендігі болжанады. Спутниктік деректерді жасанды интеллект алгоритмдері арқылы өңдеу геологиялық карта жасауды жылдамдатады және жаңа перспективалы аймақтарды анықтауға көмектеседі. Жасанды интеллектті қолданудың тағы бір маңызды бағыты – геологиялық деректерді біріктіріп талдау (сурет 1). Кен орындарын болжау үшін әртүрлі дереккөздерден алынған ақпараттар пайдаланылады: геологиялық карталар, бұрғылау нәтижелері,

геофизикалық өлшеулер, геохимиялық анализдер және спутниктік мәліметтер. Жасанды интеллект осы деректердің барлығын біріктіріп, кешенді талдау жүргізе алады. Нәтижесінде пайдалы қазбалардың таралу заңдылықтары нақтырақ анықталады [3].

Жасанды интеллект технологияларын қолдану тау-кен саласында экономикалық тиімділікті де арттырады. Барлау жұмыстарының дәлдігі артқан сайын артық бұрғылау жұмыстары азаяды, қаржылық шығындар төмендейді және уақыт үнемделеді. Сонымен қатар, бұл технологиялар кен орындарын игеру барысында тәуекелдерді азайтуға мүмкіндік береді. Мысалы, жасанды интеллект жер қойнауындағы геологиялық құрылымдарды модельдеу арқылы өндіріс процесіндегі қауіпті аймақтарды алдын ала анықтай алады. Қазіргі уақытта тау жыныстарының жарықшақтылығын зерттеуде бірнеше интеллектуалды әдістер кеңінен қолданылады. Бұл әдіс зерттеу уақытын қысқартып, нәтижелердің дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді [4].



1 Сурет – Жасанды интеллект арқылы барлау схемасы

Қорытындылай келе, жасанды интеллект технологиялары пайдалы қазбалар кен орындарын болжау процесінде үлкен рөл атқарады. Ол геологиялық деректерді жылдам әрі дәл талдауға, жаңа кен орындарын анықтауға және барлау жұмыстарының тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Болашақта жасанды интеллект пен үлкен деректер технологияларының дамуы тау-кен өнеркәсібінде жаңа мүмкіндіктер ашып, пайдалы қазбаларды барлау мен өндіру процесін жаңа деңгейге көтереді [5].

*Қолданылған әдебиеттер тізімі*

16. *Introduction to Artificial Neural Networks.* – St. Paul: West Publishing Company, 1992.
17. *Deep Learning.* – Cambridge: MIT Press, 2016.
18. *Society for Mining Metallurgy and Exploration. Mining Engineering Handbook.* – 3rd ed. – Littleton, CO, 2011.
19. *International Council on Mining and Metals. Digital Transformation in Mining Report.* – London, 2020.
20. *International Organization for Standardization. ISO 22400-2:2014 Automation systems and integration – Key performance indicators for manufacturing operations management.* – Geneva, 2014.



## ИССЛЕДОВАНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОНТУРНОГО ВЗРЫВАНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОЕКТНОГО ПРОФИЛЯ БОРТОВ КАРЬЕРА НА МЕСТОРОЖДЕНИИ «ПУСТЫННОЕ»

Формирование устойчивых и близких к проекту бортов карьера является одной из ключевых задач при ведении открытых горных работ. На практике при массовых взрывах нередко наблюдаются переборы (overbreak), рост трещиноватости за контуром, разрушение приконтурной зоны и, как следствие, ухудшение устойчивости откосов, увеличение объемов зачистки и потери руды. Для месторождения «Пустынное» актуальность повышается из-за необходимости обеспечения промышленной безопасности, соблюдения проектных параметров уступов и снижения затрат на доводку профиля.

Контурное (управляемое) взрывание — эффективный инструмент ограничения зоны разрушения за проектным контуром. Его результат определяется не одним параметром, а комплексом взаимосвязанных факторов: диаметром и сеткой контурных скважин, удельным расходом и линейной концентрацией заряда, степенью развязки (de-coupling), типом ВВ, качеством тампонажа, схемой инициирования и замедлениями, а также структурой массива (трещиноватость, слоистость, выветрелость).

Цель исследования — обосновать рациональные параметры контурного взрывания, обеспечивающие формирование проектного профиля бортов карьера «Пустынное» при минимальном нарушении приконтурного массива.

Для достижения цели решаются следующие задачи:

1. выполнить анализ геолого-геомеханических условий приконтурной зоны и типизировать участки по степени нарушенности массива;
2. определить набор технологических вариантов контурного взрывания (гладкое взрывание / предварительное щелеобразование) для типовых условий;
3. установить рациональные значения параметров: шаг контурных скважин, расстояние до ближайшего ряда, линейная концентрация и тип заряда (в т.ч. развязанный), высота тампонажа, схема замедлений;
4. разработать критерии оценки качества: величина перебора/недобора, степень растрескивания за контуром, ровность поверхности откоса, выход негабарита в приконтурной зоне, трудоемкость зачистки.

Методическая основа включает: инструментальные замеры фактического профиля борта (съемка/маркировка), анализ результатов БВР

по блокам, сопоставление «параметры взрыва → качество контура», а также расчетные оценки влияния линейной концентрации заряда и расстояния до свободной поверхности на зону повреждения. В качестве практического результата планируется сформировать рекомендованный регламент для «Пустынного» по выбору параметров контурных скважин и инициирования в зависимости от категории массива.

Ожидаемый эффект от внедрения рациональных параметров контурного взрывания:

1. снижение переборов и уменьшение объема доводочных работ;
2. уменьшение нарушенности приконтурного массива и повышение устойчивости откосов;
3. улучшение соответствия проектному профилю и снижение потерь/разубоживания у контакта;
4. повышение общей эффективности буровзрывных работ за счет управляемости результата.

*Список использованных источников*

1. Камаров Р.К. *Тау-кен жыныстарын атылыс арқылы бұзу*. – Караганда: КарТУ, 2022. – 200 с.
2. Юсупов К. Оптимизация буровзрывных работ для улучшения дробления горной массы в условиях открытых горных работ // *E3S Web of Conferences*. – 2021.
3. Го Цз. и др. Прогнозирование и оптимизация взрывных работ на открытых горных работах // *Applied Sciences*. – 2024.
4. Перссон П.-А., Хольмберг Р., Ли Дж. *Взрывные работы и инженерия взрывчатых веществ*. – М.: (пер. изд.), 1993.
5. Коня Ч., Уолтер Э. *Проектирование взрывных работ на карьерах*. – (пер. изд.), 1990

## ГАЗ ЖӘНЕ СПУТНИКТІК ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ДЕФОРМАЦИЯЛАРДЫ КЕҢІСТІКТІК-УАҚЫТТЫҚ ТАЛДАУ

Тау-кен өнеркәсібінің цифрлық трансформациясы және кеңістіктік технологиялардың дамуы жағдайында деформациялық үдерістерді мониторингтеудің интеграцияланған жүйелерін қалыптастыру ерекше өзекті болып табылады. Геодезия мен маркшейдерлік істің заманауи әдістері Жерді қашықтықтан зондтау құралдарымен (ЖҚЗ), спутниктік өлшемдермен және геоақпараттық жүйелермен (ГАЗ) толықтырылады, бұл бақылау нәтижелерінің дәлдігін, жеделдігін және аналитикалық құндылығын едәуір арттыруға мүмкіндік береді [1].

Мониторингті геодезиялық және маркшейдерлік қамтамасыз ету дәстүрлі түрде тірек және деформациялық желілерді құруға, тахеометриялық түсірістер жүргізуге, геометриялық және тригонометриялық нивелирлеуге, сондай-ақ спутниктік GNSS-бақылауларға негізделеді. Бұл әдістер бақылау пункттерінің координаттары мен орын ауыстыруларын анықтаудың жоғары дәлдігін қамтамасыз етеді, бұл әсіресе карьерлердің, үйінділердің және инженерлік құрылыстардың беткейлерінің тұрақтылығын бақылау кезінде маңызды [2]. Алайда өлшеулердің жергілікті сипаты кеңістіктік қамтуды шектейді және ұзыннан созылған объектілерді мониторингтеу барысында елеулі еңбек шығындарын талап етеді.

Жерүсті өлшеулерді спутниктік радиолокациялық интерферометрия (InSAR) әдістерімен біріктіру перспективалы бағыт болып табылады. Технология спутниктік платформалардан алынған радиолокациялық сигналдардың фазалық айырмашылықтарын талдауға негізделген және жер бетінің жылжуын миллиметрге дейін дәл түсіруге мүмкіндік береді [3]. Спутниктік бақылау жүйелерінің деректерін пайдалану мониторингтің жүйелілігін және ықтимал қауіпті аймақтарда мамандардың тікелей қатысуынсыз үлкен аумақтардағы деформациялар динамикасын талдау мүмкіндігін қамтамасыз етеді.

Қосымша мүмкіндіктерді лазерлік сканерлеу (LiDAR) және ұшқышсыз аэрофототүсірілім ұсынады. Бұл әдістер жоғары дәлдікті сандық рельеф модельдерін (СРМ) және сандық жергілікті жер модельдерін (СЖМ) қалыптастыруға, көлемдік өзгерістерді есептеуге және беткейлер мен инженерлік объектілердің геометриясын егжей-тегжейлі талдауға мүмкіндік береді [4]. Өртүрлі уақыттағы модельдерді салыстыру деформациялардың шоғырлану аймақтарын анықтауға, олардың даму

қарқынын бағалауға және тау-кен жұмыстарының жобалық параметрлерін түзетуге жағдай жасайды.

Геоақпараттық жүйелер негізгі интеграциялық платформа ретінде әрекет етеді. ГАЗ ортасында маркшейдерлік, геодезиялық және қашықтықтан бақылау нәтижелері біріктіріледі, тақырыптық қабаттар, ығысу карталары және объектілердің үш өлшемді модельдері қалыптасады. Кеңістіктік талдау геологиялық жағдайларды, гидрогеологиялық параметрлерді, беткейлердің геометриясын, жүктемелер динамикасын қоса алғанда факторлар жиынтығын ескеруге және тұрақтылыққа кешенді баға беруге мүмкіндік береді [1, 5]. Осылайша фрагменттік өлшеулерден жүйелі кеңістіктік талдауға көшу қамтамасыз етіледі.

Таулы және инфрақұрылымдық объектілердің цифрлық егіздерін қалыптастыру ерекше маңызға ие. Цифрлық егіз – мониторинг деректері мен есептік модельдер негізінде жаңартылып отыратын динамикалық үшөлшемді модель. Геодезиялық өлшеулер нәтижелерін, InSAR және LiDAR деректерін бірыңғай ақпараттық ортада интеграциялау деформациялардың дамуын болжау және предиктивтік талдау элементтерін жүзеге асыруға мүмкіндік береді [5]. Бұл өнеркәсіптік қауіпсіздікті арттыруға және өндірістік процестерді оңтайландыруға ықпал етеді.

Геодезиялық, маркшейдерлік және қашықтықтан бақылау технологияларын кешенді пайдалану деформациялардың цифрлық мониторингінің заманауи тұжырымдамасын қалыптастырады. Мұндай пәнаралық тәсіл объектілердің жай-күйін бағалаудың сенімділігін арттыруды, авариялық жағдайлар тәуекелдерін азайтуды және кеңістіктік бақылаудың интеллектуалды жүйелерін құруды қамтамасыз етеді. Ұсынылған әдістеме әмбебап болып табылады және оны тау-кен жұмыстарын маркшейдерлік қамтамасыз ету міндеттерінде де, инженерлік және қолданбалы геодезия саласында да қолдануға болады.

#### Қолданылған әдебиеттер тізімі

1. Goodchild M.F. Geographic Information Systems and Science. – Wiley, 2010.
2. Ибатулин Р.Р., Садыков Р.Р. Маркшейдерские наблюдения за деформациями откосов. // Горный журнал, 2020.
3. Crosetto M., Monserrat O., Cuevas-González M. Persistent Scatterer Interferometry: A review. // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2016.
4. Shan J., Toth C. Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing. – CRC Press, 2018.
5. Rocscience Inc. Slope Stability Analysis Software Overview. – Toronto, 2022.

## ЖЕР РЕСУРСТАРЫ ЖАЙ-КҮЙІНІҢ МОНИТОРИНГІ ҮШІН АЭРОҒАРЫШТЫҚ СУРЕТТЕРДІ ҚОЛДАНУ

Жер ресурстары жай-күйінің мониторингі аумақтарды қазіргі заманғы геодезиялық және геоақпараттық қамтамасыз етудің негізгі элементі болып табылады. Осыған байланысты аэроғарыштық суреттерді геодезиялық өлшеулермен бірге қолдану жер бетіндегі өзгерістерді жедел және сенімді бақылауды қамтамасыз етуге мүмкіндік береді [1].

Зерттеудің мақсаты – жер ресурстары жай-күйінің мониторингі және жер бетіндегі өзгерістерді бағалау үшін аэроғарыштық суреттерді қолдану мүмкіндіктерін талдау.

Мақсатқа жету үшін келесі міндеттер айқындалды:

- жер ресурстарын мониторингтеудің қолданыстағы әдістерін талдау;
- әр түрлі кеңістіктік ажыратымдылықтағы аэроғарыштық суреттердің сипаттамаларын зерттеу;
- Жерді қашықтықтан зондтау деректерінің ақпараттылығын бағалау;
- геодезиялық және ГАЖ деректерімен аэроғарыштық суреттерді біріктіру мүмкіндіктерін талдау.

Зерттеу объектілері және әдістері.

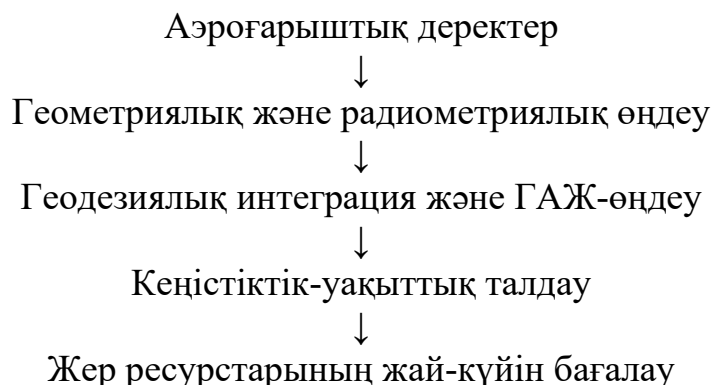
Зерттеу объектілері ретінде антропогендік және табиғи әсерлерге ұшыраған жер учаскелері қарастырылды. Жұмыста ғарыш платформалары мен ұшқышсыз ұшу аппараттарынан алынған әртүрлі кеңістіктік және уақыттық ажыратымдылықтағы аэроғарыштық суреттер пайдаланылды.

1-кесте - Жер ресурстарының мониторингі үшін пайдаланылатын аэроғарыштық деректердің сипаттамасы

| Деректер көзі                                 | Кеңістіктік ажыратымдылық | Түсірілім жиілігі  | Мониторингтің негізгі міндеттері                   |
|-----------------------------------------------|---------------------------|--------------------|----------------------------------------------------|
| Орташа ажыратымдылықтағы ғарыштық суреттер    | 10-30 м                   | 5-16 күн           | Жерді пайдаланудың аймақтық талдауы                |
| Жоғары ажыратымдылықтағы ғарыштық суреттер    | 0,5-2 м                   | Тапсырыс бойынша   | Бұзылған жерлерді нақтылау                         |
| Ұшқышсыз ұшу аппараттарынан аэрофототүсірілім | 2-10 см                   | Қажеттілік бойынша | Өзгерістерді жергілікті мониторингтеу және бақылау |

Аэроғарыштық деректердің сипаттамаларын талдау ақпарат көзін таңдау шешілетін мониторинг мәселелерінің ауқымымен анықталатынын көрсетеді. Орташа ажыратымдылықтағы ғарыштық суреттер үлкен аумақтардағы жер ресурстарының динамикасын талдау үшін орынды, ал

ұшқышсыз ұшу аппараттарының деректері жоғары егжей-тегжейлерді қамтамасыз етеді және жергілікті зерттеулер үшін қолданылады.



1-сызба - Жер ресурстарын геодезиялық мониторингтеуде аэроғарыштық деректерді қолданудың әдістемелік сызбасы

Ұсынылған әдістемелік сызба (1-сызба) жер ресурстарының жай-күйін мониторингтеуге кешенді тәсілді қамтамасыз етуге мүмкіндік береді, онда аэроғарыштық деректер оқшауланбай, жерүсті геодезиялық өлшеулер мен геоақпараттық талдау нәтижелерімен бірге қаралады [2-3].

Аэроғарыштық деректерге негізделген жер ресурстарының геодезиялық мониторингінің дәлдігі бастапқы суреттердің кеңістіктік ажыратымдылығын, олардың геометриялық және радиометриялық түзету сапасын, сондай-ақ геодезиялық байланыстыру дәлдігін қоса алғанда, факторлар жиынтығымен айқындалады.

Негізгі нәтижелер. Жүргізілген зерттеулердің нәтижесінде геодезиялық өлшеулермен және ГАЖ-технологиялармен ұштастыра отырып, аэроғарыштық суреттерді қолдану эрозия процестерімен, жер жамылғысының бұзылуымен, аумақтардың дамуымен және тау-кен жұмыстарының дамуымен байланысты жер ресурстарының жай-күйінің өзгерістерін іс жүзінде анықтауға, талдауға мүмкіндік беретіні анықталды. Қашықтықтан зондтау деректерінің уақыт қатарларын пайдалану болып жатқан процестердің сипаты мен қарқындылығын бағалауға, сондай-ақ жер бетіндегі өзгерістердің одан әрі динамикасын болжауға мүмкіндік береді.

Қорытынды. Аэроғарыштық суреттер геодезиялық жұмыстарды цифрландыру жағдайында жер ресурстарының жай-күйін мониторингтеудің тиімді құралы болып табылады. Оларды қолдану кеңістіктік ақпаратты алуға мүмкіндік береді және жер бетінің өзгерістерін талдау сапасын арттырады. Зерттеу нәтижелері аумақтық мониторингті геодезиялық қамтамасыз ету тәжірибесінде пайдаланылуы мүмкін.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Лаврова О.Ю., Саворский В.П. Дистанционное зондирование Земли. – М.: Академкнига, 2018.
2. Campbell J.B., Wynne R.H. Introduction to Remote Sensing. – New York: Guilford Press, 2011.
3. Jensen J.R. Remote Sensing of the Environment. – Pearson, 2014.

## ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ РАЗРАБОТКОЙ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

В статье рассматривается концептуальный переход от традиционного 3D- моделирования к динамическим цифровым двойникам (Digital Twin, далее - DT) в отрасли геологии. Здесь обосновывается необходимость внедрения технологий в условиях усложнения горно-геологических условий рынка. Особое внимание уделено интеграции потоковых данных для контроля качества руды и прогнозирования рисков. В результате исследования выявлено, что использование цифровых двойников снижает затраты на 10-15% и повышает уровень промышленной безопасности.

Основная проблема нынешнего геологического 3D-моделирования заключается в их малой адаптивности, то есть модель обновляется раз в квартал или год, в то время как процесс добычи является непрерывным. Эпоха цифровизации принесла в геологию концепт цифрового двойника, системы связанной с реальным объектом двусторонним потоком данных. В контексте это означает, что любое изменение в карьере или скважине мгновенно отражается в виртуальной среде. Актуальность данной темы обусловлена необходимостью минимизации геологических рисков и затрат.

### **Методология и архитектура системы**

Создание DT требует интеграции нескольких слоев, рассмотрим трехуровневую архитектуру «Умного месторождения»:

**1. Уровень сбора данных:** -Телеметрия бурового оборудования;  
-Мониторинг температуры и акустики в скважинах;  
-БПЛА-сканирование для фиксации геометрии выработок.

**2. Слой обработки и очистки.** Так как объем поступающих данных огромен, первичная обработка должна происходить непосредственно на объекте. Важной стадией является так же фильтрация аномалий, которые могут быть вызваны сбоями датчиком

**3.Предиктивное моделирование.** Здесь происходит синтез геологических данных и показателей. Ядро системы прогнозов базируется на методах машинного обучения.

### **Результаты и реализация**

Интеграция DT в производственный цикл позволяет перейти к проактивному управлению. В отличии от традиционной схемы, где между отбором проб и получением результатов анализа проходит от 12 до 24 часов, DT, использующий данные потоковых анализаторов, это время сокращается до минут. DT интегрирует данные радаров и датчиков

порогового давления, при выявлении деформаций, даже малейших, превышающих пороговые значения – система автоматически выдает предупреждение о риске обрушения.

Несмотря на очевидные преимущества, полное внедрение DT сталкивается с рядом вызовов:

1. Программное обеспечение от разных вендоров часто имеют закрытые форматы, что затрудняет создание единой системы.
2. Для работы DT в реальном времени необходима структура 5G или частные LTE сети на месторождении, что требует больших вложений
3. Требуются специалисты на стыке классической геологии и эпохи цифровизации

Согласно данным отраслевых аналитических агентств, по состоянию на 2026 год – процент внедренных полноценных цифровых двойников и ИИ на территории СНГ составляет 18-22%. В Казахстане группа ERG (Eurasian Resources Group) внедрила систему «Умный карьер» на своих крупнейших активах, что повысило производительность комплексов на 10%.

### **Выводы**

Переход от статистических моделей к цифровым двойникам в геологии – технологическая необходимость. Будущее цифровой геологии лежит в области полной автономности, где технологии и ИИ будут самостоятельно корректировать работу беспилотной техники на основе динамически меняющихся моделей недр.

#### **Список литературы**

1. *Кваагинидзе В.С., Петров Д.Н., Козлов В.В. (2021). Цифровизация горного производства: учебное пособие*
2. *Трубецкой К.Н., Культин С.С. (2022). Интеллектуальные системы управления в горном деле.*
3. *Гривз М. (2014). Цифровой двойник: совершенствование производства посредством виртуального представления.*
4. *Хартманн А., Ван Дун П. (2020). Цифровые двойники для строительной отрасли.*
5. *Лу Ю., Лю Ч., Ван К., Хуан Х., Сюй С. (2020). Интеллектуальное производство на основе цифрового двойника: смысл, эталонная модель и технологии, обеспечивающие его функционирование.*



## ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Инновационное развитие горной промышленности является ключевым фактором обеспечения устойчивого экономического роста, повышения конкурентоспособности и рационального использования природных ресурсов. В условиях истощения легкоизвлекаемых запасов полезных ископаемых, усложнения горно-геологических условий добычи и ужесточения экологических требований традиционные методы ведения горных работ становятся недостаточно эффективными. Это обуславливает необходимость комплексной модернизации отрасли на основе современных технологий, цифровизации и научно-технического прогресса.

Одним из важнейших направлений инновационного развития является цифровая трансформация производственных процессов. Концепция Industry 4.0 предполагает внедрение автоматизированных систем управления, промышленного интернета вещей (IIoT), больших данных и искусственного интеллекта в деятельность горнодобывающих предприятий. Создание «умных» шахт и карьеров позволяет в режиме реального времени контролировать состояние оборудования, параметры горных выработок, безопасность работников и эффективность добычи. Использование цифровых двойников месторождений дает возможность моделировать различные сценарии разработки, прогнозировать риски и оптимизировать производственные процессы.

Особое значение имеют технологические инновации в области механизации и автоматизации. Внедрение автономной горной техники — беспилотных самосвалов, буровых установок и роботизированных комплексов — способствует снижению травматизма и повышению производительности труда. Применение высокоточных навигационных систем и геоинформационных технологий (ГИС) обеспечивает более эффективную разведку месторождений и планирование добычи. Современные методы обогащения полезных ископаемых позволяют повысить коэффициент извлечения и сократить объемы отходов.

Энергетическая эффективность также играет значительную роль в инновационном развитии. Горнодобывающие предприятия характеризуются высоким уровнем энергопотребления, поэтому модернизация оборудования, внедрение энергосберегающих технологий и использование возобновляемых источников энергии позволяют существенно сократить производственные издержки. Автоматизированные системы мониторинга и управления энергоресурсами обеспечивают оптимизацию расходов и повышение устойчивости производства.

Организационные инновации дополняют технологические преобразования. Формирование цифровых платформ управления производством и логистикой, развитие корпоративных научно-исследовательских центров, сотрудничество с университетами и научными институтами способствуют ускорению внедрения новых решений. Особое значение имеет подготовка кадров нового поколения, сочетающих знания в области горного дела, информационных технологий и экологии. Инвестиции в человеческий капитал становятся стратегическим ресурсом инновационного развития.

Экономический эффект инноваций проявляется в снижении себестоимости добычи, росте производительности труда, повышении качества продукции и укреплении экспортного потенциала. Инновационные технологии позволяют осваивать труднодоступные и глубокозалегающие месторождения, расширяя ресурсную базу отрасли. Кроме того, повышение уровня безопасности труда и снижение экологических рисков способствуют формированию социальной устойчивости и общественного доверия к горнодобывающим предприятиям.

Таким образом, инновационное развитие в горной промышленности представляет собой комплексный процесс, включающий технологические, экологические, энергетические и организационные преобразования. В современных условиях именно инновации становятся основным инструментом повышения эффективности и устойчивости отрасли. Перспективы дальнейшего развития связаны с углублением цифровизации, внедрением искусственного интеллекта, развитием полностью автономных производственных комплексов и переходом к модели рационального недропользования. Реализация данных направлений позволит обеспечить долгосрочное развитие горной промышленности и ее вклад в социально-экономическое развитие страны.

#### Список литературы

1. Агафонов В. П. Инновационные технологии в горной промышленности: теория и практика. М.: Горная книга, 2019.
2. Бородин Ю. В., Кузнецов А. Л. Цифровизация и автоматизация горных предприятий. СПб.: Политехника, 2021.
3. Ляшенко В. И. (ред.) М.: Горная книга, 2019. Горное дело: учебник для вузов. М.: Недра, 2020.
4. Якимова Е. А., Петров С. В. Экологические технологии в горной промышленности. Новосибирск: Наука, 2021.
5. Иванов И. Н., Смирнов А. П. Информационные системы и большие данные в горной отрасли. Казань: Изд-во Казанского университета, 2022.

## КАСПИЙ МАҢЫ ОЙПАТЫ АУМАҒЫНДАҒЫ ТӨРТТІК ШӨГІНДІЛЕРДІ ЗЕРТТЕУДІҢ СТРАТИГРАФИЯЛЫҚ ӘДІСІН ҚОЛДАНУ

Стратиграфиялық әдіс – шөгінді жиналу жүйелілігін анықтауға және негізгі геологиялық деңгейлерді бөліп көрсетуге мүмкіндік беретін төрттік шөгінділерді зерттеудегі негізгі құрал.

Каспий маңы ойпатының аумағында төрттік шөгінділер әртүрлі генетикалық тегі бар шөгінділерден құралған, кезектесіп отыратын теңіздік және континенттік қалың қабаттардан тұрады. Бұл жағдай шөгінді кешендерді бойлық бойынша корреляциялау және үздіксіз геологиялық қадағалау әдістерін қоса алғанда, зерттеудің кешенді тәсілдерін қолдануды талап ететін күрделі стратиграфиялық жағдайларды туғызады.

Каспий маңы ойпаты астыңғы жыныстары пермь және триас шөгінділерінен тұратын, үстін ақшағыл свитасының саздары мен құмдарынан құралған қуатты неоген қабаты жапқан аймақта орналасқан.

Каспий маңы ойпатындағы стратиграфиялық әдіс шөгінді қабаттарды олардың сипаты, орнығу жүйелілігі және генетикалық белгілері бойынша бөлуге және корреляциялауға негізделген. Аймақтың ерекшелігі – стратиграфиялық тұрғыдан тығыз байланысқан әртүрлі генетикалық типтегі шөгінділердің жиі алмасуы, бұл олардың палеонтологиялық, палеомагниттік және литологиялық құрамын егжей-тегжейлі зерттеуді қажет етеді. Кешенді тәсіл сонымен қатар гамма-каротаж және басқа да геофизикалық әдістердің мәліметтері бойынша шөгінді секвенцияларын бөлуге мүмкіндік беретін сиквенс-стратиграфиялық талдауды қолдануды қамтиды. Бұл төрттік түзілімдердің стратиграфиялық байланысы мен петрографиялық сипаттамасының дәлдігін айтарлықтай арттырады.

Каспий маңы ойпатындағы төрттік шөгінділердің стратиграфиялық бөлімшелерін анықтау аймақтың антропоген кезеңіндегі геодинамикалық және палеоклиматтық жағдайларын түсіну үшін үлкен маңызға ие. Бұл жер асты су горизонттарының орналасуын тиімді болжауға, сондай-ақ шөгінді жиналудың аумақтың инженерлік-геологиялық жағдайларына әсерін ескере отырып, мұнай-газ және құрылыс кешендерін дамытуға ықпал етеді.

Сонымен қатар, жоғарыда сипатталған стратиграфиялық тәсілдерді Жезқазған кен орнының төрттік геологиясын зерттеуде қолданудың ғылыми жаңалығы зор. Жезқазған өңіріндегі континенттік шөгінділерді Каспий маңының тірек теңіздік горизонттарымен корреляциялау арқылы аймақтың біртұтас палеогеографиялық моделін құруға болады. Бұл кен орнындағы төрттік жабындының қалыңдығын дәл болжауға және кен өндіру кезіндегі инженерлік-геологиялық қауіпсіздікті жаңа деңгейде қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

## Кесте 1

Каспий маңы ойпаты мен Жезқазған кен орнының төрттік шөгінділерін стратиграфиялық талдау

| Зерттеу объектісі  | Шөгінділердің негізгі генетикалық типтері               | Негізгі стратиграфиялық горизонттар                           | Зерттеу әдістері                                                     |
|--------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Каспий маңы ойпаты | Кезектесіп отыратын теңіздік және континенттік қабаттар | Баку, Хазар, Төменгі хвалын, Жоғарғы хвалын                   | Үздіксіз геологиялық қадағалау, сиквенс-стратиграфия, гамма-каротаж  |
| Жезқазған кен орны | Негізінен континенттік шөгінділер                       | Континенттік аналогтар, синхронды қабаттар                    | Литостратиграфиялық корреляция, палеоклиматтық индикаторларды талдау |
| Ортақ сипаттары    | Қалыңдығы 30-100 метрге дейін және одан жоғары          | Антропогендік кезеңнің палеоклиматтық өзгерістерінің көрінісі | Кешенді стратиграфиялық және геофизикалық тәсіл                      |

Қорытындылай келе, Каспий маңы ойпаты мен Жезқазған кен орнының төрттік шөгінділерін зерттеуде стратиграфиялық әдісті қолдану аймақтың антропогендік кезеңдегі күрделі геологиялық даму тарихын қалпына келтіруге мүмкіндік береді. Заманауи стратиграфиялық талдау мен геофизикалық мәліметтерді кешенді пайдалану шөгінді горизонттарды нақты жіктеуге және олардың кеңістіктегі таралуын дәл картаға түсіруге жол ашады. Жезқазған өңіріндегі континенттік қабаттар мен Каспий маңы теңіздік циклдері арасындағы корреляциялық байланысты анықтау – аймақтық геология үшін маңызды ғылыми жаңалық болып табылады.

*Список использованных источников:*

1. Янина Т.А. Стратиграфическая схема плейстоцена Североприкаспийской провинции // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2012. – № 6.
2. Геология четвертичных отложений: учебное пособие / сост. А.С. Застрожных и др. – М.: МГУ, 2010.
3. Рычагов Г.И. Стратиграфия четвертичных отложений и история развития Каспийского моря // Георесурсы. – 2014.
4. Федоров П.В. Стратиграфия четвертичных отложений и история развития Каспийского моря. – М.: Изд-во АН СССР, 1957.

## ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ БЫТОВЫХ ПОЖАРОВ И МЕРЫ ИХ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ

Пожары в жилых зданиях представляют серьезную угрозу для жизни и здоровья населения. Ежегодно бытовые пожары приводят к значительным материальным потерям, травмам и гибели людей. Особенность таких пожаров заключается в том, что они возникают в местах постоянного проживания людей, где вероятность быстрого распространения огня и задымления особенно высока.

Основными причинами возникновения бытовых пожаров являются нарушение правил эксплуатации электрических приборов, неисправность электропроводки, неосторожное обращение с огнем, а также неправильное использование газового оборудования. Нередко пожары происходят из-за оставленных без присмотра нагревательных приборов, перегрузки электрической сети и использования самодельных электрических устройств.

Серьезную угрозу представляют пожары, возникающие в ночное время, когда люди находятся в состоянии сна и не способны своевременно обнаружить очаг возгорания. В таких условиях даже небольшое возгорание может за короткий промежуток времени привести к интенсивному задымлению помещения и распространению огня на соседние комнаты.

Для предотвращения бытовых пожаров необходимо соблюдать основные правила пожарной безопасности. Важно регулярно проверять состояние электропроводки, не перегружать электрические сети, своевременно ремонтировать неисправные бытовые приборы и соблюдать правила эксплуатации газового оборудования. Также рекомендуется устанавливать автономные пожарные извещатели, которые позволяют своевременно обнаружить возгорание и предотвратить его распространение.

Таким образом, снижение количества бытовых пожаров возможно при условии соблюдения населением правил пожарной безопасности и проведения профилактической работы. Повышение уровня информированности граждан и ответственное отношение к эксплуатации бытовых приборов играют важную роль в предупреждении пожаров в жилых зданиях.

### *Список Литературы:*

- 1) МЧС России. *Пожарная безопасность в жилых зданиях.* — Москва, 2018.
- 2) NFPA. *Fire Safety in Residential Buildings.* — USA, 2020.

## ГЕОЛОГИЯЛЫҚ ДЕРЕКТЕР МЕН ЦИФРЛЫҚ МОДЕЛЬДЕР АРҚЫЛЫ МҰНАЙ ӨНДІРУДІ ОҢТАЙЛАНДЫРУ

Қазіргі уақытта мұнай-газ саласында цифрлық технологияларды қолдану ерекше маңызға ие болып отыр. Мұнай өндіру тиімділігін арттыру үшін геологиялық деректерді дұрыс жинау, өңдеу және оларды цифрлық модельдер арқылы талдау үлкен рөл атқарады. Геологиялық деректер мен заманауи цифрлық технологияларды біріктіру мұнай кен орындарын тиімді игеруге, өндіріс процесін оңтайландыруға және табиғи ресурстарды ұтымды пайдалануға мүмкіндік береді.

Мұнай қабаттарының қасиеттерін білу үшін алдымен жердің ішкі құрылымын зерттеу керек. Геологиялық зерттеулерде қабаттардың түрі, қалыңдығы, құмтас немесе сазтас болу жағдайы, пористілік және сұйықтық өткізгіштік сияқты қасиеттер маңызды. Бұл деректерді жинап, MATLAB сияқты бағдарламалар арқылы есептеу арқылы қабаттардағы мұнай мөлшері мен қозғалысын болжауға болады. Мысалы, әр қабаттың қанша сұйықтық ұстай алатынын, қай жерден скважина қазған дұрыс екенін алдын ала білуге болады. Сол арқылы уақыт пен ақша үнемделеді.

Цифрлық модельдерді жасау арқылы жер қабаттарының 3D картасын құрып, қабат құрылымын көзбен көретіндей етіп көрсетуге болады. Бұл мамандарға скважиналарды орналастыруды жоспарлауға көмектеседі. Мысалы, егер белгілі бір қабаттағы құмтас өте қалың әрі сұйықтық өткізгіш болса, сол жерге скважина қазу тиімді болады. MATLAB арқылы алынған мәліметтерді графиктер мен карталар арқылы визуализациялап, қабаттардың қасиеттерін оңай түсінуге болады.

Мұнай өндіруде су айдау немесе water injection деп аталатын әдіс кеңінен қолданылады. Бұл әдістің мәні – мұнай қабатына таза суды жіберу арқылы қысымды сақтау және мұнайды қабаттан шығару. Қарапайым тілмен айтсақ, мұнай “қалдырмай” сорылып шығады. Егер қабатқа су жібермесек, қысым төмендеп, мұнайның көп бөлігі қабатта қалады. Су айдау әдісін қолданғанда, MATLAB және SCADA/TIA Portal жүйелері арқылы судың қай жерде және қанша көлемде жіберілетінін есептеп, өндірісті тиімді басқаруға болады.

Мұндай интеграцияланған тәсіл нәтижесінде өндіріс процесі тиімді басқарылып, экономикалық шығындар азайып, кен орындарының ресурстары барынша тиімді пайдаланылады. MATLAB пен TIA Portal бағдарламалық құралдарының қолданылуы цифрлық модельдерді нақты өндіріс деректерімен байланыстырып, шешім қабылдауды жылдамдатады және мұнай өндіру деңгейін арттыруға мүмкіндік береді.

TIA Portal және SCADA жүйелері өндірісті нақты уақыт режимінде бақылауға арналған. Бұл бағдарламалар скважиналардағы мұнай шығу көлемін, қысымды және температурасын қадағалайды. Егер қандай да бір ақау пайда болса немесе қысым тым төмен болса, жүйе автоматты түрде ескерту береді. Мұндай бақылау адам мүмкін емес жылдамдықпен орындалады. Сонымен қатар, жабдықты автоматты басқару арқылы жұмыс тиімділігі артады, артық шығындар азаяды, өндіріс қауіпсіз әрі үнемді болады.

Геологиялық деректер мен цифрлық модельдерді бірге қолдану өндірісті барынша тиімді етеді. MATLAB арқылы қабаттарды зерттеп, қасиеттерін есептеген соң, TIA Portal арқылы нақты өндіріс процесін басқаруға болады. Мысалы, белгілі бір қабаттағы қысым азайса, жүйе автоматты түрде насос жұмысын күшейтіп, қысымды қалыпқа келтіреді. Нәтижесінде пайдалы қазбаларды өндіру көлемі артады, кен орнының ресурстары барынша тиімді пайдаланылады.

Қорытындылай келе, геология мен цифрлық технологиялардың бірігуі өндірісті «ақылды» етіп, уақыт пен ақшаны үнемдеуге, кен орнынан көп мұнай алуға мүмкіндік береді. Бұл тәсіл өндіріс тиімділігін арттырады, шығындарды азайтады және пайдалы қазбаларды барынша көп өндіруге көмектеседі.

### **Әдебиеттер тізімі**

1. Aziz, K. & Settari, A. Petroleum Reservoir Simulation, Elsevier, 2018. 45–102 б.
2. Zhang, D. Numerical Simulation of Oil Reservoirs Using MATLAB, Springer, 2020. 12–78 б.
3. Мусин Д.Б., Карабаев А.У. Моделирование процессов добычи нефти. - Алматы: КазНТУ, 2021.

## ГЕОЛОГИЯЛЫҚ ҚИМАЛАРДЫ ҚҰРУДЫ АВТОМАТТАНДЫРУ

Қазіргі кезеңде геология саласы цифрлық технологиялармен тығыз байланысты дамып келеді. Кен орындарын барлау және игеру барысында жиналатын мәліметтердің көлемі өте үлкен және күрделі болып келеді. Бұрғылау ұңғымаларының геологиялық сипаттамалары, каротаж диаграммалары, зертханалық талдау нәтижелері, геофизикалық және маркшейдерлік деректер – барлығы өзара байланыста қарастырылуы тиіс. Мұндай ақпаратты дәстүрлі қолмен өңдеу көп уақытты талап етеді және есептеу барысында қателіктер жіберілуі мүмкін. Осыған байланысты геологиялық қималарды құру процесін автоматтандыру – қазіргі геология ғылымы мен өндірісі үшін маңызды әрі өзекті мәселе болып табылады.

Геологиялық қималарды құру процесін автоматтандырудың ғылыми-тәжірибелік негіздерін қарастыру және заманауи бағдарламалық құралдарды қолданудың тиімділігін анықтау.

### **Негізгі міндеттері:**

- геологиялық қиманың мәнін және оның өндірістегі рөлін анықтау;
- дәстүрлі және автоматтандырылған құрастыру әдістерін салыстыру;
- автоматтандыру кезеңдерін сипаттау;
- цифрлық модельдеудің артықшылықтарын негіздеу;
- автоматтандырылған қималардың практикалық маңызын көрсету.

Геологиялық қима – жер қыртысының ішкі құрылымын тік жазықтықта бейнелейтін графикалық модель. Ол тау жыныстарының қабаттасу ретін, олардың қалыңдығын, литологиялық құрамын, тектоникалық бұзылыстарды, қабаттардың жату бұрышын және геологиялық шекараларды анық көрсетеді. Геологиялық қималар кен орындарын барлау кезінде қабаттардың таралу заңдылықтарын түсінуге, пайдалы қазбалардың орналасуын болжауға және қорларды есептеуге мүмкіндік береді.

Дәстүрлі тәсілде геологиялық қималар миллиметрлік қағазға қолмен салынып, ұңғымалар арасындағы қабаттар корреляциясы маманның тәжірибесіне сүйене отырып жүргізіледі. Бұл әдіс шағын көлемдегі деректер үшін тиімді болғанымен, күрделі құрылымды және көп ұңғымалы кен орындарында уақыт жағынан тиімсіз әрі дәлдігі төмен болуы мүмкін.

Автоматтандырылған жүйелер геологиялық және геофизикалық ақпаратты цифрлық форматта өңдейді. Алдымен барлық бастапқы деректер электрондық базаға енгізіледі. Одан кейін арнайы алгоритмдер арқылы қабаттар арасындағы стратиграфиялық сәйкестік анықталып, автоматты түрде корреляция жүргізіледі. Нәтижесінде екі өлшемді (2D) немесе үш өлшемді (3D) геологиялық модель құрастырылады. Бұл модельдер



қабаттардың кеңістікте таралуын айқын көрсетіп, инженерлік шешімдерді ғылыми негізде қабылдауға мүмкіндік береді.

Автоматтандырудың негізгі артықшылықтарына уақыт үнемдеу, есептеу дәлдігінің жоғарылауы, адам факторынан болатын қателіктердің азаюы және үлкен деректер массивін тиімді өңдеу мүмкіндігі жатады. Бұдан бөлек, дайын модельдерді визуализациялау, талдау және салыстыру процестері жеңілдейді. Бұл әсіресе ұңғымаларды геофизикалық зерттеу нәтижелерін интерпретациялау кезінде маңызды, себебі қабаттардың қасиеттерін жедел бағалауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар автоматтандырылған қималар ұңғымаларды геофизикалық зерттеу нәтижелерін интерпретациялау кезінде қабаттардың кеуектілігін, тығыздығын және басқа физикалық қасиеттерін жедел бағалауға жағдай жасайды. Бұл кен орындарын тиімді игеру мен өндірістік тәуекелдерді азайтуға ықпал етеді.

Геологиялық қималарды автоматтандыру барысында кеңістіктік деректерді басқару және сақтау мәселесі де маңызды орын алады. Заманауи жүйелер деректерді бірыңғай ақпараттық ортада сақтауға мүмкіндік береді. Бұл әртүрлі мамандардың (геолог, геофизик, маркшейдер, инженер) бір жобамен бір уақытта жұмыс істеуіне жағдай жасайды. Нәтижесінде ақпарат алмасу жылдамдап, шешім қабылдау үдерісі жеделдейді. Автоматтандырылған бағдарламалар статистикалық талдау жүргізу мүмкіндігін береді. Мысалы, қабат қалыңдығының орташа мәнін, өзгеру заңдылығын немесе белгілі бір литологиялық құрамның таралу аймағын есептеу автоматты түрде орындалады. Бұл геологиялық құрылымды тереңірек талдауға және болжау жасауға көмектеседі.

Осылайша, геологиялық қималарды автоматтандыру тек сызбаны жылдам құрумен шектелмейді, ол кешенді талдау жүргізуге, мәліметтерді жүйелеуге және ғылыми негізделген болжам жасауға мүмкіндік беретін заманауи құрал болып табылады.

Геологиялық қималарды құруды автоматтандыру – геология саласындағы цифрлық трансформацияның маңызды бағыты. Ол зерттеу сапасын арттырып қана қоймай, өндірістік процестердің тиімділігін жоғарылатады. Заманауи бағдарламалық қамтамасыз етуді қолдану геологиялық модельдеудің дәлдігін арттырып, болашақта кен орындарын игеру барысында ғылыми негізделген шешімдер қабылдауға кең мүмкіндік береді.

*Пайдаланылған әдебиеттер тізімі*

1. Бейсенов Қ.С. Геологиялық картография негіздері. – Алматы: Қазақ университеті, 2016. – 240 б.
2. Жұмаділов С.К. Геоинформациялық жүйелер және оларды геологияда қолдану. – Алматы: Эверо, 2019. – 300 б.
3. Кузнецов В.Г. Геологическое моделирование месторождений полезных ископаемых. – Москва: Недра, 2012. – 384 с.
4. Сагинов А.С. Ұңғымаларды геофизикалық зерттеу әдістері. – Қарағанды: ҚарТУ баспасы, 2020. – 220 б.

## ВЛИЯНИЕ ВУЛКАНИЧЕСКИХ И ПОСТВУЛКАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ФЛЮВИАЛЬНЫЙ РЕЛЬЕФ

Флювиальный рельеф, формируемый текучими водами, является одной из наиболее динамичных форм земной поверхности. В вулканических регионах он находится под дополнительным, часто резким воздействием эндогенных процессов, что делает его особенно подверженным изменениям. Вулканическая и поствулканическая активность приводит к перестройке речной сети, изменению морфологии долин, интенсивному разрушению и переотложению рыхлого материала, а также к образованию уникальных ландшафтных форм.

Несмотря на очевидную важность, флювиальные процессы в зонах вулканизма остаются недостаточно изученными, а имеющиеся данные в научной литературе — разрозненными и фрагментарными. Это особенно актуально для регионов с молодой и активной вулканической деятельностью, таких как Камчатка, Исландия, Япония, Индонезия и др., где риски, связанные с изменениями в речной сети, высоки не только для природы, но и для населения и инфраструктуры.

Формирование и эволюция флювиального рельефа в зонах вулканической активности происходит под влиянием нескольких типов процессов, различающихся по механизму, пространственному охвату и продолжительности действия. Все эти процессы условно разделяются на вулканические и поствулканические, при этом каждое из направлений имеет собственные особенности влияния на речные долины.

Выделяются следующие основные типы воздействий:

1. Эффузивный вулканизм — излияния лавы, формирующие лавовые поля, плато и блокирующие речные долины. Эти процессы оказывают прямое влияние на морфологию русел, блокируя или перенаправляя водотоки.
2. Эксплозивный вулканизм — выбросы пирокластического материала, лавин, тефры. Является основным источником рыхлого материала, перерабатываемого водными потоками. Часто сопровождается селевыми процессами (лахарами) и формированием подпрудных озёр.
3. Вулкано-тектонические явления — образование кальдер, депрессий, трещин и грабенов в результате вулканических взрывов и тектонических подвижек. Они определяют планировку речной сети и направление водотоков.

4. Газогидротермальная активность — воздействие минеральных и термальных вод на русло и склоны долин, вызывающее специфические формы отложений, цементацию аллювия, формирование натечных террас и фестонов, а также активизацию склоновых процессов, в частности оползней.
5. Грязевой вулканизм — выбросы сопочной брекчии, часто перекрывающей речные долины. Такие процессы могут кардинально изменить морфологию долины и состав её отложений.

Формирование и эволюция флювиального рельефа в зонах вулканической активности происходит под влиянием нескольких типов процессов, различающихся по механизму, пространственному охвату и продолжительности действия. Все эти процессы условно разделяются на вулканические и поствулканические, при этом каждое из направлений имеет собственные особенности влияния на речные долины (таблица 1).

Таблица 1 - Влияние вулканических процессов на речные долины

| Тип процесса               | Основное влияние                                                                    |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Эффузивный вулканизм       | Лавовые потоки перекрывают долины, формируются туннели, подпрудные озёра, водопады. |
| Эксплозивный вулканизм     | Осаждение пирокластики, лахары, быстрые эрозионные процессы, «сухие» реки.          |
| Вулкано-тектоника          | Кальдеры и трещины изменяют направление стока, перестраивают речную сеть.           |
| Гидротермальная активность | Формируются натечные террасы, оползни, русло цементируется химически.               |
| Грязевой вулканизм         | Перекрытие долин брекчией, кратковременные озёра, нестабильные русла.               |

Каждый из этих типов воздействий имеет специфические геоморфологические следствия, что позволяет выделить особый вулканофлювиальный тип речных долин.

Вулканические и поствулканические процессы существенно изменяют флювиальный рельеф, формируя уникальные типы долин, русел и террас. Их воздействие проявляется как в создании новых форм, так и в перестройке существующих речных сетей. Понимание этих процессов важно для оценки природных рисков, особенно в активно заселяемых вулканических регионах.

*Список используемой литературы*

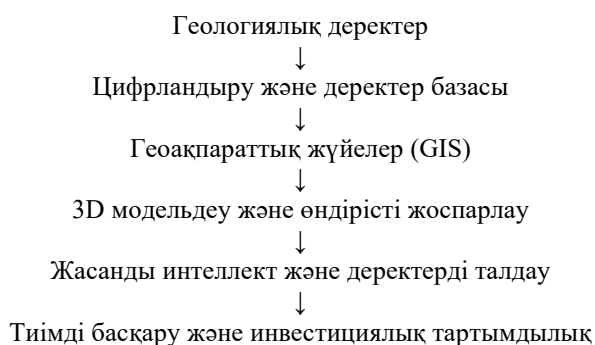
1. Мелекесцев И.В., Пономарева В.В. и др. Вулканизм и геоморфология Камчатки: взаимодействие эндогенных процессов с флювиальной сетью. — Вулканология и сейсмология, 2003.
2. Краева Т.С. Влияние вулканических процессов на морфологию долин в районе Эльбруса. — Геоморфология, 2005.

## ИНФОРМАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ МИНЕРАЛДЫ-ШИКІЗАТ РЕСУРСТАРЫН БАСҚАРУДА ҚОЛДАНУ

Қазіргі уақытта минералды-шикізат ресурстарын тиімді басқару геологиялық деректердің сапасына, олардың цифрлық форматта қолжетімділігіне және жедел талдануына тәуелді. Сондықтан ақпараттық технологиялар бұл салада көмекші құрал ғана емес, басқарудың негізгі элементіне айналды. Геологиялық барлау, қорларды бағалау, өндіруді жоспарлау және экологиялық мониторинг бірыңғай цифрлық жүйе арқылы жүзеге асқанда ғана басқару тиімділігі артады. Қазақстан үшін бұл бағыт ерекше маңызды, себебі ел экономикасында минералды-шикізат ресурстары стратегиялық рөл атқарады.

Минералды-шикізат секторындағы цифрлық трансформация геологиялық ақпаратты жинау, сақтау және өңдеу тәсілдерін өзгертті. Геологиялық деректерді цифрландыру инвесторларға сапалы ақпаратқа жылдам қол жеткізуге мүмкіндік береді және шешім қабылдау процесінің ашықтығын арттырады. Сонымен қатар бірыңғай деректер базасының қалыптасуы басқаруды қағаз құжаттарға емес, цифрлық мәліметтерге негіздеуге жағдай жасайды [1].

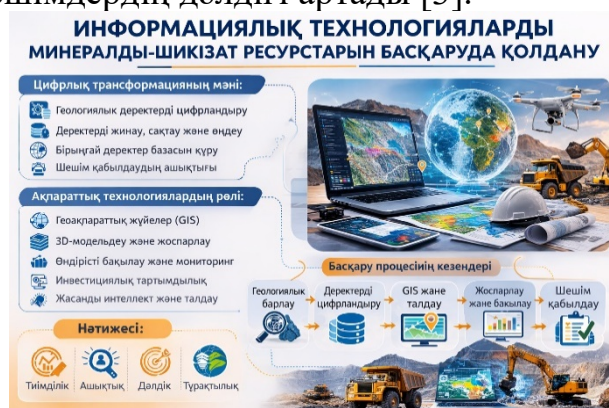
Геоақпараттық жүйелер минералды-шикізат ресурстарын басқаруда маңызды рөл атқарады. Олар кен орындарының орналасуын, инфрақұрылымды, экологиялық шектеулерді және ресурстық әлеуетті бір картада көрсетуге мүмкіндік береді. Мұндай кеңістіктік талдау лицензиялау, барлау бағытын анықтау және инвестициялық шешімдер қабылдау кезінде үлкен маңызға ие [2].



### Сурет 1 - Минералды-шикізат ресурстарын басқарудағы ақпараттық технологиялар

Сонымен қатар горно-геологиялық ақпараттық жүйелер өндірісті жоспарлау мен бақылаудың негізгі құралдарының бірі болып табылады. Бұл

жүйелер геологиялық, маркшейдерлік және өндірістік деректерді біріктіріп, 3D-модельдеу арқылы кен орындарын игеруді тиімді жоспарлауға мүмкіндік береді. Нәтижесінде өндіріс процесін бақылау жеңілдеп, басқарушылық шешімдердің дәлдігі артады [3].



Сурет 2 - Геоақпараттық жүйелер, 3D модельдеу және жасанды интеллект негізінде минералды-шикізат ресурстарын басқару моделі

Ақпараттық технологиялар инвестициялық тартымдылықты арттыруға да ықпал етеді. Цифрлық геологиялық ақпарат инвесторларға кен орындары туралы мәліметтерді жылдам алуға мүмкіндік беріп, геологиялық белгісіздікті азайтады. Бұл минералды-шикізат секторына инвестиция тартудың маңызды факторларының бірі болып табылады.

Сонымен қатар жасанды интеллект пен үлкен деректерді талдау технологиялары геологиялық ақпаратты өндеудің жаңа мүмкіндіктерін ашады. Олар пайдалы қазбалардың перспективалы аймақтарын анықтауға, геологиялық деректерді автоматты талдауға және тәуекелдерді алдын ала болжауға мүмкіндік береді.

Осылайша ақпараттық технологиялар минералды-шикізат ресурстарын басқаруда деректерді цифрландыруды, кеңістіктік талдауды, 3D-модельдеуді және болжау мүмкіндіктерін дамыту арқылы басқару тиімділігін арттырады. Қазақстан жағдайында бұл технологиялар минералды-шикізат базасын тиімді әрі тұрақты пайдаланудың негізгі құралдарының бірі болып табылады.

**Пайдаланылған әдебиеттер:**

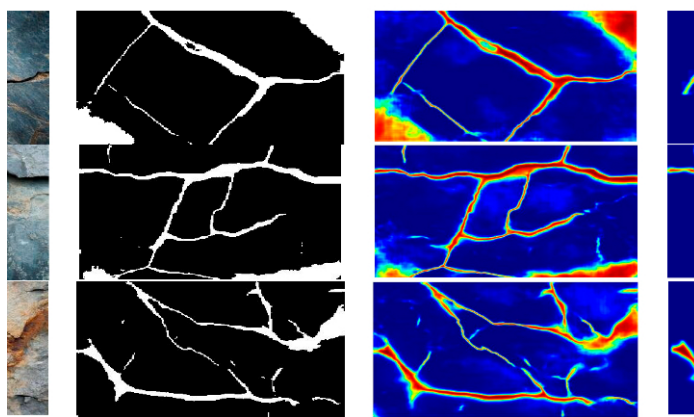
1. Нугманова, Ж. Н. Исследование инновационных функционально-ориентированных геоинформационных технологий // Материалы научной конференции. – 2024. – URL: <https://repository.enu.kz/bitstream/handle/enu/22170/%D0%90%D0%A1%D0%A4-740-748.pdf?isAllowed=y&sequence=1> (қаралған күні: 10.03.2026).
2. Галиев, Е. Ф. Цифровая геологическая информация — ключ к успешным инвестициям // Доклад 14-го Международного горно-металлургического конгресса. – 2024. – URL: <https://onsite.iteca.kz/img/files/amm/2024/doclady/7.06/Geology/GALIYEV.pdf> (қаралған күні: 10.03.2026).
3. Цифровые модели графических материалов в геологоразведочных работах // Материалы государственного отчета. – 2025. – URL: [https://www.gov.kz/uploads/2025/3/5/3be599e432b06c47fa296b2a9002b63f\\_original.1848028.pdf](https://www.gov.kz/uploads/2025/3/5/3be599e432b06c47fa296b2a9002b63f_original.1848028.pdf) (қаралған күні: 10.03.2026).

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ТАЛДАУ ӘДІСТЕРІ АРҚЫЛЫ ТАУ ЖЫНЫСТАРЫНЫҢ ЖАРЫҚШАҚТЫЛЫҒЫН БАҒАЛАУ

Қазіргі таңда тау-кен өндірісі саласында геологиялық процестерді зерттеу және кен орындарын тиімді игеру мәселелері ерекше маңызға ие болып отыр. Тау жыныстарының құрылымдық ерекшеліктерін анықтау кен орындарын игерудің қауіпсіздігі мен тиімділігін арттыруда үлкен рөл атқарады. Солардың ішінде тау жыныстарының жарықшақтылығын зерттеу маңызды ғылыми және өндірістік міндеттердің бірі болып саналады. Жарықшақтар жыныс массивінің беріктігіне, деформациялық қасиеттеріне және тұрақтылығына тікелей әсер етеді. Сонымен қатар олар жыныстардың су өткізгіштігі мен газ өткізгіштігін арттырып, тау-кен жұмыстары кезінде әртүрлі геомеханикалық мәселелердің туындауына себеп болуы мүмкін [1]. Тау жыныстарының жарықшақтылығы – жыныс массивінде табиғи немесе техногендік әсерлер нәтижесінде пайда болған жарықтар мен жарықшақтардың жиынтығы. Бұл жарықшақтар тектоникалық қозғалыстар, температуралық өзгерістер, қысым күштері және жарылыс жұмыстарының әсерінен қалыптасуы мүмкін. Жарықшақтардың саны, бағыты және кеңістікте таралуы тау жыныстарының механикалық қасиеттерін анықтайтын негізгі факторлардың бірі болып табылады. Егер жыныс массивінде жарықшақтардың саны көп болса, онда оның беріктігі төмендеп, опырылу немесе құлау қаупі жоғарылайды. Сондықтан тау-кен өндірісінде жыныстардың жарықшақтылық деңгейін алдын ала анықтау өте маңызды. Дәстүрлі геологиялық зерттеу әдістері көбінесе далалық бақылауларға, геологиялық карталауға және зертханалық талдауларға негізделеді. Алайда бұл әдістер кейде көп уақытты қажет етеді және үлкен көлемдегі деректерді өңдеуде шектеулі болуы мүмкін. Соңғы жылдары цифрлық технологиялардың дамуына байланысты геологиялық деректерді өңдеудің жаңа тәсілдері пайда болды. Солардың ішінде интеллектуалды талдау әдістері ерекше орын алады. Интеллектуалды талдау әдістері – үлкен көлемдегі деректерді өңдеуге, олардың арасындағы жасырын байланыстарды анықтауға және белгілі бір заңдылықтарды табуға мүмкіндік беретін заманауи технологиялар жиынтығы [2]. Бұл әдістер жасанды интеллект, машиналық оқыту және деректерді интеллектуалды өңдеу алгоритмдеріне негізделген. Қазіргі уақытта бұл технологиялар геология, тау-кен өндірісі, энергетика және көптеген басқа салаларда кеңінен қолданылуда. Тау жыныстарының жарықшақтылығын бағалауда интеллектуалды талдау әдістерін қолдану көптеген мүмкіндіктер береді. Біріншіден, бұл әдістер үлкен көлемдегі геологиялық деректерді жылдам өңдеуге мүмкіндік береді. Екіншіден, олар геологиялық объектілердің құрылымдық ерекшеліктерін дәл анықтауға көмектеседі. Үшіншіден,

интеллектуалды жүйелер жыныс массивіндегі жарықшақтардың таралуын болжауға мүмкіндік береді [3].

Қазіргі уақытта тау жыныстарының жарықшақтылығын зерттеуде бірнеше интеллектуалды әдістер кеңінен қолданылады. Солардың бірі – нейрондық желілер. Нейрондық желілер күрделі геологиялық деректерді талдап, олардың арасындағы байланыстарды анықтауға қабілетті (1.1 Сурет) Бұл әдіс арқылы жыныс массивіндегі жарықшақтардың орналасу заңдылықтарын анықтауға және олардың болашақтағы өзгерістерін болжауға болады. Тағы бір маңызды әдіс – машиналық оқыту алгоритмдері. Бұл әдіс зерттеу уақытын қысқартып, нәтижелердің дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді [4].



1.1 Сурет – Интеллектуалды талдау ерекшеліктері

Қорытындылай келе, тау жыныстарының жарықшақтылығын бағалау тау-кен өндірісіндегі маңызды ғылыми және практикалық міндеттердің бірі болып табылады. Интеллектуалды талдау әдістерін қолдану геологиялық деректерді өңдеудің тиімділігін арттырып, жыныс массивінің құрылымдық ерекшеліктерін дәлірек анықтауға мүмкіндік береді. Бұл технологиялар тау-кен өндірісінің қауіпсіздігін арттыруға, өндірістік процестерді оңтайландыруға және кен орындарын тиімді игеруге мүмкіндік береді. Сондықтан интеллектуалды талдау әдістерін тау-кен өндірісіне кеңінен енгізу қазіргі заманғы ғылым мен өндірістің маңызды бағыттарының бірі болып табылады [5].

*Қолднылған әдебиеттер тізімі*

1. *Introduction to Artificial Neural Networks*. – St. Paul: West Publishing Company, 1992.
2. *Deep Learning*. – Cambridge: MIT Press, 2016.
3. *Society for Mining Metallurgy and Exploration*. *Mining Engineering Handbook*. – 3rd ed. – Littleton, CO, 2011.
4. *International Council on Mining and Metals*. *Digital Transformation in Mining Report*. – London, 2020.
5. *International Organization for Standardization*. *ISO 22400-2:2014 Automation systems and integration – Key performance indicators for manufacturing operations management*. – Geneva, 2014.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД  
УГЛЕННОГО РАЗРЕЗА

Физико-механические свойства (ФМС) горных пород - фундаментальная база для проектирования горных выработок, оценки устойчивости ствола скважины и прогнозирования геомеханических рисков в угленосных терригенных разрезах. В данной работе представлены результаты расчёта ФМС по данным АКШ-D/73 для 27 интервалов: 22 угольных пласта (51.7 м) и 7 пластов углистых аргиллитов (17.7 м) в интервале 119–793 м.

Расчёт базируется на трёх параметрах: плотность  $\rho$  (г/см<sup>3</sup>) по ГГК-п, интервальное время продольной  $DT\_P$  и поперечной  $DT\_S$  волн (мкс/м) по АКШ. Скорости:  $V\_P = 1/DT\_P$ ,  $V\_S = 1/DT\_S$ . Динамические модули:

$$\nu = (V\_P^2 - 2V\_S^2) / (2(V\_P^2 - V\_S^2)); \quad G = \rho \cdot V\_S^2; \quad K = \rho \cdot V\_P^2 - 4G/3; \quad E = 2G \cdot (1 + \nu); \quad K_{бр} = \nu / (1 - \nu)$$

Прибор АКШ-D/73 (зонд ИЗ.0П0.2П0.2П) регистрирует Р-, S- и Стоунли-волны одновременно по четырём приёмным каналам (BC1–BC4). В кавернозных интервалах (151–157 м, 613–617 м) выделение S-волны невозможно - ФМС в этих зонах не рассчитывались.

Верхний ряд на рисунке 1 показывает вертикальные профили пяти параметров ФМС. Модуль Юнга  $E$  изменяется от 3.84 до 8.61 ГПа (ср. 6.35 ГПа). Минимальные  $E < 5$  ГПа отмечены в мощных пластах (256–262 м, 759–765 м), максимальные (8.5–8.6 ГПа) - на глубинах 695–740 м, где одновременно высоки  $G$  (2.97–2.99 ГПа) и  $K$  (до 28.49 ГПа). Объёмный модуль  $K$  характеризует заполнение пустот:  $K < 10$  ГПа маркирует открытую пористость и трещиноватые зоны. Значения  $G < 1.8$  ГПа (горизонты Д6, Т10) указывают на пласты с пониженной сдвиговой жёсткостью - первоочерёдные объекты для усиленного крепления кровли.

Коэффициент Пуассона  $\nu = 0.36–0.45$ ; пласты с  $\nu \geq 0.43$  (горизонты Т8–9, Т3, Д9, Д7, Д6) интенсивно передают вертикальную нагрузку горизонтально. Коэффициент  $K_{бр}$  достигает 0.82 (Д7, 707–710 м) и 0.80 (Д6, 759–765 м). Значения  $K_{бр} > 0.75$  - риск пучения почвы и потери устойчивости при недостаточной крепи. Нарастание  $K_{бр}$  с глубиной согласуется с ростом бокового горного давления (профиль « $K_{бр}$  по глубине», рис. 1). Нижний ряд рисунок. 1: кросс-плоты  $E$  vs  $\nu$  и  $G$  vs  $K$  показывают линейную корреляцию модулей для угля ( $R^2 \approx 0.80$ ) и меньшую изменчивость аргиллитов. Среднее  $E$ : уголь 6.39 ГПа, аргиллит 6.21 ГПа - близки, но разброс у угля вдвое шире ( $\sigma \approx 1.1$  против 0.6 ГПа). Гистограмма  $G$  выявляет бимодальность: пик 2.1–2.3 ГПа для основной массы пластов и «хвост»  $G < 1.6$  ГПа для горизонтов Д6 и Т10.





Рисунок. 1. Физико-механические свойства угленосного разреза: (верхний ряд) вертикальные профили  $E$ ,  $K$ ,  $G$ ,  $\nu$ ,  $K_{br}$  по глубине; (нижний ряд) кросс-плоты  $E$  vs  $\nu$  и  $G$  vs  $K$ , профиль  $K_{br}$ , ящичные диаграммы  $E$ , гистограмма  $G$ . Синие точки - уголь, коричневые - углистый аргиллит.

Для 27 интервалов рассчитаны шесть динамических параметров:  $E = 3.84\text{--}8.61$  ГПа (ср. 6.35),  $K = 8.30\text{--}28.49$ ,  $G = 1.34\text{--}2.99$ ,  $\nu = 0.36\text{--}0.45$ ,  $K_{br} = 0.57\text{--}0.82$ . Значительный разброс отражает геомеханическую неоднородность разреза.

Выделены ослабленные зоны ( $E < 5$  ГПа,  $G < 1.8$  ГПа): горизонты Д6 (759–765 м,  $E = 3.84$  ГПа,  $\nu = 0.45$ ), Т10 (218–221 м) и Т8–9 (257–262 м) - требуют специальных мероприятий при проходке выработок.

$K_{br} > 0.75$  в 8 из 27 интервалов; нарастание с глубиной - критический параметр при проектировании крепи и оценке пучения почвы на горизонтах  $> 700$  м.

Корреляция  $E$  с  $G$  позволяет прогнозировать сдвиговую жёсткость в кавернозных интервалах. Интеграция ФМС с RQD и данными ABI обеспечивает комплексное геомеханическое ранжирование пластов и оптимизацию схем горных и дегазационных работ.

#### Список литературы

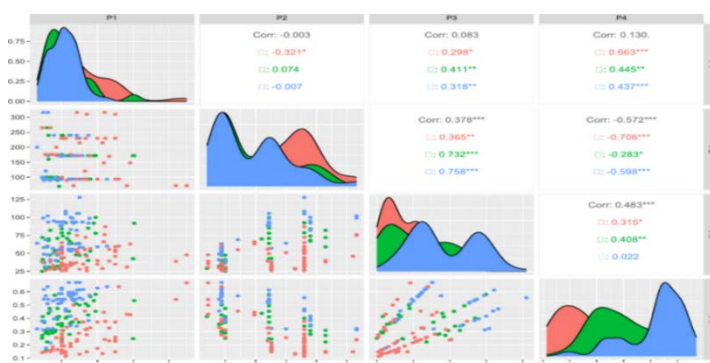
1. Гуторов Ю.А. Акустический каротаж. Теория и применение. - М.: Недра, 1990. - 272 с.
2. Добрынин В.М., Вендельштейн Б.Ю., Резванов Р.А., Африкан А.Н. Геофизические исследования скважин. - М.: Недра, 1986. - 368 с.
3. Zoback M.D. Reservoir Geomechanics. - Cambridge: Cambridge University Press, 2007. - 449 с.

## ҮЛКЕН ДЕРЕКТЕР НЕГІЗІНДЕ ГЕОЛОГИЯЛЫҚ ТӘУЕКЕЛДІЛІКТІ БОЛЖАУ

Қазіргі уақытта тау-кен және геология саласында қауіпсіздік пен өндіріс тиімділігін арттыру мәселелері ерекше маңызға ие. Кен орындарын игеру кезінде әртүрлі геологиялық тәуекелдер пайда болуы мүмкін. Бұл тәуекелдер жер асты қазбаларының опырылуы, газдың кенеттен бөлінуі, су басу, жыныс қысымының артуы сияқты қауіпті жағдайлармен байланысты. Мұндай құбылыстар өндірістік процестердің тоқтауына, материалдық шығындарға және адам өміріне қауіп төндіруі мүмкін. Сондықтан геологиялық тәуекелдерді алдын ала анықтау және болжау тау-кен өндірісіндегі маңызды ғылыми және практикалық міндеттердің бірі болып табылады [1]. Соңғы жылдары цифрлық технологиялардың қарқынды дамуы нәтижесінде геология және тау-кен өндірісі саласында үлкен деректер (Big Data) технологиялары кеңінен қолданыла бастады. Үлкен деректер – бұл көлемі өте үлкен, жылдам жаңарып отыратын және әртүрлі форматта болатын ақпараттар жиынтығы. Мұндай деректерді дәстүрлі әдістер арқылы өңдеу қиын болғандықтан, оларды талдау үшін арнайы бағдарламалық құралдар мен интеллектуалды алгоритмдер қолданылады. Үлкен деректер технологиялары геологиялық ақпараттарды жинау, сақтау және өңдеу мүмкіндігін айтарлықтай кеңейтеді. Геологиялық тәуекелдерді болжауда үлкен деректердің маңызы өте зор. Қазіргі уақытта кен орындарында көптеген сенсорлар, мониторинг жүйелері, геологиялық зерттеу құралдары және спутниктік бақылау технологиялары қолданылады. Осы құрылғылар арқылы үлкен көлемдегі ақпарат жиналады. Мысалы, жыныстардың қысымы, температурасы, газ концентрациясы, жер асты суларының деңгейі және жыныс деформациясы туралы деректер тұрақты түрде тіркеліп отырады. Бұл ақпараттар арнайы деректер базасына жиналып, кейін талдау үшін пайдаланылады (сурет 1). Үлкен деректерді талдау арқылы геологиялық процестердің заңдылықтарын анықтауға болады. Мысалы, жыныс қысымының өзгеруі немесе газ концентрациясының артуы болашақта қауіпті жағдайдың туындауы мүмкін екенін көрсетеді. Осындай деректерді талдау арқылы ғалымдар мен инженерлер геологиялық тәуекелдердің пайда болу ықтималдығын алдын ала болжай алады. Бұл өндірістік қауіпсіздікті арттыруға және апаттық жағдайлардың алдын алуға мүмкіндік береді [2]. Үлкен деректер негізінде геологиялық тәуекелдерді болжау үшін әртүрлі аналитикалық әдістер қолданылады. Соның ішінде машиналық оқыту, жасанды интеллект және статистикалық модельдеу әдістері кеңінен таралған. Машиналық оқыту алгоритмдері үлкен көлемдегі деректерді талдап, олардың арасындағы

жасырын байланыстарды анықтай алады. Мысалы, белгілі бір геологиялық параметрлердің өзгеруі мен қауіпті жағдайлардың пайда болуы арасындағы байланыс анықталады. Осы мәліметтер негізінде болашақтағы тәуекелдерді болжауға арналған модельдер жасалады [3].

Жасанды интеллект технологиялары геологиялық деректерді автоматты түрде талдап, тәуекел деңгейін анықтауға мүмкіндік береді. Бұл жүйелер нақты уақыт режимінде жұмыс істеп, қауіпті жағдайлардың пайда болу ықтималдығын бағалай алады. Егер жүйе белгілі бір қауіпті көрсеткіштерді анықтаса, ол операторларға немесе инженерлерге алдын ала ескерту сигналын жібереді. Бұл апаттық жағдайлардың алдын алуға және өндірістік қауіпсіздікті қамтамасыз етуге көмектеседі [4]



1 Сурет – Интеллектуалды талдау ерекшеліктері

Болашақта үлкен деректер технологиялары геология және тау-кен өндірісі саласында одан әрі кеңінен қолданылатын болады. Жасанды интеллект пен машиналық оқыту алгоритмдерінің дамуы геологиялық процестерді тереңірек зерттеуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар жаңа сенсорлар мен бақылау жүйелері арқылы жиналатын деректер көлемі арта түседі. Бұл геологиялық тәуекелдерді болжаудың дәлдігін айтарлықтай арттырады. Қорытындылай келе, үлкен деректер негізінде геологиялық тәуекелдерді болжау қазіргі заманғы тау-кен өндірісінің маңызды бағыттарының бірі болып табылады. Үлкен деректер технологиялары геологиялық процестерді жан-жақты талдауға, тәуекелдерді алдын ала анықтауға және өндірістік қауіпсіздікті арттыруға мүмкіндік береді. Сондықтан бұл технологияларды тау-кен өндірісінде кеңінен енгізу ғылыми және практикалық тұрғыдан өте маңызды болып табылады [5].

*Қолданылған әдебиеттер тізімі*

1. Introduction to Artificial Neural Networks. – St. Paul: West Publishing Company, 1992.
2. Deep Learning. – Cambridge: MIT Press, 2016.
3. Society for Mining Metallurgy and Exploration. Mining Engineering Handbook. – 3rd ed. – Littleton, CO, 2011.
4. International Council on Mining and Metals. Digital Transformation in Mining Report. – London, 2020.
5. International Organization for Standardization. ISO 22400-2:2014 Automation systems and integration – Key performance indicators for manufacturing operations management. – Geneva, 2014.

## ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Современная геологоразведка сталкивается с серьезным вызовом: запасы легкодоступных месторождений истощаются, а новые ресурсы залегают на больших глубинах и в регионах со сложным строением недр. Традиционные методы поиска в таких условиях становятся слишком дорогостоящими и часто приводят к ошибкам при бурении, так как человек не всегда может эффективно проанализировать колоссальные объемы накопленной десятилетиями информации. Цифровая трансформация решает эту проблему, заменяя ручной анализ алгоритмами искусственного интеллекта и созданием точных 3D-моделей подземных структур. Это позволяет компаниям видеть скрытые закономерности в данных, значительно точнее определять места для скважин и сокращать время от начала поиска до открытия месторождения, превращая неопределенность недр в четко просчитанный проект.



Рисунок 1 – Преимущества цифровизации геологоразведочных работ

Цифровая трансформация в Казахстане (проекты «КазМунайГаз», «Казатомпром») переводит геологоразведку в формат высокоточной индустрии. Использование искусственного интеллекта для анализа сейсмике и создание «цифровых двойников» позволяют с высокой точностью находить ресурсы на больших глубинах, исключая риски бурения пустых скважин.

Внедрение беспилотных технологий и полная оцифровка исторических архивов в Национальный банк данных сокращают сроки разведки в разы. Использование облачных ГИС-платформ обеспечивает передачу данных с месторождений в аналитические центры в реальном времени, делая восполнение сырьевой базы страны математически выверенным и экономически эффективным.

Для наглядной оценки масштаба технологического сдвига в отрасли ниже приведено прямое сравнение ключевых параметров традиционной и цифровой моделей геологоразведочных работ:

Таблица 1 - Сравнительный анализ моделей геологоразведки

| Параметр сравнения          | Традиционный подход                      | Цифровой подход                               |
|-----------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Управление данными          | Бумажные архивы, длительный ручной поиск | Единая цифровая база (НБД), мгновенный доступ |
| Интерпретация сейсмики      | Визуальный анализ экспертом              | Нейросети и машинное обучение (ИИ)            |
| Геологическое моделирование | Статичные 2D-карты и разрезы             | Динамические 3D «цифровые двойники»           |
| Методы сбора данных         | Наземные группы, замеры вручную          | БПЛА (дроны) и спутниковое зондирование       |
| Оперативность решений       | Отложенная обработка (недели/месяцы)     | Режим реального времени через облачные ГИС    |

Таким образом, внедрение технологий Индустрии 4.0 радикально меняет экономику геологоразведки. Использование искусственного интеллекта и "цифровых двойников" позволяет перевести геологические риски в разряд управляемых параметров, сокращая операционные затраты и сроки окупаемости проектов. Для современных компаний цифровая зрелость становится главным фактором конкурентоспособности, обеспечивая высокую точность прогнозов и максимальную эффективность инвестиций в разведку новых месторождений

Список использованных источников:

1. Геологическая и экономическая оценка предприятий в условиях цифровизации / [Электронный ресурс] // Научный портал MDPI (Energies). – Режим доступа: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/16/6002>.
2. ResearchGate — «Innovation and Digitalization in Kazakhstan's Mining Sector», сmp. 15–28 - [https://www.researchgate.net/publication/388823265\\_Innovation\\_and\\_Digitalization\\_in\\_Kazakhstan\\_Mining\\_Sector](https://www.researchgate.net/publication/388823265_Innovation_and_Digitalization_in_Kazakhstan_Mining_Sector)
3. Kazakhstan Journal of Oil & Gas — «Цифровизация разведки: опыт КазМунайГаз», сmp. 42–45.



## СЕЙСМИКАЛЫҚ ДЕРЕКТЕРДІ ӨНДЕУДЕ САНДЫҚ ЖӘНЕ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНУ

Мақалада сейсмикалық деректерді өңдеу мен интерпретациялаудағы математикалық модельдеудің рөлі қарастырылады. «Геофизикалық технологиялар және инжиниринг» мамандығы аясында қолданылатын негізгі сандық әдістер, толқындық инверсия және миграция алгоритмдеріне талдау жасалады.

Қазіргі таңда геофизикалық инжиниринг-бұл тек жер қойнауын бақылау емес, бұл орасан зор деректерді өңдеу және күрделі физикалық процестерді цифрлық модельдеу өнері. Сейсмикалық барлау кезінде алынған ақпараттың 90%-ы тікелей қолдануға келмейтін «шу» мен күрделі тербелістерден тұрады. Осы деректерден жер астының нақты кескінін алу үшін инженер-геофизиктер іргелі математикалық модельдерге сүйенеді. Математикалық модельдеу-бұл геологиялық ортаның цифрлық егізін жасауға мүмкіндік беретін, бұрғылау тәуекелдерін азайтатын басты құрал.

### **Математикалық негіздер: Толқындық теория**

Кез келген сейсмикалық модельдеудің негізінде серпімді ортадағы механикалық толқындардың таралуын сипаттайтын дифференциалдық теңдеулер жатыр. Инженерлік есептерде ең көп қолданылатын скалярлық толқындық теңдеу:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = v(x, y, z)^2 \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$$

мұндағы:

- $u$ -ортаның қысымы немесе ығысуы,
- ал  $v$  -толқынның таралу жылдамдығы.

Бұл теңдеуді шешу арқылы біз толқынның жер қыртысындағы қабаттардан қалай шағылысатынын есептей аламыз. Модельдеудің басты мақсаты-нақты жағдайға барынша жақын сандық сипаттама алу. Геологиялық ортаның күрделілігіне байланысты аналитикалық шешімдер әрдайым мүмкін бола бермейді, сондықтан сандық әдістер, жуықтау тәсілдері және есептеу алгоритмдері кеңінен қолданылады. Математикалық модельдер сейсмикалық құбылыстардың табиғатын тереңірек түсінуге және тәжірибелік деректерді дұрыс түсіндіруге мүмкіндік береді.[\[1\]](#)

Сейсмикалық деректер-толқындардың таралу параметрлерін сипаттайтын өлшеулер жиынтығы, олар уақытқа, жылдамдыққа, амплитудаға және жиілік сипаттамаларына тәуелді. Бұл сигналдардың ерекшелігі-олардың күрделі құрылымға ие болуы және әртүрлі кедергілерге

сезімталдығы. Қазіргі таңда барлық геофизикалық ақпарат цифрлық форматта өңделеді, бұл үлкен көлемдегі деректермен тиімді жұмыс істеуге жағдай жасайды. Сейсмикалық деректерді өңдеу бірнеше негізгі кезеңнен тұрады. Алдымен далалық өлшеулер кезінде геофондар арқылы тіркелген сигналдар дискреттеу әдісі арқылы цифрлық форматқа түрлендіріледі. Кейін жазбалар алдын ала өңдеуден өткізіліп, шу мен кедергілерді азайту үшін математикалық, әсіресе жиіліктік сүзгілеу әдістері қолданылады. Одан соң толқындардың келу уақыты, амплитудасы сияқты параметрлер есептеліп, осы мәліметтер негізінде жер қабаттарының қасиеттері бағаланады.[\[2\]](#) Сандық модельдеу әдістері толқындардың таралуын имитациялауға мүмкіндік беріп, геологиялық ортаның ерекшеліктерін ескеруге жағдай жасайды. Алынған нәтижелер визуализацияланып, сейсмикалық қималар түрінде ұсынылады. Сонымен қатар заманауи бағдарламалық кешендер есептеу жылдамдығын арттырып, күрделі модельдерді қысқа уақыт ішінде талдауға мүмкіндік береді. Осылайша, математикалық және сандық әдістер зерттеу дәлдігін арттырып қана қоймай, шешім қабылдау сапасын да жақсартады және геофизикалық жұмыстардың тиімділігін жоғарылатады.[\[3\]](#)

Сейсмикалық деректерді өңдеуде математикалық модельдеу мен сандық әдістердің маңызы жоғары. Математикалық тәсілдер сигнал сапасын жақсартып, шу әсерін азайтуға және алынған ақпараттың дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, сандық модельдер сейсмикалық толқындардың таралуын тиімді талдауға жағдай жасайды. Осылайша, математика-сейсмикалық зерттеулердің сенімділігін қамтамасыз ететін негізгі құралдардың бірі болып табылады.

#### **Пайдаланылған әдебиеттер:**

1. Шерман, Г. Геофизикалық зерттеу әдістерінің негіздері. Алматы: Ғылым; 2018
2. Аки, К., Ричардс, П. Количественная сейсмология. Москва: Мир, 1983.
3. Sheriff, R. E., Geldart, L. P. Exploration Seismology. Cambridge University Press, 1995.

## ГЕОЛОГИЯЛЫҚ БАРЛАУДА ҰШҚЫШСЫЗ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ҚОЛДАНУ

Қазіргі уақытта геология және пайдалы қазбаларды барлау саласы қарқынды түрде цифрлық технологиялармен толықтырылуда. Соның ішінде ұшқышсыз ұшу аппараттарын (ҰҰА) немесе дрондарды қолдану геологиялық зерттеулердің тиімділігін айтарлықтай арттыруда. Ұшқышсыз технологиялар кең аумақтарды жылдам зерттеуге, жоғары дәлдіктегі деректер алуға және геологиялық барлау жұмыстарын қауіпсіз әрі экономикалық тұрғыдан тиімді жүргізуге мүмкіндік береді.

Геологиялық барлау барысында дрондар әртүрлі міндеттерді орындау үшін пайдаланылады. Олар аэрофототүсірілім жүргізу, жер бедерінің цифрлық моделін жасау, геологиялық құрылымдарды картаға түсіру, карьерлер мен кен орындарының жағдайын бақылау сияқты жұмыстарда кеңінен қолданылады. Дрондар арқылы алынған жоғары сапалы суреттер мен бейнематериалдар арнайы бағдарламалық қамтамасыз ету көмегімен өңделіп, нәтижесінде үш өлшемді (3D) модельдер құрылады. Бұл модельдер жер бедерінің ерекшеліктерін, жыныстардың орналасуын және кен денелерінің таралуын анықтауға мүмкіндік береді.

Ұшқышсыз ұшу аппараттарының негізгі артықшылықтарының бірі – олардың қол жетуі қиын немесе қауіпті аймақтарды зерттеу мүмкіндігі. Мысалы, таулы аймақтарда, жартасты беткейлерде немесе жаңа ашылған карьерлерде дәстүрлі геологиялық зерттеу әдістерін қолдану кейде қиын немесе қауіпті болуы мүмкін. Осындай жағдайларда дрондар зерттеушілерге қажетті деректерді қашықтан алуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, дрондарды қолдану далалық жұмыстарға жұмсалатын уақыт пен қаржылық шығындарды айтарлықтай азайтады.

Қазіргі таңда дрондар әртүрлі сенсорлармен және өлшеу құралдарымен жабдықталуы мүмкін. Олардың қатарына жоғары айқынды камералар, мультиспектрлік және гиперспектрлік сенсорлар, лидар (LiDAR) жүйелері жатады. Мультиспектрлік түсірілімдер жер бетінің минералдық құрамын анықтауға көмектессе, лидар технологиясы жер бедерінің жоғары дәлдіктегі үш өлшемді моделін жасауға мүмкіндік береді. Мұндай деректер геологиялық құрылымдарды талдауда және пайдалы қазбаларды іздеуде маңызды рөл атқарады.

Сонымен қатар, ұшқышсыз технологиялар геологиялық мониторинг жүргізуде де кеңінен қолданылады. Дрондар карьерлердің, үйінділердің және тау-кен өндірісінің басқа да нысандарының жағдайын тұрақты бақылауға мүмкіндік береді. Бұл геологиялық процестердің өзгерісін уақытылы анықтауға және өндірістік қауіпсіздікті қамтамасыз етуге



көмектеседі. Мысалы, карьер борттарының тұрақтылығын бақылау немесе опырылу қаупі бар аймақтарды анықтау үшін дрондар арқылы алынған деректер маңызды ақпарат береді.

Алайда ұшқышсыз технологияларды қолдану белгілі бір қиындықтармен де байланысты. Біріншіден, алынған деректерді өңдеу үшін арнайы бағдарламалық қамтамасыз ету және білікті мамандар қажет. Екіншіден, кейбір жағдайларда ұшу биіктігі, ауа райы жағдайлары және заңнамалық шектеулер дрондарды қолдануды қиындатуы мүмкін. Соған қарамастан, қазіргі уақытта бұл технологиялар қарқынды дамып, геологиялық барлау жұмыстарында маңызды құралдардың біріне айналуда.



Сурет 1 – Геологиялық барлауда ұшқышсыз ұшу аппараттарын қолдану схемасы

Қорытындылай келе, ұшқышсыз ұшу аппараттарын қолдану геологиялық барлау жұмыстарының тиімділігін арттыруға, зерттеу дәлдігін жақсартуға және қауіпсіздігін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Болашақта жасанды интеллект, үлкен деректерді талдау және геоақпараттық жүйелермен біріктірілген ұшқышсыз технологиялар геология саласының дамуына үлкен үлес қосатыны сөзсіз.

*Әдебиеттер тізімі*

1. Куликов В.С., Кудряшов А.В. *Основы геологии и разведки месторождений полезных ископаемых.* – Москва: Недра, 2018.
2. Акимбеков А.А., Бекжанов Н.Т. *Геологиялық барлау негіздері.* – Алматы: Қазақ университеті, 2019.
3. Eisenbeiss H. *UAV Photogrammetry.* – Zurich: ETH Zurich Institute of Geodesy and Photogrammetry, 2017.
4. Colomina I., Molina P. *Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing.* – ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2014.
5. Turner D., Lucier A., Watson C. *An automated technique for generating georectified mosaics from ultra-high resolution UAV imagery.* – Remote Sensing, 2016.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ

Искусственный интеллект (ИИ) и методы машинного обучения революционизируют сейсморазведку в нефтегазовой промышленности, существенно повышая скорость и точность обработки данных и интерпретации геологических структур. Современные технологии позволяют сократить до минимума участие человека в рутинных процессах, обеспечивая при этом высокое качество и надёжность результатов.

Большинство компаний активно внедряют ИИ в масштабные проекты сейсморазведки. За период с 2010 по 2023 годы объёмы полевых и камеральных сейсморазведочных работ стабильно растут, чему способствует применение высокопроизводительных вычислительных платформ и эффективных алгоритмов машинного обучения.

Автоматизация обработки данных включает следующие этапы: статистическая предобработка, коррекция амплитуд, деконволюция, подавление шума, привязка сеймики к скважинам и построение структурных моделей. На каждом из этих этапов применяются алгоритмы ИИ, которые позволяют минимизировать ошибки и ускорить работу.

Особенно эффективно работает сегментация геологических горизонтов и трассировка разломов с помощью глубоких нейронных сетей U-Net, что снижает долю ручной работы в интерпретации с 100% до менее 15%. Это позволяет выделять десятки горизонтов и сотни разломов на площадях свыше 2000 кв. км с высокой точностью — около 98%.

Для успешного внедрения ИИ важны качественные обучающие данные и тесное сотрудничество геологов и дата-сайентистов, а также мощные GPU-кластеры и облачные решения. Кроме того, требуется развитие нормативной базы и изменение бизнес-процессов, чтобы максимально эффективно интегрировать ИИ в работу специалистов.

Исследование, проведённое А.В. Буториным, оценило точность различных методов машинного обучения при прогнозировании мощности нефтегазовых коллекторов по сейсмическим данным и информации из скважин.

Использовались следующие методы: линейная регрессия, многомерная регрессия, случайный лес, метод ближайших соседей и двуслойная нейронная сеть. Для обучения и тестирования были выделены отдельные выборки из 170 скважин.

Результаты по среднеквадратической ошибке (MSE) прогноза мощности представлены в таблице:

| Метод                   | Среднеквадратическая ошибка (м) | Улучшение по сравнению с линейной регрессией |
|-------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------|
| Линейная регрессия      | 5,69                            | 0%                                           |
| Многомерная регрессия   | 5,12                            | 10-13%                                       |
| Случайный лес           | 5,24                            | 10%                                          |
| Метод ближайших соседей | 5,12                            | 10-13%                                       |
| Нейронная сеть          | 4,85                            | 23%                                          |

Наиболее точным оказался прогноз на основе нейронной сети, которая снизила ошибку на 23% по сравнению с классической линейной регрессией

#### Заключение

Комбинация современных алгоритмов ИИ, высокопроизводительных вычислительных ресурсов и обширных данных позволила значительно повысить эффективность и качество сейсморазведочных работ. ИИ-методы успешно автоматизируют обработку и интерпретацию сейсмических данных, ускоряя принятие решений и снижая риск ошибок.

Внедрение таких технологий в крупных компаниях обеспечивает сокращение сроков подготовки разведочных работ, повышение точности оценки геологических структур и оптимизацию планирования добычи.

Таким образом, искусственный интеллект становится неотъемлемой частью современной геологоразведки, открывая новые возможности для устойчивого и эффективного развития нефтегазовых месторождений.

#### Список использованных источников:

- 1)Бондарев Е. «Применение технологий искусственного интеллекта для задач геологоразведки Газпром нефть», г. 2025, 17 с.
- 2)Буторин А.В. «Сравнение эффективности методов машинного обучения для решения задачи количественного прогноза по данным сейсморазведки», г.2023., Том 8, № 1, с. 23–29.
- 3)«Современные методы машинного обучения и глубокого обучения в сейсморазведке: алгоритмы, архитектуры, применение», Обобщение авторских и отраслевых исследований 2023–2025 гг.
- 4) П.А. Авдеев, А.К. Базанов, И.И. Ефремов, Р.Ф. Мифтахов «Переход к использованию цифровых помощников в кинематической интерпретации данных сейсморазведочных работ на примере задачи повышения качества сейсмических данных после суммирования и достоверности прогноза тектонической модели», вестник нефтегазовой отрасли Казахстана, Том 4, №1 (2022)

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ СПУТНИКОВОЙ ГЕОДЕЗИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Мониторинг деформаций земной поверхности - одна из ключевых задач прикладной геодезии, это необходимо для обеспечения безопасности городов, транспортной и энергетической инфраструктур, наблюдения за добычей углеводородов и для изучения тектонических процессов. За последние 25 лет наблюдается резкий переход от локальных геодезических измерений к глобальным и пространственно-плотным методикам. Такие технологии GNSS стали активно использоваться не только для создания различных геодезических сетей, но и при выполнении топографических съемок участков земной поверхности. В этом случае процесс создания планов различных масштабов ускоряется.

При выполнении крупномасштабных топографических съемок должны выдерживаться жесткие требования к точности определения плановых координат и высотных отметок съемочных точек, пикетов. Поэтому для надежного и качественного выполнения таких съемок выполняющему данную работу следует соблюдать определенные правила производства полевых работ с использованием спутниковых приемников.

Основные методы

### 1)GNSS

Данная сеть обеспечивает точные, непрерывные, точечные временные ряды смещений (вплоть до долей мм/год при длительных сериях и правильной обработке). GNSS спутники расположены на орбитах высотой от 19 100 до 23 200 км. На каждом аппарате установлены атомные часы с наносекундной точностью. Международная служба IGS поддерживает высокоточечные станции и предоставляет орбиты, часы и продукты, необходимые для высокоточной геодезии, для совместимости результатов и долгосрочных исследований используется международная система отсчёта ITRF.

### 2)InSAR

InSAR даёт высокоплотные карты смещений по большой площади с пространственным разрешением от метров до десятков метров и точностью на уровне миллиметров — сантиметров в зависимости от метода. Интерферометрический радар с синтезированной апертурой является методом, используемым для наблюдения деформаций поверхности Земли и искусственных сооружений. Метод основан на использовании спутниковых радиолокационных систем, которые излучают радиоволны и измеряют время, требуемое для прохождения этих волн до поверхности Земли и обратно к спутнику. Данные InSAR позволяют измерять микросмещения

поверхности Земли и сооружений, открывая возможность для раннего выявления потенциальных проблемных зон.

### 3) Традиционные геодезические методы: нивелирование, тахеометрия

Высокоточное нивелирование остаётся «эталоном» для вертикальных смещений на локальных участках и используется для валидации результатов спутниковых методов. Для некоторых типов инфраструктуры требуется сочетание GNSS, наземных методов и нивелирования.

### 4) Комбинированные подходы (GNSS + InSAR)

Сочетание GNSS и InSAR даёт комбинированный эффект: GNSS — абсолютная, временная привязка, InSAR — пространственная плотность. Методы совместной обработки улучшают точность, устраняют систематические смещения и позволяют получить компоненты движения. Обзоры и исследования показывают устойчивую выгоду комбинирования в задачах мониторинга городов, добычи и сейсмоактивных зон.

Главным достоинством геодезического мониторинга является регулярное контролирование и оценка деформированного состояния эксплуатируемого здания и сооружения для своевременного выявления отклонения от принятого проектного положения. Многолетние исследования в области геодезического мониторинга и прогнозирования деформаций сооружений сопряжены со значительной неопределенностью, однако исследования по прогнозированию на основании геодезических наблюдений позволяют сделать количественную оценку.

Итог:

Современная спутниковая геодезия существенно расширила возможности мониторинга деформаций: появилась возможность получать подробные карты деформаций на больших территориях с высокой точностью и частотой обновления. Особенно эффективны комбинированные подходы, когда GNSS обеспечивает абсолютную привязку и валидацию, а InSAR пространственную плотность информации.

*Список использованных источников:*

- В.И.Дударев «Основы ГНСС-технологий», Новосибирск, СГУГиТ, 2016, с. 43-44*  
*Б.Б.Имансакипова «Мониторинговые исследования деформаций инженерных сооружений на основе результатов геодезических наблюдений», Республика Казахстан Алматы, 2014, с. 10-11*  
*А. Г. Князев, Лю Лян, Ф. З. Зарипова, Э. Д. Кузнецов «ПРИМЕНЕНИЕ InSAR-ТЕХНОЛОГИИ ПРИ НАБЛЮДЕНИИ ДЕФОРМАЦИЙ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ», Уральский федеральный университет, с. 1*

## ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО ОРУДЕНЕНИЯ СЕВЕРНОГО УЛЫТАУ

Цель исследования заключается в изучении минерализации редкоземельных элементов (РЗЭ) и элементов платиновой группы (PGE) в медно-никелевом и медном оруденении Северного Улытау, а также в выявлении закономерностей их распределения для укрепления минерально-сырьевой базы Республики Казахстан по благородным и редкоземельным металлам. На исследуемой территории площадей масштаба 1:200000 на территории листов М-42-ХІХ и М-42-ХХV (рис. 1) установлены выходы пикритов и карбонатитов, содержащих сульфидную минерализацию.



Рисунок 1 – Обзорная карта района исследования

В этих породах ранее были зафиксированы микровключения платиноидов и редкоземельных элементов, что указывает на высокую перспективность региона.

Район приурочен к западной части Улытауского крупного тектонического блока, где развиты неопротерозойские гипабиссальные интрузии диабаз-пикритового состава и связанные с ними метасоматиты и карбонатиты.

В пикритах Каратургайского комплекса установлены сульфидные включения, представленные пирротинном, пентландитом, халькопиритом, а также акцессорные фазы: зигенит  $(\text{Co}, \text{Ni})_3\text{S}_4$ , мончеит  $(\text{Pt}, \text{Pd})(\text{Te}, \text{Bi})_2$ , алтаит  $\text{PbTe}$ , теллурид серебра  $\text{Ag}_2\text{Te}$ , селенид свинца  $\text{PbSe}$ . Выявлены микровключения твердых растворов иридиевой группы ( $\text{Ir}-\text{Os}-\text{Ru}$ ), а также РЗЭ ( $\text{Dy}$ ,  $\text{Er}$ ,  $\text{Y}$ ,  $\text{Ce}$ ), входящие в состав сульфидов и силикатов. Геохимические особенности указывают на формирование из мантийных расплавов, обедненных  $\text{Ti}$  и  $\text{Cr}$ , но обогащенных  $\text{Cu}-\text{Ni}$ ,  $\text{Zn}-\text{Pb}$ , PGE и РЗЭ. Оруденение относится к ликвационному магматическому типу с признаками поздней гидротермальной переработки.

В карбонатитах линейно-трещинного типа (проявление Майке) преобладают медноколчеданные руды в кварц-рутил-сидерит-хлоритовых и сидерит-мусковит-хлоритовых сланцах. Основные рудные минералы: виоларит, пирит, сфалерит, пирротин. Акцессорные фазы включают микровключения кобальтина, никелистого кобальтина, герсдорфита, теллурида серебра, акантита, галенита, тестибиопалладита, мелонита, вавринита. Зональный никелистый кобальтин выступает носителем платиноидов ( $\text{Pt}$ ,  $\text{Ir}$ ,  $\text{Ru}$ ,  $\text{Rh}$ ,  $\text{Os}$ ) в форме поликомпонентных твердых растворов. Рений входит в состав сульфидов  $\text{Cu}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Bi}$ . Легкие РЗЭ ( $\text{La}$ ,  $\text{Ce}$ ,  $\text{Pr}$ ,  $\text{Nd}$ ,  $\text{Sm}$ ) и  $\text{Y}$  связаны с фосфатами и фторфосфатами, а в зоне окисления образуются водные фосфаты. Оруденение имеет флюидно-магматический (карбонатитовый) генезис с элементами гидротермальной переработки.

Закономерности распределения PGE и РЗЭ зависят от стадии кристаллизации и флюидного воздействия: ранние магматические фазы обогащены  $\text{Ni}-\text{Co}-\text{PGE}$ , поздние гидротермальные —  $\text{Cu}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Te}$ ,  $\text{Bi}$  и легкими РЗЭ. Выявленные минеральные ассоциации и формы нахождения полезных компонентов могут служить критериями для прогноза и поисков аналогичных объектов в рифтогенных структурах неопротерозоя Центрального Казахстана.

*Список использованных источников*

1. Степанец В.Г., Левин В.Л. и др. — «Геология и минералогия карбонатитов линейно-трещинного типа рудопроявления Майке Маятасского рудного района (Северный Улытау)»: «Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов», 2020.
2. Левин В.Л., Степанец В.Г., Ли Е.С., Бекенова Г.К., Хакимжанов М.С. — «Находка сульфидов рения в медноколчеданных рудах проявления Майке (Улытау, Центральный Казахстан)»: Записки Российского минералогического общества, 2019
3. Степанец В.Г., Левин В.Л., Ли Е.С. Составы и формы нахождения платиноидов и редкоземельных элементов в сульфидах пикритов каратургайского комплекса Северного Улытау. Известия НАН РК, Серия геологии и технических наук. № 3, 2018. С. 348-365.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ САМОНАГРЕВАНИЯ И САМОВОЗГАРАНИЕ УГЛЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СОСТАВА ИНДИКАТОРНЫХ ГАЗОВ РУДНИЧНОЙ АТМОСФЕРЫ

Мониторинг газовой среды рудничной атмосферы является эффективным методом раннего выявления очагов самонагрева угля. Анализ концентраций индикаторных газов позволяет обнаруживать опасные участки на начальных стадиях, а также оценивать интенсивность процессов окисления и вероятность перехода процесса в стадию самовозгорания.

Наиболее чувствительным маркером ранней стадии самонагрева является оксид углерода (СО), концентрация которого начинает возрастать уже при незначительном повышении температуры. По мере развития термических процессов фиксируется появление этилена ( $C_2H_4$ ), а на более поздних стадиях — ацетилена ( $C_2H_2$ ) и водорода ( $H_2$ ), что свидетельствует о прогрессировании процессов разложения угля.

Для оценки состояния угольного массива используются не только абсолютные концентрации индикаторных газов, но и их соотношения. На практике широко применяется анализ отношения СО к снижению содержания кислорода, а также соотношений углеводородных компонентов. Применение таких показателей позволяет учитывать влияние вентиляции и диффузии газов и получать более достоверную оценку стадии самонагрева.

Для количественной оценки содержания оксида углерода в шахтной атмосфере используется следующее выражение:

$$V_{CO} = \frac{C_{CO}}{10^6} \times V_{возд}$$

где:

$V_{CO}$ - объём СО в шахтной атмосфере, м<sup>3</sup>;

$C_{CO}$ - концентрация СО, ppm;

$V_{возд}$ - объём воздуха в выработке, м<sup>3</sup>.

Рост концентрации СО в рудничной атмосфере свидетельствует об активизации процессов низкотемпературного окисления угля и может использоваться в качестве диагностического признака начальной стадии самонагрева.



Дополнительно для комплексной оценки стадии процесса может применяться интегральный показатель опасности:

$$I_{\text{heat}} = 0.5 \cdot CO_{\text{ppm}} + 1.0 \cdot C_2H_4$$

где:

$I_{\text{heat}}$  - индекс опасности самонагревания;

$CO$  - концентрация СО, ppm;

$C_2H_4$  - концентрация этилена, ppm.

Увеличение значения данного показателя указывает на развитие термического разложения угля и повышение риска самовозгорания .

В зависимости от динамики изменения концентраций индикаторных газов можно выделить несколько стадий самонагревания угля. На начальной стадии концентрации СО незначительно превышают фоновые значения, а этилен практически не обнаруживается. Данная стадия соответствует низкотемпературному окислению угля и требует проведения регулярного мониторинга состояния рудничной атмосферы.

На стадии активного самонагревания наблюдается значительное увеличение концентрации СО, а также фиксируется появление  $C_2H_4$ , что свидетельствует о развитии термических процессов в угольном массиве. При дальнейшем прогрессировании процесса регистрируются ацетилен ( $C_2H_2$ ) и водород ( $H_2$ ), указывающие на переход к более опасной стадии термического разложения.

Таким образом, анализ концентраций индикаторных газов позволяет своевременно выявлять потенциально опасные участки и принимать меры по предотвращению развития эндогенных пожаров на угледобывающих предприятиях.

#### *Список использованных источников*

1 Об утверждении Стратегии достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года. Указ Президента Республики Казахстан от 2 февраля 2023 года № 121

## ПОЛИМЕРЛІ СУ АЙДАУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ АРҚЫЛЫ ҚАБАТТЫҢ МҰНАЙБЕРГІШТІГІН АРТТЫРУ ТИІМДІЛІГІ

Полимерлі су айдау технологиясы қабаттың мұнайбергіштігін арттырудың тиімді физика-химиялық әдістерінің бірі болып табылады және игерудің кейінгі сатыларында ерекше маңызға ие. Көптеген кен орындарында табиғи энергияның әлсіреуі және қарапайым су айдау процесінің жеткіліксіз тиімділігі қалдық мұнайдың едәуір көлемде қабатта қалып қоюына әкеледі. Су мен мұнайдың тұтқырлық айырмашылығы жоғары болған жағдайда су жоғары өткізгіш аймақтар арқылы жылдам өтіп, төмен өткізгіш зоналардағы мұнайды ығыстырмай айналып өтеді. Соның нәтижесінде су ерте жарып шығып, өндіру ұңғымаларындағы сулану деңгейі өседі, ал мұнайбергіштік коэффициенті төмен болып қалады.

Полимерлі су айдау барысында айдалатын суға жоғары молекулалы полимерлер қосылады. Полимер ерітіндісі судың тұтқырлығын арттырып, оның қозғалғыштығын төмендетеді. Бұл қабаттағы сүзілудің тұрақтылығын қамтамасыз етеді және мұнай мен судың қозғалғыштық қатынасын оңтайландырады. Қозғалғыштық коэффициентінің төмендеуі ығыстыру фронтының біркелкі таралуына мүмкіндік береді. Нәтижесінде су тек жоғары өткізгіш арналармен ғана емес, сонымен қатар бұрын қамтылмаған аймақтарға да бағытталады.

Полимерлі әдістің негізгі артықшылығы – қабаттың сүзгілік қасиеттерін тиімді пайдалану және айдау мен өндіру ұңғымалары арасындағы гидродинамикалық байланысты жақсарту. Әсіресе тұтқырлығы жоғары мұнай кен орындарында бұл әдіс жоғары нәтиже көрсетеді. Сонымен қатар полимерлі су айдау су-мұнай қатынасын төмендетіп, өндірістің экономикалық тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Полимер ерітіндісі қабаттың микрокеуекті кеңістігінде адсорбцияланып, сүзілудің гидродинамикалық сипатына әсер етеді. Бұл процесс судың «саусақтану» құбылысын азайтады және ығыстыру тиімділігін арттырады. Тәжірибелік зерттеулер көрсеткендей, полимерлі су айдау кезінде мұнайды ығыстыру коэффициенті дәстүрлі су айдаумен салыстырғанда 10–20% дейін жоғарылауы мүмкін. Әсіресе жоғары суланған және өткізгіштігі әрқелкі қабаттарда бұл әдістің нәтижелілігі айқын байқалады. Алайда, полимерлі су айдау экологиялық тұрғыдан салыстырмалы түрде қауіпсіз әдіс болып саналады. Қолданылатын реагенттердің көпшілігі уыттылығы төмен қосылыстар қатарына жатады және өндірістік талаптарға сәйкес пайдаланылған жағдайда қоршаған ортаға айтарлықтай қауіп төндірмейді. Бұл фактор қазіргі уақытта экологиялық талаптар күшейген жағдайда технологияның өзектілігін арттыра түседі.

Полимер түрін таңдау қабаттың температурасына, минералдану дәрежесіне және жыныс коллектор қасиеттеріне байланысты жүргізіледі. Көбінесе полиакриламид негізіндегі полимерлер қолданылады. Олар салыстырмалы түрде арзан, технологиялық өңдеуге ыңғайлы және тұтқырлықты тиімді арттыра алады. Алайда жоғары температура мен минералданған ортада полимердің ыдырау қаупі бар, сондықтан реагенттің тұрақтылығын алдын ала зерттеу қажет.

Технологияны енгізу экономикалық тұрғыдан да негізделген. Полимер реагенттеріне жұмсалатын шығындар бастапқы кезеңде артқанымен, қосымша өндірілген мұнай көлемі бұл шығындарды өтейді. Қабаттан алынатын соңғы мұнай мөлшерінің өсуі кен орнын игеру мерзімін ұзартады және инфрақұрылымды тиімді пайдалануға мүмкіндік береді. Сонымен қатар су өндіру көлемінің төмендеуі қабат суын өңдеу мен кәдеге жарату шығындарын азайтады.

Полимерлі су айдаудың тиімділігі бірнеше факторларға тәуелді: қабаттың өткізгіштік контрасты, мұнайдың тұтқырлығы, температура, минералдану деңгейі және ұңғымалардың орналасу жүйесі. Дұрыс жобаланған жағдайда технология қабаттың қамтылу коэффициентін арттырып, мұнайбергіштікті айтарлықтай жақсартады. Сандық модельдеу нәтижелері полимер ерітіндісін айдау қарқынын және концентрациясын оңтайландыру арқылы максималды нәтиже алуға болатынын көрсетеді.

Қазіргі таңда полимерлі су айдау әлемдік тәжірибеде кеңінен қолданылып келеді. Әсіресе игерудің соңғы кезеңіндегі кен орындарында бұл әдіс қалдық мұнай қорын игерудің тиімді құралы ретінде танылған. Технологияны цифрлық модельдеу, қабат параметрлерін мониторингтеу және реагент сапасын жетілдіру арқылы оның нәтижелілігін одан әрі арттыру мүмкіндігі бар.

Жалпы алғанда, полимерлі су айдау технологиясы қабаттағы гидродинамикалық процестерді реттеу арқылы мұнайды ығыстыру тиімділігін арттырады, сулануды төмендетеді және кен орнын игерудің экономикалық көрсеткіштерін жақсартады. Тиісті геологиялық-техникалық негіздеме жасалған жағдайда бұл әдіс мұнайбергіштікті арттырудың сенімді және тиімді тәсілі болып табылады.

Пайдаланылған әдебиеттер:

1. С.А. Ахметов – Мұнай және газ кен орындарын игеру технологиясы – 2016.
2. Н.М. Байков, А.Г. Ковалев – Разработка нефтяных месторождений – 2014.
3. Б.Ж. Куанышев – Мұнай қабаттарының мұнайбергіштігін арттыру әдістері – 2018.

## МАТЕМАТИКАНЫҢ МАРКШЕЙДЕРЛІК ІСКЕ ҚОЛДАНАТЫН ӘДІСІ

Қазіргі тау-кен өндірісі мен геодезиялық өлшеулердің дамуында математикалық әдістердің рөлі ерекше. Маркшейдерлік іс – жер қойнауын игеру барысында кеңістіктік өлшеулер жүргізіп, кен орындарының геометриялық параметрлерін анықтайтын ғылым саласы. Бұл салада дәлдік пен сенімділік басты талап болғандықтан, жоғары деңгейдегі математикалық модельдер мен теоремалар кеңінен қолданылады. Солардың бірі – Гаусс теоремасы. Бұл теорема кеңістіктегі векторлық өрістердің қасиеттерін сипаттай отырып, күрделі геометриялық және физикалық есептерді шешуге мүмкіндік береді. Маркшейдерлік есептерде Гаусс теоремасы жер бедерін модельдеу, көлемдерді есептеу, кен орындарының шекараларын анықтау және геометриялық деректерді өңдеу үшін тиімді құрал болып табылады[1]. Осы ғылыми жобаның мақсаты – Гаусс теоремасының теориялық негізін қарастырып, оны маркшейдерлік есептерде қолдану мүмкіндіктерін “АлтынАлмас” мысалында көрсету[2]. «АлтынАлмас» АҚ – Қазақстандағы ірі тау-кен компанияларының бірі. Компанияның негізгі қызмет бағыты – алтын, мыс және басқа да түсті металдарды барлау, өндіру және өңдеу. Қазіргі таңда Қонырат карьерінде өндірістік процестерді жетілдіру, цифрландыру және геодезиялық маркшейдерлік жұмыстарды (1-сурет) автоматтандыру бағытында жаңа технологиялар енгізілуде.

Қонырат карьерінде маркшейдерлік жұмыстар келесі бағыттар бойынша жүзеге асырылады:

- карьердің үшөлшемді моделін құру;
- тау-кен жұмыстарының көлемін есептеу;
- кен массасының қозғалысын бақылау;
- өндірістік қауіпсіздікті қамтамасыз ету.

Бұл жұмыстарды орындауда заманауи құралдар қолданылады:

- электрондық тахеометрлер;
- GPS/GNSS жүйелері;
- дрондар арқылы аэрофототүсірілім.

Гаусс теоремасы карьер көлемін есептеуде және кеңістіктік моделін құруда теориялық негіз ретінде қарастырылады. Негізгі бөлім. Мен мақаламда зерттеу объектісі ретінде Қазақстандағы ең ірі тау-кен өндірісі «АлтынАлмас» АҚ таңдадым. Өзімнің мамандығым Маркшейдерлік іске математиканың қолдануылуын қарастырдым. Атап айтатын болсам, Гаусс теоремасын Геодезиялық есептер шығаруда карьердегі нүктенің

координаталарын, теодолит арқылы өлшенген бағытты, арақашықтықты және т.б. параметрлерді табуда қолдандым.

Гаусс әдісі бойынша белгісіз Р нүктесінің координаталары келесі формулалар арқылы анықталады:

$$XP = X_A \operatorname{tg} \alpha_1 \operatorname{tg} \alpha_2 - X_B \operatorname{tg} \alpha_1 \operatorname{tg} \alpha_2 + Y_B - Y_A$$

Сонымен қатар, бағыттық бұрыштар мен қашықтықтарды анықтау үшін тригонометриялық қатынастар пайдаланылады:

$$\operatorname{tg} \alpha_{AB} = \frac{\Delta Y}{\Delta X}, \quad d_{AB} = \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2}$$

Ал координаталардың өсімшелері

$$\Delta X = d \cos \alpha, \quad \Delta Y = d \sin \alpha$$

Осы формулалар арқылы карьердің кеңістіктік моделі құрылады. Бұл модельді Гаусс теоремасымен байланыстыра отырып, карьер көлемін, кен массасының таралуын және геометриялық параметрлерін анықтауға болады[3].

Жүргізілген зерттеу нәтижесінде математикалық әдістердің, әсіресе Гаусс әдісі мен векторлық-аналитикалық тәсілдердің маркшейдерлік есептерді шешудегі маңызы айқындалды. Маркшейдерлік

жұмыстарда координаталарды анықтау, бағыттық бұрыштарды есептеу, қашықтықтарды табу және кен денелерінің кеңістіктік моделін құру

сияқты негізгі міндеттер дәл математикалық формулаларға негізделетіні көрсетілді. Гаусс әдісі арқылы белгісіз нүктелердің координаталарын анықтау маркшейдерлік өлшеулердің дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар тригонометриялық және аналитикалық формулаларды қолдану карьерлердің геометриялық параметрлерін есептеуді жеңілдетіп, күрделі кеңістіктік объектілерді модельдеуге жағдай жасайды. Бұл әдістерді Қонырат және Шатыркөл кен орындары мысалында қарастыру олардың практикалық тұрғыдан тиімді екенін дәлелдеді.

**Қолданылған әдебиеттер тізімі:**

1. Әбдірахманов Қ.Қ., Сейтқалиев А.С. Маркшейдерлік іс негіздері. – Алматы: Қазақ университеті, 2015.
2. Сыздықов Н.Т., Қалиев Б.А. Геодезия және маркшейдерлік өлшеулер. – Алматы: Білім, 2016.
3. Исаев А.М. Жоғары математика: векторлық анализ және интегралдық есептеу. – Алматы: Ғылым, 2014.

## ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ КОНТРОЛЕ ЗА ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ СКВАЖИН

Нефтяная и газовая промышленность характеризуется высокой степенью технологической сложности и потенциальной опасности производственных процессов. Надёжность трубопроводов, резервуаров, бурового оборудования и технологических установок во многом определяется своевременным выявлением дефектов материалов и конструкций. Для этих целей широко применяются методы неразрушающего контроля (НК), позволяющие исследовать объекты без их разрушения и остановки технологического процесса [1].

В настоящее время цифровые технологии в нефтегазовой отрасли получают широкое развитие, а новая концепция Industry X, которая заключается в использовании передовых цифровых технологий для создания интеллектуальных продуктов и услуг, предполагает стратегический подход к созданию более умных, безопасных и соединённых между собой производственных экосистем. В связи с этим, методы НК начали активно интегрироваться с системами искусственного интеллекта (ИИ) для повышения точности выявления дефектов и автоматизации анализа данных контроля [2].

Методы неразрушающего контроля (НК) в области исследования технического состояния скважин изучают внутреннее строение объектов без их разрушения для решения задач по увеличению продуктивности скважин, а также снижению аварийных ситуаций и экологических рисков.

В последние годы в данной области активно внедряются технологии искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения, позволяющие автоматизировать анализ больших массивов геофизических и технологических данных, повышать точность диагностики и прогнозировать возможные нарушения в работе скважин.

Для диагностики состояния скважин используются различные акустические, радиоактивные, тепловые и другие геофизические методы, позволяющие выявлять такие проблемы, как: повреждения обсадных колонн, нарушение герметичности скважины, коррозия труб, дефекты цементного кольца, межпластовые перетоки флюидов [3].

Геофизические исследования скважин формируют значительные объёмы данных, которые требуют сложной интерпретации и выявления текущих проблем исследования и эксплуатации скважин. Применение алгоритмов машинного обучения позволяет значительно ускорить этот процесс.

Одной из наиболее распространенных причин аварий в скважинах является коррозия обсадных колонн, а нарушения цементирования могут приводить к межпластовым перетокам и потере герметичности скважины. Для решения указанных проблем применяются методы магнитного и ультразвукового каротажа, проведение акустических исследований и цементометрии.

ИИ используется для:

- анализа сигналов датчиков;
- построения карт коррозии;
- оценки степени износа колонны и герметичности скважины.

Алгоритмы ИИ позволяют автоматизировать анализ огромных массивов данных, выявлять скрытые закономерности и прогнозировать возможные дефекты, участки повышенной коррозии, оценивать вероятность разрушения колонны.

В качестве примера для решения проблемы выявления коррозии обсадных колонн можно представить нейронную сеть CNN (Convolutional Neural Networks), позволяющую автоматически диагностировать помеченные участки коррозии и классифицировать степень повреждения.

На некоторых месторождениях Казахстана при анализе акустических данных применяют DNN (Deep Neural Networks) – нейронную сеть для автоматической интерпретации цементного кольца и выявления соответствующих дефектов цементного кольца. На выходе получают карту с участками дефектов, позволяющую заранее принимать решение о решении поставленной задачи [4].

Также возможно применение ИИ для проведения интеллектуального анализа геофизических данных, в связи с тем, что традиционный анализ каротажных кривых требует много времени и зависит от квалификации специалиста. В данном случае используют Autoencoders и CNN сети, позволяющие обнаружить геофизические аномалии в каротажных кривых без предварительной классификации.

Таким образом, интеграция искусственного интеллекта и методов неразрушающего контроля при исследовании месторождений полезных ископаемых является важным направлением развития нефтегазовой отрасли и способствует повышению надежности и безопасности эксплуатации оборудования, а развитие технологий ИИ открывает новые возможности для контроля технического состояния нефтегазовых скважин.

Список литературы

1. Микс П. Введение в неразрушающий контроль: учебное пособие. Уайли, 2005.
2. Мейендорф Н., Ида Н. Руководство по неразрушающей оценке. Springer, 2022.
3. Эллис Д., Сингер Дж. Каротаж скважин для ученых-геологов. Springer, 2007.
4. Гибридные модели CNN-LSTM для обнаружения аномалий в каротажных записях скважин. Компьютеры и науки о Земле, 2021.

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСШЕЙ МАТЕМАТИКИ И ИСКУССТВЕННОГО  
ИНТЕЛЛЕКТА В НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Математические методы играют важную роль в нефтегазовой промышленности, благодаря которым возможна оптимизация процессов добычи и обработки ресурсов. Математические знания позволяют понять работу ИИ, и применять его для анализа данных и оптимизации производства, в том числе и в нефтегазовой промышленности.

Рассмотрим некоторые разделы высшей математики и покажем возможности их применения для различных практических задач.

Например, задача нахождения оптимального объема закачки воды для поддержания пластового давления решается путем минимизирования функций, построенных на величинах давления и объема закачки.

Пример: Пусть  $Q(t)$  - объем добытой нефти к моменту времени  $t$ . Тогда производная  $\frac{dQ}{dt}$  показывает **скорость добычи нефти**. Если известно, что

$Q(t) = 100t - 2t^2$ , то  $\frac{dQ}{dt} = 100 - 4t$ . Это означает, что скорость добычи со временем уменьшается.

Таким образом, на практике, такая информация – производная позволяет определить момент времени, когда добыча начинает резко падать и принять необходимые инженерные меры. Если известна скорость добычи нефти  $q(t)$ , то можно с помощью определённого интеграла найти общий объем добычи:

$$Q(t) = \int_{t_1}^{t_2} q(t) dt.$$

В данном случае интеграл в нефтегазовой области дает возможность подсчитать сколько нефти получено за определенный период времени.

Если рассматривать такие показатели как прибыль и ввести в рассмотрение функции, то можно найти максимальные или минимальные значения рассматриваемых величин. Так если прибыль определяется формулой:

$$P(q) = aq - bq^2,$$

то оптимальный объем добычи находится из условия:  $\frac{dP}{dq} = 0$ . Таким образом, использование экстремумов для оценки помогают выбрать **наиболее выгодный режим работы скважины**.



Теория фильтрации - раздел гидродинамики, посвященный исследованию движения жидкостей через пористые среды, то есть тела, пронизанные системой сообщающихся между собой пустот (пор).

Основой теории фильтрации является закон Дарси:

$$v = -k \frac{dp}{dx},$$

где  $v$  - скорость фильтрации,  $k$  - коэффициент проницаемости,  $p$  - давление. Если учесть закон сохранения массы, получаем дифференциальное уравнение:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 p}{\partial x^2}.$$

Это уравнение описывает **распространение давления в пласте**. По своей структуре оно аналогично уравнению теплопроводности.

Раздел линейная алгебра необходима для численного моделирования нефтяных месторождений и реализации ИИ-алгоритмов. При численном решении уравнений фильтрации методом конечных разностей возникает система линейных уравнений:

$$A\vec{x} = \vec{b},$$

где матрица  $A$  описывает свойства пласта, вектор  $\vec{x}$  - искомые давления,  $\vec{b}$  - источники и стоки (скважины).

Именно умножение матриц и операции с векторами лежат в основе работы нейронных сетей. Раздел: теория вероятностей и статистика применяется при прогнозировании добычи, анализе геологоразведочных данных и оценке рисков. Геологические параметры пласта носят случайный характер. Пористость и проницаемость рассматриваются как случайные величины:

$$E(X) = \int xf(x)dx,$$

где  $f(x)$  - плотность распределения.

Вероятностные модели позволяют оценить риски бурения и экономическую эффективность проекта. С помощью статистических моделей специалисты строят прогнозы запасов углеводородов и количество добычи в будущем. ИИ всё активнее внедряется в нефтегазовую промышленность, расширяя традиционные возможности анализа и управления. Эффективность ИИ напрямую зависит от математической базы. Чем лучше специалисты владеют математикой, тем точнее они могут настраивать ИИ-модели. Знание математических методов даёт фундаментальный инструментальный набор, необходимый для будущих исследований и инноваций в нефтегазовой промышленности.

Список использованных источников: <https://infofiz.ru/index.php/mirfiziki/formuly/331-zd>, <https://hstm.spbstu.ru/neftgaz/>.

## ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ОСТАТОЧНОЙ НЕФТЕГАЗОНАСЫЩЕННОСТИ ПРОДУКТИВНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

Рациональное освоение нефтегазовых месторождений напрямую зависит от достоверной оценки текущей и остаточной нефтегазонасыщенности продуктивных коллекторов. Даже при современных технологиях разработки значительная часть углеводородов остаётся в пласте в виде остаточной нефти. В условиях неоднородных коллекторов, характерных для многих месторождений Казахстана, особую важность приобретает изучение закономерностей распределения насыщения. Выявление факторов, контролирующих остаточную нефтегазонасыщенность, позволяет точнее прогнозировать невыработанные зоны [1] и разрабатывать эффективные методы повышения нефтеотдачи.

Геофизические исследования скважин (ГИС) являются основным источником информации о коллекторских свойствах пород и характере их насыщения, однако наибольшая достоверность оценки достигается при комплексной геолого-геофизической интерпретации. Формирование нефтегазонасыщенности коллекторов определяется условиями осадконакопления и последующими постседиментационными процессами. Литологический состав пород существенно влияет на пористость и проницаемость: хорошо отсортированные песчаники характеризуются высокими фильтрационно-емкостными свойствами и способны аккумулировать значительные объёмы углеводородов, тогда как глинистые прослои и алевролиты снижают проницаемость и способствуют локальному удержанию нефти. Литолого-фациальная неоднородность обуславливает неравномерность коллекторских свойств и формирование фильтрационных барьеров [2].

Вторичные процессы преобразования пород – цементация, растворение, перекристаллизация и трещиноватость – могут как улучшать, так и ухудшать коллекторские свойства. Пористость и проницаемость являются ключевыми параметрами, определяющими емкость и фильтрационные характеристики коллектора: высокопроницаемые зоны обеспечивают подвижность флюидов, тогда как в слабопроницаемых участках нефть удерживается капиллярными силами, формируя остаточную нефтенасыщенность. Капиллярное давление, зависящее от размера пор и смачиваемости пород, существенно влияет на распределение нефти и воды; мелкопоровые породы способны удерживать нефть даже при воздействии вытесняющих агентов [1].

Комплекс геофизических исследований (рисунок 1) скважин позволяет оценивать параметры, характеризующие коллекторские свойства и насыщение пород:

- гамма-каротаж – определение глинистости пород;
- нейтронный и плотностной каротаж – оценка пористости;
- электрический каротаж – определение водонасыщенности и нефтегазонасыщенности;
- акустический каротаж – уточнение пористости и литологии.

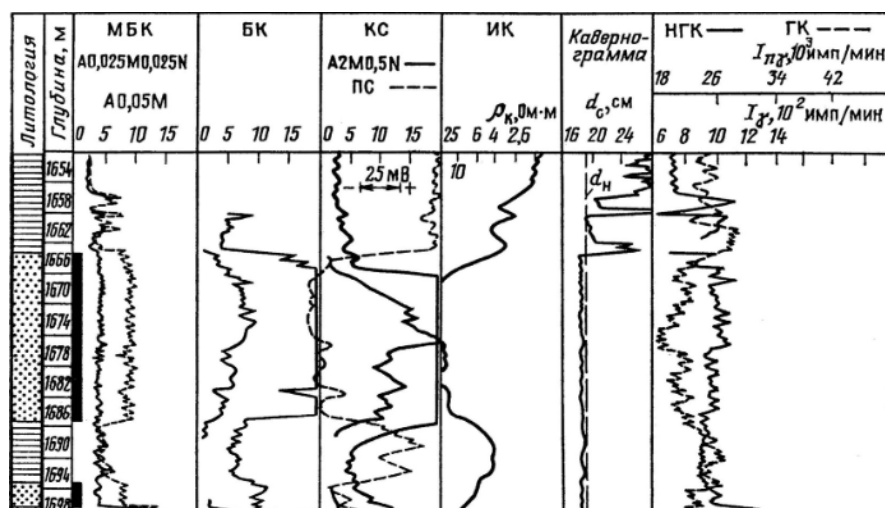


Рисунок 1 – пример комплексного использования ГИС [2]

Интегрированная интерпретация данных ГИС позволяет определять коэффициент нефтегазонасыщенности и выявлять зоны остаточной нефти, приуроченные к участкам с ухудшенными фильтрационными свойствами и повышенной глинистостью. Остаточная нефтенасыщенность контролируется литолого-фациальной неоднородностью, вариациями пористости и проницаемости, капиллярными свойствами пород и структурными особенностями залежи [2]. Наиболее значимые остаточные запасы формируются в тонкослоистых и слабопроницаемых коллекторах, где нефть удерживается капиллярными силами. В целом формирование насыщенности определяется взаимодействием геологических и петрофизических факторов, а комплексная геолого-геофизическая интерпретация является эффективным инструментом выявления невыработанных зон и повышения эффективности разработки.

Список используемой литературы:

1. Соболев А.Ю., Москалев Г.В. Оценка нефтенасыщенности коллектора по данным высокочастотного индукционного каротажа: численный эксперимент с использованием многофизических моделей пластов. *Геофизические технологии*. 2022;(4):105-113
2. Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVIII Междунар. науч. конгр., 18–20 мая 2022 г., Новосибирск: сборник материалов в 8 т. Т. 2: Междунар. науч. конф. - «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология». – Новосибирск: СГУГиТ, 2022. № 2. – 362 с.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ИИ В СОВРЕМЕННОЙ ГЕОЛОГИИ

Современная геология переживает цифровую трансформацию: массовое внедрение датчиков, беспилотников, спутниковых данных, геоинформационных систем и методов искусственного интеллекта существенно повышает точность интерпретации геологических процессов. Это открывает новые возможности для моделирования горных пород, прогноза месторождений, мониторинга геодинамики и оценки природных рисков.

Цель данной статьи – анализ основных направлений применения цифровых технологий и ИИ в геологии, их преимущества, ограничения и перспективы развития.

Цифровизация геологических исследований представляет собой интеграцию информационных технологий, автоматизированных систем и методов искусственного интеллекта в процессы изучения недр. Современная геология переходит от традиционного описательного анализа к цифровому моделированию, обработке больших массивов данных и прогнозированию природных процессов. Это обеспечивает повышение точности интерпретации, ускорение исследований и снижение влияния человеческого фактора.

Таблица 1

### Интеграция цифровых технологий и ИИ в геологии

| Этап            | Содержание                         | Инструменты                  | Результат                               |
|-----------------|------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------|
| Сбор данных     | Получение геологической информации | Сейсмика, ЛИДАР, ГИ          | Достоверные исходные данные             |
| Обработка       | Анализ больших массивов данных     | Big Data, облачные платформы | Быстрая и систематизированная обработка |
| Анализ          | Выявление закономерностей          | Машинное обучение, нейросети | Автоматическая интерпретация            |
| Прогнозирование | Моделирование процессов            | 3D/4D-модели, ИИ-алгоритмы   | Повышение точности прогноза             |

Искусственный интеллект активно применяется в ключевых направлениях современной геологии.

Во-первых, методы машинного обучения и нейронные сети используются для автоматического распознавания структурных элементов горных пород (трещин, жил, фациальных изменений) на изображениях керна и разрезов, что значительно ускоряет интерпретацию данных.

Во-вторых, ИИ применяется в геологоразведке для интеграции геохимических, сейсмических и геофизических данных с целью выявления перспективных зон залегания полезных ископаемых.

Кроме того, интеллектуальные модели используются для прогнозирования геологических процессов, включая изменения состояния грунтов, развитие оползней, землетрясений и эрозионных процессов.



Рисунок 1 – Преимущества и ограничения технологий

Цифровые технологии и методы ИИ кардинально трансформируют геологические исследования. Они позволяют проводить анализ с высокой скоростью, точностью и интеграцией различных источников данных. В ближайшие годы ожидается усиление роли обучаемых моделей, облачных сервисов, автоматизированных платформ и робототехники в задачах современного геологического анализа.

Список использованных источников:

1. Применение искусственного интеллекта в геологии / [Электронный ресурс] // CyberLeninka. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-iskusstvennogo-intellekta-v-geologii-pdf>.
2. Чесалов Л.Е. Цифровые технологии в геологии: состояние и перспективы // Электронные библиотеки. – Том 28 № 4 (2025). – С. 822-828.
3. Королев В.А. О задачах цифровизации и искусственного интеллекта в инженерной геологии // Инженерная геология. – Том XVI, № 1, 2021. – С.10-23.
4. Иванов И.И. Применение методов машинного обучения в геологоразведке : дис. ... канд. техн. наук. – М., 2023. – 165 с.

## ҮЛКЕН ДЕРЕКТЕРДІ ТАЛДАУДЫ ГЕОЛОГИЯДА ҚОЛДАНУ

Қазіргі заманғы геология геологиялық барлау, Жерді қашықтықтан зондтау және геологиялық процестерді бақылау нәтижесінде алынған мәліметтер көлемінің қарқынды өсуімен сипатталады. Бұл ақпарат массивтері геофизикалық, геохимиялық, геологиялық және кеңістіктік деректерді қамтиды, олар сақтау мен өңдеудің тиімді әдістерін қажет етеді.

Технологиялар Big Data үлкен және күрделі деректер жиынын талдауға, жасырын үлгілерді анықтауға және дәлірек шешімдер қабылдауға мүмкіндік береді. Бұрын мұндай көлемдегі деректерді дәстүрлі әдістермен өңдеу қиынға соғатын, бірақ қазіргі заманғы есептеу жүйелері мен таратылған платформалар оларды тиімді пайдалануға мүмкіндік берді.

Геологияда үлкен деректерді талдауды қолдану геологиялық барлаудың тиімділігін арттыруға, бұрғылау жұмыстарын оңтайландыруға және табиғи процестерді болжауды жақсартуға ықпал етеді.

Геологиялық зерттеулерде деректердің әртүрлі типтері қалыптасады және оларды үлкен деректер санатына жатқызуға болады. Геологиялық ақпараттың негізгі көздеріне мыналар жатады:

- сейсмикалық барлау деректері;
- спутниктік және аэроғарыштық суреттер;
- тау жыныстарының геохимиялық талдаулары;
- ұңғымаларды бұрғылау және каротаждау деректері;
- географиялық ақпараттық жүйелер (ГАЗ).

Осы деректерді біріктіру аумақтың геологиялық құрылымының интеграцияланған модельдерін жасауға мүмкіндік береді. Соңғы жылдары көптеген елдер, соның ішінде Қазақстан, геологиялық ақпаратты сақтау және талдау үшін цифрлық платформаларды белсенді түрде енгізуде, бұл минералдық-шикізат базасын тиімді басқаруға ықпал етеді [1].

Геологиялық деректерді өңдеу үшін әртүрлі талдау әдістері қолданылады.

Машиналық оқыту тау жыныстарын жіктеу, олардың түзілу жағдайларын анықтау және пайдалы қазбалар кен орындарын болжау үшін қолданылады. Машиналық оқыту алгоритмдері магмалық жыныстарды геохимиялық мәліметтер бойынша 80-90% -дан астам дәлдікпен жіктеуге қабілетті [2].

Сейсмикалық деректерді талдау маңызды бағыт болып табылады, өйткені сейсмикалық ақпарат ең үлкен массивтердің бірін білдіреді геологиялық деректердің. Оны өңдеу үшін үлестірілген есептеу

платформалары қолданылады, мысалы Hadoop, үш өлшемді геологиялық модельдерді жасауға мүмкіндік беретін [3].

Геокеңістіктік талдау жерді қашықтықтан зондтау деректерін өңдеу және жер бедерінің цифрлық үлгілерін құру үшін қолданылады, бұл тектоникалық бұзылуларды және пайдалы қазбаларды іздеудің перспективалы аймақтарын анықтауға көмектеседі.

Үлкен деректерді талдау геологияның әртүрлі салаларында кеңінен қолданылады.

Пайдалы қазбалар кен орындарын іздеу. Геологиялық және геофизикалық деректерді талдау пайдалы қазбалардың таралу заңдылықтарын анықтауға және жаңа кен орындарын болжауға мүмкіндік береді.

Бұрғылау жұмыстарын оңтайландыру. Деректерді талдау әдістері бұрғылау тиімділігін арттыратын сенсор деректері негізінде бұрғылау процесінде тау жыныстарының түрін анықтауға көмектеседі [4].

Геологиялық процестердің мониторингі. Big Data жанартаулық белсенділікті, жер сілкіністерін және басқа да табиғи процестерді талдау үшін пайдаланылады, ал сейсмикалық станциялардың, спутниктік бақылаулардың және геофизикалық өлшемдердің деректерін біріктіру оларды болжау үлгілерін жасауға мүмкіндік береді.

Артықшылықтары Big Data геологияда:

- деректердің үлкен көлемін өңдеу;
- геологиялық модельдердің дәлдігін арттыру;
- геологиялық барлауды жеделдету;
- барлауға арналған шығындарды азайту;
- табиғи процестерді болжауды жақсарту.

Осылайша, Big Data қазіргі геологиялық ғылымның маңызды құралына айналууда.

Үлкен деректерді талдау қазіргі геологияның дамуында маңызды рөл атқарады. Технологияларды пайдалану Big Data ал машиналық оқыту әдістері геологиялық деректердің орасан зор көлемін тиімді өңдеуге және жаңа ғылыми нәтижелерге қол жеткізуге мүмкіндік береді.

Болашақта есептеу технологиясының, жасанды интеллекттің және геоақпараттық жүйелердің дамуы геологиялық зерттеулерде үлкен деректерді талдауды қолдануды одан әрі кеңейтуге ықпал етеді.

*Қолданылған әдебиеттер тізімі*

1. Гвишиани А.Д., Панченко В.Я., Никитина И.М. Геогылымдар үшін үлкен деректерді жүйелі талдау // Ресей ғылым академиясының хабаршысы, 2023.

2. Petrelli M., Perugini D. Solving petrological problems through machine learning. 2017.

3. Ueki K., Hino H., Kuwatani T. Machine learning approaches in geochemical tectonic discrimination. 2017.

4. Ключников Н. және т.б. Data-driven model for identification of rock type at drilling bit. 2018.



## ЦИФРЛЫҚ ЭКОНОМИКА ЖАҒДАЙЫНДА МӘНГІ МҰЗДЫ АЙМАҚТАРДАҒЫ ТАУ-КЕН КӘСІПОРЫНДАРЫНДА МАРКШЕЙДЕРЛІК ЖҰМЫСТАРДЫ ҰЙЫМДАСТЫРУ

Қазіргі кезеңде цифрлық экономика өндірістің барлық салаларын, соның ішінде тау-кен өнеркәсібін сапалық жаңа деңгейге көтеруде. Өндірістік процестерді автоматтандыру, деректерді жедел өңдеу, үлкен мәліметтерді талдау және интеллектуалды басқару жүйелерін енгізу – заманауи кәсіпорындардың негізгі даму бағыты болып табылады. Әсіресе мәңгі мұзды аймақтарда орналасқан тау-кен кәсіпорындары үшін цифрлық технологияларды енгізу тек экономикалық тиімділік емес, өндірістік қауіпсіздіктің басты шартына айналып отыр.

Мәңгі мұзды аймақтар геокриологиялық тұрғыдан күрделі өңірлерге жатады. Мұнда тау жыныстары ұзақ уақыт бойы төмен температура жағдайында қалыптасқандықтан, олардың физика-механикалық қасиеттері температура өзгерісіне өте сезімтал болады. Климаттың жылынуы немесе техногендік әсер нәтижесінде мәңгі мұз қабаттарының еруі жер бетінің отыруына, жерасты қазбаларының деформациясына, карьер борттарының тұрақсыздануына алып келеді. Мұндай жағдайларда маркшейдерлік қызметтің рөлі ерекше артады, себебі ол тау-кен жұмыстарының кеңістіктік дәлдігін, қауіпсіздігін және тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

Дәстүрлі маркшейдерлік әдістер тек мерзімдік өлшеулер жүргізумен шектелетін болса, цифрлық экономика жағдайында бұл қызмет үздіксіз мониторинг пен болжам жасау функциясын атқарады. Қазіргі уақытта геоақпараттық жүйелер (GIS) кен орындарының кеңістіктік деректерін біріктіріп, қабаттасқан геологиялық, геомеханикалық және өндірістік ақпаратты кешенді талдауға мүмкіндік береді. Мұндай интеграция қауіпті аймақтарды анықтауға, жер беті деформациясының динамикасын бақылауға және басқарушылық шешімдерді жедел қабылдауға жағдай жасайды.

Мәңгі мұз жағдайында жер бетінің қозғалысын анықтауда GNSS технологиялары мен спутниктік мониторинг жүйелері маңызды рөл атқарады. Олар миллиметрлік дәлдікпен координаталарды анықтап, жердің отыруын немесе ығысуын ерте кезеңде тіркеуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар лазерлік сканерлеу және ұшқышсыз ұшу аппараттары (дрондар) карьерлердің және өндірістік алаңдардың сандық модельдерін жедел құруға, көлемдік есептеулер жүргізуге және рельеф өзгерістерін анықтауға кең мүмкіндік береді.

Үшөлшемді геомеханикалық модельдеу мәңгі мұз аймақтарында ерекше маңызға ие. 3D модельдер арқылы тау қысымының таралуын, жыныстардың



беріктік қасиеттерін және ықтимал деформация аймақтарын болжауға болады. Бұл тәсіл жерасты қазбаларының орнықтылығын арттыруға және апаттық жағдайлардың алдын алуға көмектеседі. Сонымен қатар температура, ылғалдылық және деформация көрсеткіштерін тіркейтін автоматтандырылған сенсорлық жүйелер нақты уақыт режимінде деректер жинап, орталықтандырылған цифрлық платформаға жіберіледі. Нәтижесінде маркшейдерлік бақылау жүйесі «ақылды кен орны» тұжырымдамасының құрамдас бөлігіне айналады.

Цифрлық технологияларды енгізу маркшейдерлік қызметті ұйымдастыру құрылымына да өзгерістер енгізеді. Бірыңғай деректер базасын қалыптастыру, бұлттық есептеу ресурстарын пайдалану, үлкен мәліметтерді талдау және жасанды интеллект элементтерін қолдану өндірістік процестердің тиімділігін арттырады. Интеллектуалды алгоритмдер деформация үрдістерін болжауға, тәуекел деңгейін бағалауға және техникалық шешімдерді оңтайландыруға мүмкіндік береді. Осылайша маркшейдерлік қызмет тек өлшеу жүргізуші бөлім емес, стратегиялық басқару элементіне айналады.

Мәңгі мұзды аймақтардағы тау-кен кәсіпорындарында маркшейдерлік жұмыстарды цифрлық негізде ұйымдастыру өндірістік қауіпсіздікті күшейтіп қана қоймай, экономикалық шығындарды азайтуға ықпал етеді. Деректердің жоғары дәлдігі, жеделдігі және кешенді талдауы кен орнын тиімді игеруге, табиғи ортаға түсетін жүктемені төмендетуге және ұзақ мерзімді тұрақты дамуды қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Болашақта жасанды интеллект негізіндегі болжау жүйелері, цифрлық егіздер (digital twin) және интеграцияланған басқару платформалары мәңгі мұз жағдайындағы маркшейдерлік жұмыстардың ажырамас бөлігіне айналатыны сөзсіз.

Осылайша, цифрлық экономика талаптарына сай ұйымдастырылған маркшейдерлік қызмет мәңгі мұзды аймақтарда тау-кен өндірісін қауіпсіз, тиімді және ғылыми негізделген деңгейде жүргізудің басты кепілі болып табылады.

#### Пайдаланылған әдебиеттер

1. Жарменов А.А. Тау-кен ісі негіздері. – Алматы: ҚазҰТЗУ, 2018.
2. Сәтбаев Қ.И. Геология және пайдалы қазбалар. – Алматы: Ғылым, 1999.
3. Құсайынов К.К. Маркшейдерлік іс. – Алматы: Білім, 2015.
4. Brown E.T. Rock Engineering for Underground Excavations. – Springer, 2004.
5. Brady B.H.G., Brown E.T. Rock Mechanics for Underground Mining. – Springer, 2006.

## ПАЙДАЛЫ ҚАЗБАЛАР ҚОРЛАРЫН БАҒАЛАУДАҒЫ ЦИФРЛЫҚ ӘДІСТЕР

Қазіргі заманғы тау-кен өнеркәсібі мен геологиялық барлау саласы түбегейлі технологиялық өзгерістер кезеңінде тұр. Пайдалы қазбалардың жер бетіне жақын орналасқан «оңай» кен орындарының азаюына байланысты, геологтардың алдында күрделі құрылымды және тереңде жатқан нысандарды зерттеу міндеті тұр. Мұндай жағдайда дәстүрлі, қолмен есептеу әдістері (қималар мен планиметрия әдісі) қажетті дәлдікті қамтамасыз ете алмайды және қателіктерге жол беру қаупі жоғары. геологиялық ақпаратты сандық форматқа көшіру арқылы кен денесінің кез келген нүктесіндегі металл мөлшерін, жыныстың қаттылығын және оны өндірудің тиімділігін секунд ішінде есептеуге мүмкіндік береді. Бұл мақаланы жазудың негізгі мақсаты - пайдалы қазбалар қорларын бағалаудағы заманауи цифрлық технологиялардың рөлін жан-жақты ашып көрсету.

Қорларды цифрлық бағалаудың компоненттері;

1. Үш өлшемді геологиялық модельдеу (3D Modeling) - Бұл кезеңде бұрғылау ұңғымаларынан алынған барлық мәліметтер (координаттар, тау жыныстарының сипаттамасы, талдау нәтижелері) виртуалды кеңістікке көшіріледі. Тәсілі: Бағдарлама кен денесінің геометриялық пішінін сызады. Егер кен орнында тектоникалық жарықтар немесе қилысулар болса, цифрлық модель оны дәл көрсетеді. Маңызы: Бұл геологқа кеннің жер астында қалай орналасқанын кез келген қырынан көруге және бұрғылау жұмыстарын тиімді жоспарлауға мүмкіндік береді.

2. Блоктік модельдеу (Block Modeling) - Кен денесінің «қаңқасы» дайын болған соң, ол миллиондаған кішкентай текшелерге (блоктарға) бөлінеді. Әдістемесі: Әрбір блоктың өлшемі өндірісте қолданылатын техниканың (мысалы, экскаватор шөмішінің) көлеміне сәйкес таңдалады. Функциясы: Әр блокқа металл мөлшері, жыныс тығыздығы мен зиянды қоспалардың пайызы сияқты атрибуттар беріледі. Бұл кен орнының «цифрлық паспорты» іспеттес.

3. Геостатистикалық интерполяция (Кригинг әдісі) - Ұңғымалар арасындағы бос кеңістікті толтыру үшін математикалық алгоритмдер қолданылады. Кригинг: Бұл - әлемдік стандарт (JORC). Ол көршілес ұңғымалардың деректеріне сүйене отырып, аралықтағы металл мөлшерін есептейді. Дәлдігі: Жәй орташалаандыруға қарағанда, Кригинг кеннің таралу бағытын (анизотропиясын) ескереді, бұл қорды артық немесе кем есептеуден сақтайды.

4. Шекті мөлшерді (Cut-off Grade) оңтайландыру-Цифрлық әдістің басты артықшылығы - оның экономикамен байланысы. Процесс: Бағдарламаға металдың нарықтық бағасы, өңдеу шығындары мен тасымалдау құны енгізіледі. Нәтиже: Жүйе автоматты түрде қай блоктарды өндіру пайдалы, ал қайсысын үйіндіге тастау керектігін есептеп шығарады. Бұл кен орнының нақты рентабельділігін көрсетеді кесте 1.

Кесте 1 - Дәстүрлі геометриялық блоктар әдісі мен цифрлық 3D блоктық модель әдісінің салыстырмалы сипаттамасы

| Көрсеткіш                      | Дәстүрлі әдіс<br>(Геометриялық<br>блоктар) | Цифрлық әдіс (3D<br>Блоктық модель)          |
|--------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Деректерді өңдеу<br>жылдамдығы | Баяу (апталап, айлап<br>есептеледі)        | Өте жылдам<br>(секундтар ішінде)             |
| Көрнекілік<br>(Визуализация)   | 2D сызбалар мен<br>қималар                 | Толыққанды 3D<br>модель                      |
| Дәлдік деңгейі                 | Төмен (қателік 15-<br>20%-ға жетуі мүмкін) | Жоғары (қателік 1-5%<br>аралығында)          |
| Өзгерістер енгізу              | Барлық есептеуді<br>қайта бастау керек     | Жаңа деректерді қоса<br>салып, қайта есептеу |
| Экономикалық есеп              | Статикалық (тек<br>көлемді білеміз)        | Динамикалық<br>(пайданы бірден<br>есептейді) |

Қорытындылай келе, Мақала барысында қарастырылған 3D модельдеу, блоктік дискретизация және геостатистикалық интерполяция технологиялары кен орындарын зерттеудің дәлдігін жаңа деңгейге көтерді. Дәстүрлі әдістермен салыстырғанда, цифрлық тәсілдер адам факторынан туындайтын қателіктерді азайтып қана қоймай, кен орнының экономикалық әлеуетін нақты уақыт режимінде болжауға мүмкіндік береді

*Пайдаланылған әдебиеттер тізімі.*

1.Бекботаева А.А. (2018): Кен орындарын геометриялау және қорларды есептеу. Оқу құралы. Алматы: ҚазҰТЗУ. (Геологиялық модельдеу негіздері туралы).

2.Нұрлыбаев А.Н. (2015): Пайдалы қазбалар кен орындарының геологиясы. Оқулық. Алматы: «Дәуір». (Кен орындарының құрылымы мен классификациясы).

3. Портнов В.С. (2014): Геофизикалық зерттеу әдістері және компьютерлік технологиялар. Қарағанды: ҚарТУ. (Цифрлық деректерді өңдеу әдістері).

4.Ракышев Б.Р. (2012): Ашық тау-кен жұмыстарының технологиясы мен процестері. Алматы: «Ғылым». (Карьерлерді оңтайландыру мен жоспарлау мәселелері).

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫМИ РЕСУРСАМИ

Одним из направлений поиска новых подходов к процессам добычи и переработки минерального сырья является создание единого информационного пространства на базе интеллектуальных систем управления. Именно внедрение ИТ-решений позволяет трансформировать разрозненные производственные этапы в гибкую, самоорганизующуюся экосистему. В рамках данной работы рассматривается роль информационных технологий как катализатора перехода к концепции «Интеллектуального месторождения», где данные становятся таким же ценным активом, как и само минеральное сырье.

Цель статьи заключается в обосновании необходимости внедрения интегрированных информационных систем для управления процессами добычи и переработки минерального сырья как единым технологическим комплексом в условиях цифровой трансформации отрасли.

Внедрение информационных технологий в управление минерально-сырьевыми ресурсами обеспечивает сквозную интеграцию всех этапов освоения недр - от геологоразведки до получения конечного продукта. Современные ИТ - решения переводят отрасль от фрагментарного контроля к созданию единых имитационных моделей, способных обрабатывать массивы Big Data и учитывать динамику изменения свойств сырья на каждом этапе. Это позволяет минимизировать технологическую неопределенность, оптимизировать затраты на подготовку руды и реализовать стратегический принцип рационального недропользования.

На сегодняшний день в мировой практике сформировался ряд ключевых технологических решений, которые обеспечивают физическое воплощение концепции интеллектуального управления:

Таблица 1

### Информационные технологии в управлении ресурсами

| Категория ПО                                      | Информационные технологии                                     | Предоставляемые преимущества                                                                              |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Горно-геологические информационные системы (ГГИС) | Micromine, Datamine, Leapfroge, Maptek Vulcane, GEOVIA Surpac | Построение 3D-моделей месторождений, подсчет запасов руды, проектирование карьеров и шахт.                |
| Диаспетчеризация и управление парком (FMS)        | Wenco, Modular, АСД «Карьер»                                  | Мониторинг самосвалов и экскаваторов в реальном времени, оптимизация маршрутов, контроль расхода топлива. |

|                               |                                        |                                                                                               |
|-------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Проектирование и планирование | Deswik, RPMGlobal (ХРАС)               | Создание графиков отработки месторождения на 5 - 20 лет вперед с учетом экономической выгоды. |
| Безопасность и экология (EHS) | Enablon, SafetyCulture, Eco-Excellence | Контроль за промышленной безопасностью, экологический мониторинг и учет выбросов.             |

Примеры внедрения на конкретных гигантах РК:

1. ERG (Eurasian Resources Group): Активно внедряет «Умный карьер» на базе решений Цифра (ВИСТ) на Качарском руднике. В проекте самосвалы работают в связке с автоматизированными системами, которые сами определяют оптимальный маршрут для снижения расхода топлива.

2. KAZ Minerals (Актогай и Бозшаколь): В данном случае используются передовые системы Micromine и Wenco. Из-за огромных масштабов переработки руды цена ошибки инженера исчисляется миллионами долларов. ГГИС здесь выступает не просто как архив данных, а как критически важный инструмент 3D-моделирования, обеспечивающий точность добычи и стабильность качества сырья.

3. Казатомпром: Применяет специализированное ПО для цифрового моделирования пластов. Уран в РК добывается методом ПВ (подземного выщелачивания), поэтому здесь ИТ-системы управляют не грузовиками, а потоками растворов в скважинах.

Подводя итог, можно утвердительно сказать, что информационные технологии в управлении минерально-сырьевыми ресурсами перестали быть «инновацией будущего» и стали базовым условием выживания на глобальном рынке. Переход от традиционных методов к цифровым экосистемам - таким как Micromine, Wenco или АСД «Карьер» - позволяет горнодобывающим предприятиям решать критические задачи

*Список использованных источников:*

5. Гончарова С. В. Роль информационных технологий в управлении минерально-сырьевыми ресурсами / [Электронный ресурс] // Современные научные исследования и инновации. – 2020. – № 10. – Режим доступа: <https://web.snauka.ru/issues/2020/10/93656>.

6. Трубецкой К. Н. Роботизированные системы и технологии в горном деле / К. Н. Трубецкой. – М.: ИПКОН РАН, 2017. – С. 45-62.

7. Капутин Ю. Е. Информационные технологии планирования горных работ / Ю. Е. Капутин. – СПб.: Недра, 2011. – С. 112-130.

8. Басов П.П. Оптимизация процессов добычи на основе внедрения систем «Умный карьер» // Горный журнал. – 2022. – № 5. – С. 44-51.

АТАСУ Pb-ZN-БАРИТ КЕНДЕРІНІҢ ТАРАЛУЫ ЖӘНЕ ТҮЗІЛУ  
ШАРТТАРЫ

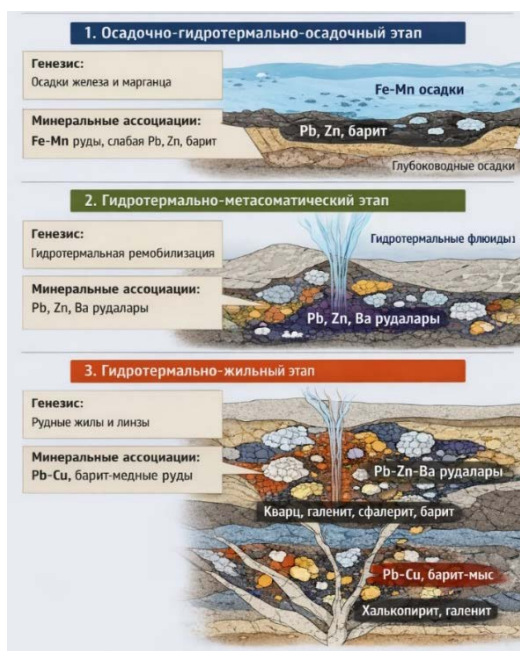
Атасу кенді ауданы пайдалы қазбаларға аса бай өңірлердің қатарына жатады. Оның негізгі құндылығы ретінде тәуелсіз Атасу генетикалық типі ретінде бөлінетін, көпсатылы және күрделі генезиске ие темір–марганец, қорғасын–мырыш және барит рудаларының стратиформды кешенді кен орындары қарастырылады.

Атасу типіндегі кен орындары полигенді дамуымен және рудалардың тұрақты парагенезімен сипатталады. Темір, марганец, барит, қорғасын және мырыштың күрделі стратиформды кендері терең теңіздік кремнийлі-сазды-карбонатты және көміртекті-карбонатты-кремнийлі жыныстармен, сирек жағдайда рифтік әктастармен байланысты [1,2].

Кенденудің қалыптасуы үш негізгі кезеңде жүргені анықталады (сурет 1):

1. **шөгінді гидротермиялық-шөгінді кезең** – темір мен марганецтің шөгінді кендері, сондай-ақ әлсіз қорғасын–мырыш және барит минералдануы қалыптасты;

2. **гидротермиялық-метасоматикалық кезең** – бірінші кезеңде түзілген кенді компоненттердің ремобилизациясы, регенерациясы және қайта бөлінуі жүріп, барийдің қосымша енгізілуі нәтижесінде қорғасын–мырыш–бариттің шөгіндіден кейінгі гидротермиялық-метасоматикалық кендері қалыптасты;



Сурет 2 – Атасу генетикалық типті барит-полиметалл кендерінің қалыптасу кезеңдерінің сызбасы

**3. гидротермиялық желілі кезең** – қорғасын, мыс және мыс–барит кендерінің ұсақ лентиккулярлы шоғырланулары, тамырлары мен линзалары түзілді.

Полиметалл кен орындары үшін орталықтан периферияға қарай дамиды айқын метасоматикалық аймақтылық тән. Орталық бөліктерде кварц–пирит метасоматиттері дамып, кей жерлерде халькопирит минералдануы бар монобарит аймағымен жалғасады.

Pb-Zn-барит кендерінің негізгі минералдары: барит, галенит, сфалерит, пирит; қосалқы түрде халькопирит, арсенопирит, сирек сурьма, мышьяк және күміс минералдары кездеседі. Кендердің текстурасы жолақты, ұялы-сеппелі, брекчияланған сипатта болады. Барит кендері әктастарда және кремнийлі-карбонатты жыныстарда линзатәрізді денелер түзеді.

Атасу типіндегі Pb-Zn-барит кен орындары бірқатар белгілері бойынша SEDEX (sedimentary exhalative) типіне жатады:

- рифтогендік құрылымдармен кеңістіктік байланысы;
- қалың трансгрессивті шөгінді қимада локализациялануы;
- кен денелерінің стратиформды морфологиясы;
- магмалық жыныстардың шектеулі дамуы;
- Pb-Zn ± Ba минералдануының міндетті түрде болуы.

Қазіргі көзқарастар бойынша, мұндай кендер шөгінді қабаттарда айналатын гидротермиялық ерітінділердің әсерінен қалыптасады, ал магматизм көбіне гидротермиялық жүйені жылулық энергиямен қамтамасыз ететін фактор ретінде рөл атқарады [3,4].

Атасу Pb-Zn-барит кендері рифтогендік геодинамикалық жағдайда қалыптасқан стратиформды кенденудің классикалық үлгісі болып табылады. Кендердің полигенді дамуы, үшсатылы кен түзілуі және SEDEX типіне жақын генетикалық ерекшеліктері олардың қалыптасуы субмариндік-гидротермиялық процестермен тығыз байланысты екенін көрсетеді. Бұл кен орындары Орталық Қазақстанның минералдық-шикізат әлеуетін айқындайтын маңызды объектілер болып табылады және аймақтың металлогендік эволюциясын түсінуде үлкен ғылыми мәнге ие.

*Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:*

1. Антонюк Р.М., Исмаилов Х.К. Промышленные месторождения металлических полезных ископаемых Центрального Казахстана. Геодинамическая позиция, строение, состав руд. – Караганда, 2019. С.85.
2. Жуковский В.И., Мальченко Е.Г., Хамзин Б.С. Полиметаллические и железомарганцевые месторождения Центрального Казахстана (Атасу́йский тип). Рудные провинции Центральной Азии. Алматы, 2008. С. 149-160.
3. Брусницын А.И., Перова Е.Н., Верецагин О.С., Бритвин С.Н., Летникова Е.Ф., Школьник С.И., Иванов А.В. Барит-свинцово-цинковые и железо-марганцевые месторождения Жайремского рудного узла: геологическая экскурсия в Центральный Казахстан. – Минералогия, 2018. №4(3). С. 82-92.
4. Griffith E.M., Paytan A. Barite in the ocean – occurrence, geochemistry and palaeoceanographic applications // Sedimentology. 2012. Vol. 59. P. 1817-1835

## ШЛИХОВОЙ АНАЛИЗ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОИСКОВ РОССЫПНЫХ И КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА

Шлиховой анализ является одним из наиболее информативных и экономически эффективных методов поисков как россыпных, так и коренных месторождений золота. Он основан на изучении тяжелых минералов, устойчивых к выветриванию и концентрирующихся в руслах водотоков.

В данной работе рассматриваются методические подходы к проведению шлихового анализа, диагностические признаки золотосодержащих минералов, а также примеры успешного применения метода на практике. Целью работы является анализ возможностей применения шлихового метода при поисках россыпных и коренных месторождений золота.

Золото остаётся одним из наиболее ценных и востребованных металлов, играющим ключевую роль в экономике и промышленности. Поиски его месторождений продолжаются во многих странах, и шлиховой анализ является важнейшим инструментом в арсенале поисковиков. Метод позволяет выявить признаки как россыпных, так и коренных источников золота, основываясь на изучении тяжелых минералов в осадках.

Теоретические основы метода.

Шлихи представляют собой концентрации тяжелых минералов (удельный вес более  $2,9 \text{ г/см}^3$ ), образующиеся в результате механического разрушения горных пород и последующего транспорта водными потоками. Золото, благодаря своей высокой плотности, нередко накапливается в таких шлихах. Вместе с ним в шлихах можно найти минералы-спутники: магнетит, ильменит, хромит, циркон, монацит, эпидот, а также золотоносные сульфиды.

Методика проведения анализа.

Процесс начинается с отбора проб — преимущественно из русел рек, берегов, аллювиальных террас. Пробы концентрируются на месте с использованием лотков, шлюзов или концентраторов. В таблице 1 представлены основные диагностические минералы-спутники золота.

В лабораторных условиях проводится промывка, магнитная и тяжеложидкостная сепарация, микроскопическое изучение концентратов. Особое внимание уделяется количественному и качественному составу минералов, их морфологии и сохранности.



Таблица 1 – Основные диагностические минералы-спутники золота

| Минерал  | Цвет              | Блеск         | Плотность<br>(г/см <sup>3</sup> ) | Особенности    |
|----------|-------------------|---------------|-----------------------------------|----------------|
| Магнетит | Черный            | Металлический | 5,2                               | Магнитный      |
| Ильменит | Черно-коричневый  | Металлический | 4,7                               | Слабомагнитный |
| Циркон   | Бесцветный, бурый | Алмазный      | 4,6                               | Часто окатан   |
| Золото   | Жёлтый            | Металлический | 15–19                             | Мягкое, ковкое |

Применение в поисках месторождений. Шлиховой анализ применяется как в первичных поисках, так и при доразведке известных объектов. Для россыпей важна локализация концентраций золота в пределах долин, эрозионных уступов, старичных русел. При поисках коренных источников особое внимание уделяется направлению миграции минералов-спутников вверх по течению, а также установлению связей между минералогическим составом шлихов и литологией источниковых пород.

В последние годы шлиховой анализ активно интегрируется с современными технологиями, такими как ГИС-технологии, спутниковая съёмка и методы машинного обучения. Это позволяет проводить пространственный анализ распределения шлихов, строить прогнозные модели и более эффективно направлять полевые работы.

#### Заключение

Шлиховой анализ остаётся важнейшим методом поисков золотосодержащих месторождений. Его универсальность, относительная простота и низкая стоимость делают его незаменимым на ранних этапах геологоразведки. Совмещение классических методов с современными технологиями открывает новые горизонты в поисках золота и других полезных ископаемых.

#### Список использованной литературы

1. Гинзбург, И. И. Шлиховой метод поисков полезных ископаемых / И. И. Гинзбург. — М. : Недра, 1980. — 232 с.
2. Смирнов, В. И. Геология полезных ископаемых / В. И. Смирнов, Ф. П. Митрофанов. — М. : Высшая школа, 1995. — 734 с.
3. Григорьев, Н. В. Минералогия золота / Н. В. Григорьев. — Л. : Недра, 1971. — 456 с.
4. Мелуа, А. И. Энциклопедия «Геология и разработка полезных ископаемых» / А. И. Мелуа. — СПб. : Гуманистика, 2005. — [количество страниц уточнить].
5. Моисеев, А. А. Геохимические методы поисков и разведки месторождений / А. А. Моисеев. — М. : МГУ, 2009. — 312 с.

## ЗАЯЧЬЕ ТИТАН-ЦИРКОНИЕВАЯ РОССЫПЬ: ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ

Заячье титан-циркониевое россыпное месторождение расположено в Северном Казахстане, в 130 км к северо-западу от г. Экибастуза, и включает две пространственно и генетически связанные россыпи — Заячью и Решающую.

По генетическому типу Заячье месторождение относится к первичным прибрежно-морским россыпям. Основные рудные тела заключены в тонкозернистых хорошо отмытых кварцевых песках чеганской свиты эоцена, перекрытых песчано-глинистыми осадками чиликтинской свиты олигоцена. Нижняя часть продуктивной толщи представлена мелкозернистыми глауконит-кварцевыми песками с прослоями более крупнозернистых песков эоцена. Палеозойский фундамент залегает на глубине 10–35 м и представлен угленосными терригенными отложениями юры (Рисунок 1).

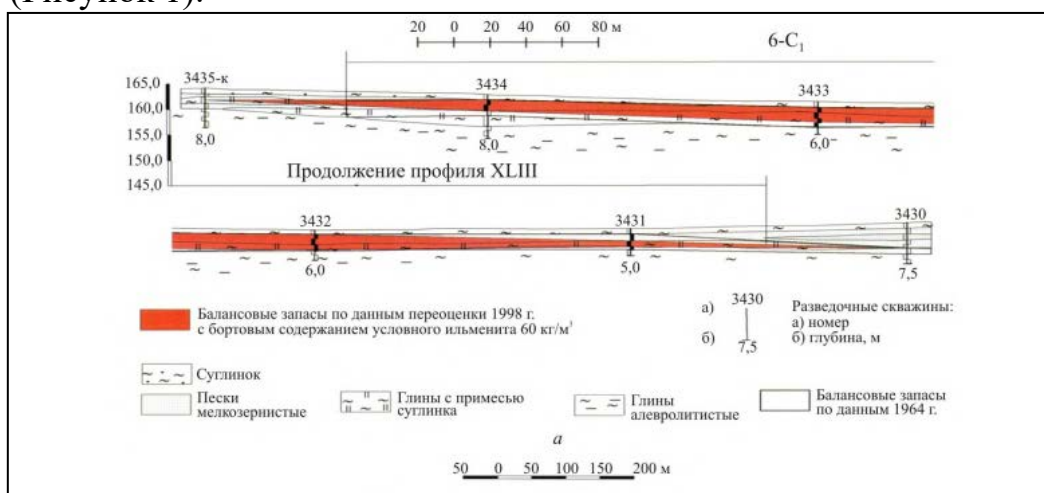


Рисунок 1 - Геологический разрез по профилю XLIII месторождения Заячье

Продуктивная толща сложена преимущественно хорошо отсортированными мелко- и тонкозернистыми кварцевыми песками с прослоями алевроитов и глин. Рудоносные пески образуют две вытянутые полосы. Первая располагается вблизи выхода коренных пород и имеет линзовидную форму, вытянутую в северо-западном направлении на 4 км при средней ширине около 1,5 км, постепенно переходя к юго-востоку в узкую полосу шириной 200–300 м и длиной около 4 км. Вторая полоса прослеживается параллельно первой на расстоянии около 5 км к северо-востоку и имеет протяжённость около 4,3 км при средней ширине 300 м. Мощность рудных песков в пределах первой полосы местами достигает 10–

13 м, составляя в среднем около 3,5 м. Во второй полосе мощность рудоносной толщи изменяется от 1 до 3 м. Мощность перекрывающих отложений составляет 25–30 м.

В ходе исторических исследований вещественного состава и обогатимости песков были проведены технологические испытания пяти проб в институтах Иргиредмет и Казахском институте минерального сырья. Пески характеризуются как труднообогатимые вследствие тонкозернистости ценных минералов и повышенного содержания труднопромывистой глины. Вместе с тем экспериментально установлена возможность получения коллективных концентратов гравитационными и флотационными методами с последующим разделением на селективные — ильменитовый, рутиловый и цирконовый — методами магнитной и электрической сепарации с дополнительной концентрацией на столах.

Выход концентратов (в процентах от исходных песков) составил: ильменитового — 3,9 % при содержании  $\text{TiO}_2$  52,4 % и извлечении 41 %, рутилового — 1,2 % при содержании  $\text{TiO}_2$  84,5 % и извлечении 19 %, цирконового — около 2,0 % при содержании  $\text{ZrO}_2$  61,8 % и извлечении 65 %. Дополнительно получен монацито-ксенотимовый продукт с содержанием 3,6 % монацита и ксенотима и 0,006 % оксида туллия. Вредной примесью в концентрате является хром. В рутиловом концентрате содержание  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  невелико и составляет 0,11–0,25 %, тогда как в ильменитовом концентрате оно достигает 1,63–5,15 %. Повышенное содержание хрома связано с присутствием хромшпинелидов, которые могут быть удалены при использовании существующих технологических схем обогащения.

Основными минералами тяжёлой фракции являются (%): ильменит — 43, циркон — 16, рутил — 11, лейкоксен — 6; доля нерудных минералов составляет около 16 %. Соотношение ильменит : (рутил + лейкоксен) в шлихах относительно устойчиво и составляет примерно 2 : 0,7. Среди аксессуарных минералов отмечаются монацит, ксенотим, турмалин, эпидот, хромпикотит, дистен и др. Средний размер зерен составляет 0,07–0,09 мм. В лёгкой фракции преобладает кварц (до 80 %), в меньших количествах присутствуют полевые шпаты, кремнистые зерна, обломки пород и слюда.

Таким образом, Заячье месторождение представляет собой прибрежно-морскую титано-циркониевую россыпь, сформированную в условиях эоценового осадконакопления. Основными рудными минералами являются ильменит, циркон и рутил, а результаты технологических испытаний подтверждают возможность получения кондиционных титановых и цирконовых концентратов.

**Список использованных источников:**

1. Отчёт по разведке и подсчёт запасов титан-циркониевых россыпей Заячье, (1964)г.
2. Алмазоносность кайнозойских россыпей СевероВосточной части центрального Казахстана, Т. В. Кряжева (КГТУ), 1996 г.

## ГЕОЛОГИЯЛЫҚ-ГЕОФИЗИКАЛЫҚ АҚПАРАТТЫ ӨНДЕУДІ АВТОМАТТАНДЫРУ

Қазіргі геологиялық барлау және кен орындарын игеру жұмыстары үлкен көлемдегі деректермен жұмыс істеуді талап етеді. Геологиялық және геофизикалық зерттеулер барысында алынатын ақпарат көлемінің экспоненциалды өсуі дәстүрлі өңдеу әдістерінің тиімсіздігін көрсетіп отыр. Осыған байланысты геология-геофизикалық ақпаратты өңдеуді автоматтандыру саласы қарқынды дамып келеді. Автоматтандыру тек уақыт шығындарын қысқартып қана қоймай, алынатын нәтижелердің дәлдігі мен сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Бұл мақаланың мақсаты - геологиялық және геофизикалық ақпаратты өңдеуді автоматтандырудың қазіргі заманғы әдістері мен технологияларына талдау жасау, олардың тиімділігін нақты мысалдар арқылы көрсету, екі бағыттың артықшылықтарын салыстыру және олардың интеграциясының маңыздылығын негіздеу. Геологиялық автоматтандыру дегеніміз - геологиялық құрылымдарды, кен орындарын және пайдалы қазбалардың таралу заңдылықтарын зерттеу процесінде заманауи ақпараттық технологиялар мен бағдарламалық кешендерді қолдану. Негізгі бағыттары:

- Үш өлшемді (3D) геологиялық модельдеу - кен орындарының құрылымын цифрлық форматта көрсету және талдау.

- Ұңғымалық деректерді өңдеу - геологиялық ақпаратты жүйелеу, тарихи деректерді басқа зерттеу нәтижелерімен байланыстыру.

- Геологиялық карталарды цифрландыру - қағаз тасығыштардағы ақпаратты сандық форматқа келтіру.

- Кен орындарын игеруді автоматтандыру - өндіру процестерін оңтайландыру және бақылау.

Мысалы, "Каспий нефть" компаниясы Айранкөл кен орнында енгізген "Smart Field Airankol" жобасы геологиялық автоматтандырудың нақты көрінісі болып табылады. Бұл жүйе кәсіпшілік деректерді автоматты жинауды, терең геологиялық талдауды және машиналық оқыту негізінде геологиялық-техникалық іс-шараларды автоматты таңдауды қамтиды.

Геофизикалық автоматтандыру - жер қыртысының құрылымы мен қасиеттерін физикалық әдістермен (гравиразведка, магниторазведка, сейсморазведка, электрразведка) зерттеу барысында алынған деректерді автоматты өңдеу мен интерпретациялауды қамтиды.

Негізгі бағыттары:

- Потенциалды өрістерді интерпретациялау - гравитациялық және магниттік өрістерді автоматты талдау.

– Сейсмикалық деректерді өңдеу - горизонттар мен жарылымдарды автоматты тандау.

– Электроразведка деректерін инверсиялау - геоэлектрлік қималарды құру.

– Тура және кері есептерді шешу - геофизикалық өрістерді модельдеу.

Украина Ұлттық ғылым академиясының Геофизика институтында әзірленген GMT-Auto кешені геофизикалық автоматтандырудың жарқын үлгісі болып табылады. Бұл жүйе потенциалды өрістерді интерпретациялауға арналған және гравиразведка мен магниторазведканың тура есептерін шешуге, геофизикалық карталарды автоматты тұрғызуға, ақ-қара және түрлі-түсті геологиялық-геофизикалық деректерді өңдеуге мүмкіндік береді

Кесте 1 - Геологиялық деректерді өңдеудің дәстүрлі және 3D цифрлық әдістерінің ерекшеліктері

| Критерий                  | Геологиялық автоматтандыру                                      | Геофизикалық автоматтандыру                                                         |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Деректер түрі          | Ұңғымалық мәліметтер, литология, геологиялық карталар           | Потенциалды өрістер, сейсмикалық толқындар, геоэлектрлік кескіндер                  |
| 2. Қолданылатын әдістер   | 3D модельдеу, машиналық оқыту, ГАЖ                              | Инверсия әдістері, нейрондық желілер, спектрлік талдау                              |
| 3. Экономикалық тиімділік | Өндіру көлемін шамамен 10% арттыру, шығындарды 30% дейін азайту | Барлау жұмыстарының құнын 25% дейін төмендету, зерттеу уақытын бірнеше есе қысқарту |

Геологиялық-геофизикалық ақпаратты өңдеуді автоматтандыру - қазіргі геологиялық барлау жұмыстарының ажырамас бөлігі. Заманауи бағдарламалық құралдар мен нейрондық желілер сияқты интеллектуалды әдістер геологиялық деректерді өңдеу сапасы мен жылдамдығын түбегейлі өзгертуде. Бұл бағыттағы зерттеулер мен әзірлемелер пайдалы қазбаларды іздеу мен барлаудың тиімділігін арттыруға, геологиялық модельдердің дәлдігін жақсартуға және жаңа кен орындарын ашуды жеделдетуге ықпал етеді.

*Пайдаланылған әдебиеттер тізімі.*

1. *Өтемісова Л.Г., Мерембаев Т.Ж., Бекбау Б.Е. Ұңғымалардың істен шығуын болжаудың заманауи әдістері // Қазақстан ғылымы. – 2024. – №4. – 68-77 б.*
2. *Кемербаев Н., Мусина Г. Спутниктік гравиметрия деректерін өңдеу әдістері // Геология және жер қойнауын пайдалану. – 2025. – №2. – 45-58 б.*
3. *«Каспий нефть» АҚ. Айранкөл кен орнында ақылды технологияларды енгізу тәжірибесі. – Атырау, 2023. – 24 б.*
4. *Digital [Business.kz](https://business.kz). Қазақстандық геологтардың цифрлық шешімдері. – 2025.*

## ГЕОЛОГИЯНЫ ЦИФРЛАНДЫРУ ЖАҒДАЙЫНДА МӘНГІ МҰЗДЫ АЙМАҚТА МАРКШЕЙДЕРЛІК БАҚЫЛАУ ЖҮРГІЗУДІҢ ЗАМАНАУИ ТӘСІЛДЕРІ

Қазіргі кезеңде геология саласын цифрландыру тау-кен өндірісінің барлық кезеңдерін сапалық жаңа деңгейге көтеріп отыр. Геологиялық барлау, кен орнын модельдеу, пайдалы қазбаларды өндіру және өндірістік қауіпсіздікті қамтамасыз ету процестері сандық технологиялар негізінде жүзеге асырылуда. Әсіресе мәңгі мұзды аймақтарда орналасқан кен орындарын игеру кезінде геологиялық және геокриологиялық жағдайлардың күрделілігі маркшейдерлік бақылауды заманауи цифрлық әдістер арқылы ұйымдастыруды талап етеді.

Мәңгі мұз аймақтары – ұзақ уақыт бойы теріс температура жағдайында сақталған тау жыныстары мен топырақ қабаттарынан тұратын ерекше геологиялық орта. Мұндай аймақтарда тау жыныстарының беріктік қасиеттері температура өзгерісіне тәуелді болады. Климаттық жылыну немесе өндірістік қызметтің әсері нәтижесінде мұз қабаттарының еруі жер бетінің шөгуіне, жарықшақтардың пайда болуына, жерасты қазбаларының деформациясына және карьер борттарының тұрақсыздануына әкелуі мүмкін. Сондықтан маркшейдерлік бақылау тек геометриялық өлшеулермен шектелмей, динамикалық процестерді кешенді талдауды қамтуы тиіс.

Геологияны цифрландыру жағдайында маркшейдерлік бақылаудың негізгі заманауи тәсілдерінің бірі – геоакпараттық жүйелерді (GIS) қолдану. GIS технологиялары кеңістіктік деректерді біріктіріп, геологиялық құрылымдарды, тектоникалық бұзылыстарды, мұз қабаттарының таралуын және тау-кен қазбаларының орналасуын бір цифрлық ортада талдауға мүмкіндік береді. Бұл қауіпті аймақтарды алдын ала анықтап, тау-кен жұмыстарын жоспарлауды оңтайландырады.

Үшөлшемді (3D) геологиялық және геомеханикалық модельдеу мәңгі мұз аймақтарында ерекше маңызға ие. Сандық модельдер арқылы жыныстардың физика-механикалық қасиеттерін, температуралық режимін және ықтимал деформация аймақтарын болжауға болады. Мұндай модельдер өндірістік шешім қабылдау кезінде тәуекел деңгейін төмендетуге және қазбалардың орнықтылығын арттыруға көмектеседі. Сонымен қатар «цифрлық егіз» (digital twin) технологиясы нақты кен орнының виртуалды моделін жасап, өзгерістерді нақты уақыт режимінде бақылауға мүмкіндік береді.

GNSS технологиялары мен спутниктік интерферометриялық бақылау әдістері (InSAR) жер бетінің қозғалысын миллиметрлік дәлдікпен тіркеуге

мүмкіндік береді. Мәңгі мұз аймақтарында жердің отыруы немесе ығысуы баяу және біртіндеп жүруі мүмкін, сондықтан ұзақ мерзімді жоғары дәлдікті мониторинг аса маңызды. Бұл әдістер өндірістік алаңдардың қауіпсіздігін қамтамасыз етуде және апатты жағдайлардың алдын алуда тиімді құрал болып табылады.

Лазерлік сканерлеу (LiDAR) және ұшқышсыз ұшу аппараттарын пайдалану карьерлер мен өндірістік нысандардың жоғары дәлдікті сандық модельдерін жедел құруға мүмкіндік береді. Бұл әдістер көлемдік есептеулерді автоматтандыруға, рельеф өзгерістерін анықтауға және жыныс массивінің жағдайын бағалауға қолданылады. Мәңгі мұз жағдайында мұндай жедел бақылау әдістері геокриологиялық процестердің қарқындылығын анықтауға көмектеседі.

Автоматтандырылған маркшейдерлік бақылау жүйелері де ерекше рөл атқарады. Температура, ылғалдылық, деформация және тау қысымы көрсеткіштерін тіркейтін датчиктер нақты уақыт режимінде мәлімет жинап, орталықтандырылған цифрлық платформаға жібереді. Үлкен деректерді (Big Data) талдау және жасанды интеллект элементтерін қолдану арқылы қауіпті тенденциялар алдын ала анықталып, басқарушылық шешімдер жедел қабылданады. Осылайша маркшейдерлік бақылау болжамдық және алдын алу сипатындағы жүйеге айналады.

Геологияны цифрландыру маркшейдерлік қызметтің ұйымдастырылуына да жаңа талаптар қояды. Деректерді стандарттау, бірыңғай ақпараттық кеңістік құру, бұлттық технологияларды пайдалану және мамандардың цифрлық құзыреттілігін арттыру – заманауи маркшейдерлік бақылаудың маңызды элементтері болып табылады. Бұл тәсілдер өндірістік қауіпсіздікті күшейтіп қана қоймай, экономикалық тиімділікті де қамтамасыз етеді.

Қорытындылай келе, геологияны цифрландыру жағдайында мәңгі мұзды аймақтарда маркшейдерлік бақылау жүргізудің заманауи тәсілдері тау-кен өндірісінің тұрақтылығы мен қауіпсіздігін қамтамасыз етудің негізгі құралына айналып отыр. Сандық модельдеу, спутниктік мониторинг, лазерлік сканерлеу және интеллектуалды талдау жүйелері кешенді түрде қолданылған жағдайда ғана мәңгі мұз жағдайындағы күрделі геокриологиялық процестерді тиімді басқаруға болады. Болашақта цифрлық егіздер мен жасанды интеллектке негізделген болжау жүйелері маркшейдерлік бақылаудың ажырамас бөлігіне айналып, өндірістік тәуекелдерді барынша төмендетуге мүмкіндік береді.

#### Пайдаланылған әдебиеттер

1. Сәтбаев Қ.И. Геология негіздері. – Алматы: Ғылым, 2000.
2. Құсайынов К.К. Маркшейдерлік іс. – Алматы: Білім, 2015.
3. Жарменов А.А. Тау-кен ісі және кен орындарын игеру. – Алматы, 2018.
4. Brady B.H.G., Brown E.T. Rock Mechanics for Underground Mining. – Springer, 2006.
5. Goodchild M.F. Geographic Information Systems and Science. – Wiley, 2018.

## ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСШЕЙ МАТЕМАТИКИ В ГЕОЛОГИИ И РАЗВЕДКЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

В условиях цифровизации геологических исследований данные о недрах становятся объёмнее и сложнее. Для анализа таких данных используются методы математической геологии – сочетание математики и информационных технологий («цифровая геология»). Цифровая геология – это, анализ больших наборов данных геологических исследований с помощью математических моделей и вычислений.

Рассмотрим несколько задачи, возникающей в геологии, которые решаются математическими методами. Линейная алгебра обеспечивает инструментами для работы с многомерными данными, характерными для разведки месторождений. Глобальные геологические задачи приводят к системам линейных уравнений и к матричным преобразованиям. При оценке запасов месторождения необходимо определить значение некоторой характеристики (например, содержания металла) в точках, где нет скважин.

Пусть известны значения  $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$  в точках наблюдения. Тогда оценка в новой точке записывается в виде:  $Z^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_i$ , где коэффициенты  $\lambda_i$

определяются из системы линейных уравнений:  $\sum_{j=1}^n \lambda_j \gamma_{ij} = \gamma_{i0}, \quad i = 1, \dots, n$ , здесь  $\gamma_{ij}$  — значения вариограммы (функции пространственной корреляции).

Собственные значения и собственные векторы (теория матричных спектров) особенно важны при анализе напряжённо-деформированного состояния горных пород. Так, в сейсмологии найдено, что главные направления напряжений в горной породе соответствуют собственным векторам тензора напряжений, а сами главные напряжения – собственным значениям этого тензора. Другими словами, вычисление собственных значений матрицы напряжений позволяет предсказать разрывы или обрушения в горных породах.

Дифференциальное и интегральное исчисление играют важную роль при описании непрерывных изменений в геологических системах. Производные помогают анализировать градиенты полей и функций: например, по данным о высотах рельефа или геофизических аномалиях можно вычислять направление максимального роста (градиент).

Пусть температура в недрах описывается функцией:  $T=T(x,y,z)$ .

Градиент температуры:  $\nabla T = \left( \frac{\partial T}{\partial x}, \frac{\partial T}{\partial y}, \frac{\partial T}{\partial z} \right)$  показывает направление максимального роста температуры и используется в геотермии.



Частные производные (частные производные по координатам и времени) необходимы при оценке изменений состава пород или условий на разрезах залежей (например, изменение фракционного состава минералов при температуре и давлении из термодинамики горных пород).

Уравнение теплопроводности  $\frac{\partial T}{\partial t} = a \nabla^2 T$  используется при моделировании геотермальных процессов. Волновое уравнение  $\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \nabla^2 u$  применяется в сейсморазведке. Решение этого уравнения лежит в основе моделирования распространения сейсмических волн.

Кроме того, методы оптимизации (минимизация/максимизация) с помощью производных помогают при калибровке моделей: подгонка математических моделей геологических процессов под наблюдаемые данные часто сводится к оптимизационной задаче.

Интегральное исчисление используется при оценке общих свойств запасов и обработки данных. Например, для подсчёта запасов руды в месторождении применяется интегральный расчёт объёмов по геометрии рудных тел и изменению концентрации металла по объёму.

Если содержание металла задаётся функцией  $c(x, y, z)$ , а плотность породы  $\rho$ , то масса полезного компонента: 
$$M = \iiint_V c(x, y, z) \rho dV$$
. Если залежь имеет простую форму (например, цилиндр радиуса  $R$  и высоты  $h$ ):  $V = \pi R^2 h$

Тогда при среднем содержании  $\bar{c}$ :  $M = \bar{c} \rho \pi R^2 h$ . Это уже практический расчёт запасов.

Интегральные преобразования (Фурье, Лапласа и др.) являются стандартным инструментом при обработке геофизических сигналов. В сейсморазведке широко применяются интегральные преобразования и интерференционные методы, которые улучшают качество записи волнового сигнала. Использование этих методов позволяет фильтровать шумы и выделять полезную информацию из волновых импульсов. Сейсмический

сигнал  $f(t)$  анализируется через преобразование Фурье: 
$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt$$
.

Это позволяет выделять частотные компоненты и фильтровать шум.

Разделы высшей математики не являются абстрактными теориями - они лежат в основе: расчёта запасов полезных ископаемых, моделирования движения нефти и газа, анализа устойчивости пород, обработки сейсмических сигналов, построения цифровых моделей месторождений.

Список использованных источников:

1. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. -М.: Бином, 2002.
2. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. - М.: Наука, 1977.
3. Стренг Г. Линейная алгебра и её применения. — М.: Мир, 1980.

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ

В последние годы искусственный интеллект (ИИ) становится одним из ключевых инструментов в развитии геологии и геофизики. Быстрое развитие цифровых технологий, рост объёмов геологических данных и необходимость более точного прогнозирования месторождений полезных ископаемых способствуют активному внедрению методов машинного обучения, анализа больших данных и нейронных сетей в геологоразведочную отрасль. Использование искусственного интеллекта позволяет значительно повысить эффективность обработки геологических и геофизических данных, сократить время на анализ информации и улучшить качество принятия решений. Одним из основных направлений применения искусственного интеллекта в геологии является прогнозирование месторождений полезных ископаемых. Традиционные методы геологического анализа требуют большого количества времени и человеческих ресурсов, тогда как алгоритмы машинного обучения способны анализировать огромные массивы данных, включая геологические карты, спутниковые снимки, результаты бурения и геофизические измерения [1].

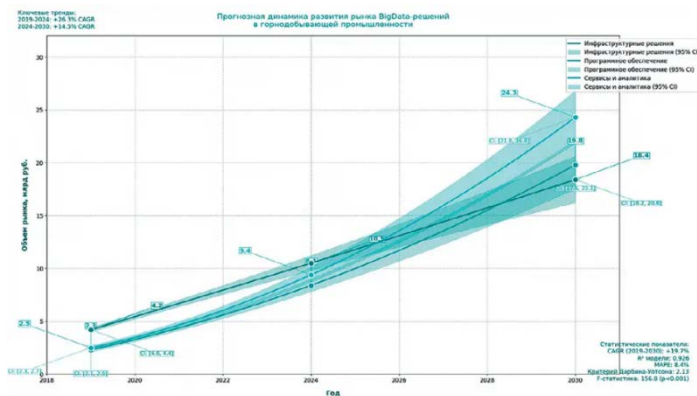


Рисунок 1.1 Прогнозная динамика развития рынка BigData решений в геологии и геофизики.

В условиях дальнейшей цифровизации экономики роль искусственного интеллекта и Big Data в горнодобывающей промышленности будет только возрастать (Рисунок 1.1.). Развитие цифровых двойников предприятий, интеграция ИИ в системы управления и подготовка специалистов с цифровыми компетенциями станут ключевыми направлениями модернизации отрасли. Применение ИИ и Big Data способствует значительному повышению уровня промышленности [2].

В геофизике искусственный интеллект активно применяется для интерпретации сейсмических данных. Сейсморазведка является одним из наиболее важных методов изучения строения земной коры, однако

обработка сейсмической информации требует значительных вычислительных ресурсов. Современные нейронные сети способны автоматически распознавать геологические структуры, такие как разломы, складки и ловушки углеводородов, что значительно ускоряет процесс интерпретации данных и повышает точность геологических моделей. Еще одним перспективным направлением является использование искусственного интеллекта для анализа спутниковых и аэрогеофизических данных [3]. С помощью технологий дистанционного зондирования Земли можно получать огромные объемы информации о геологическом строении территорий. Алгоритмы искусственного интеллекта помогают автоматически обрабатывать эти данные, выявлять аномалии и прогнозировать наличие полезных ископаемых. Это особенно важно при исследовании труднодоступных регионов, где проведение традиционных геологоразведочных работ связано с большими затратами. Кроме того, искусственный интеллект используется для оптимизации процессов бурения и разработки месторождений. Системы на основе машинного обучения способны анализировать параметры бурения в режиме реального времени, прогнозировать возможные осложнения и предлагать оптимальные решения для повышения эффективности работ. Это позволяет снизить производственные риски, уменьшить затраты и повысить безопасность на горнодобывающих предприятиях. Перспективным направлением также является создание цифровых геологических моделей месторождений [4]. Искусственный интеллект помогает интегрировать различные виды данных — геологические, геофизические, геохимические и технологические — в единую информационную систему. На основе этих данных формируются цифровые модели месторождений, которые позволяют более точно прогнозировать запасы полезных ископаемых и планировать их рациональную разработку. Несмотря на значительные преимущества, внедрение искусственного интеллекта в геологию и геофизику связано с рядом вызовов. Одним из основных является необходимость качественных и структурированных данных для обучения алгоритмов. Кроме того, важную роль играет подготовка специалистов, способных работать на стыке геологических наук и цифровых технологий. Поэтому развитие образовательных программ в области геоинформатики, анализа данных и искусственного интеллекта становится важным фактором для дальнейшего прогресса отрасли [5].

*Список использованных источников*

1. Schwab K. *The Fourth Industrial Revolution*. — Geneva: World Economic Forum, 2016.
2. McKinsey & Company. *How digital innovation can improve mining productivity*. — McKinsey Global Institute, 2017.
3. IBM Corporation. *Artificial Intelligence and Big Data Analytics in the Mining Industry*. — IBM White Paper, 2019.
4. Deloitte. *Tracking the Trends 2023: The top trends in mining and metals*. — Deloitte Insights, 2023.
5. World Economic Forum. *Digital Transformation Initiative: Mining and Metals Industry*. — Geneva, 2017.

## ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ ӘДІСТЕР АРҚЫЛЫ МҰНАЙ БЕРУДІ АРТТЫРУ

Мұнай беруді арттыру (Enhanced Oil Recovery – EOR) – кен орнын игерудің соңғы сатыларында қабаттан алынатын мұнай көлемін көбейтуге бағытталған технологиялық шаралар кешені. Табиғи режим және дәстүрлі су айдау әдістері арқылы қабаттағы мұнайдың белгілі бір бөлігі ғана өндіріледі, ал айтарлықтай мөлшері кеуек кеңістігінде қалып қояды. Осы қалдық мұнайды тиімді игеру мақсатында физика-химиялық әдістер кеңінен қолданылады. Бұл әдістер қабаттағы сұйықтардың физикалық және химиялық қасиеттерін өзгерту арқылы мұнайдың қозғалғыштығын арттыруға негізделген.

Физика-химиялық әдістердің теориялық негізі – қабаттағы фазалардың өзара әрекеттесуін басқару. Негізгі мақсат – мұнай мен су арасындағы беткі керілуді төмендету, капиллярлық күштерді азайту, ығыстырушы агенттің тұтқырлығын арттыру және сүзгіштік ағынның біркелкілігін қамтамасыз ету. Осы факторлар мұнайдың кеуектерден бөлініп шығуына және өндіруші ұңғымаларға қарай қозғалуына ықпал етеді.

Физика-химиялық әдістердің ең кең таралған түрі – полимер айдау. Бұл әдісте суға арнайы жоғары молекулалық полимерлер қосылады. Нәтижесінде айдалатын ерітіндінің тұтқырлығы артып, қабат ішінде ағын фронты тұрақтанады. Су мен мұнайдың тұтқырлық айырмашылығы азайып, «саусақ тәрізді» ығыстыру құбылысы төмендейді. Полимер айдау әсіресе өткізгіштігі жоғары, біртекті қабаттарда тиімді нәтиже береді және мұнай беруді 5–15% дейін арттыруы мүмкін.

Келесі маңызды әдіс – беттік-белсенді заттарды (ББЗ) қолдану. Бұл реагенттер мұнай мен су арасындағы беткі керілуді бірнеше есеге дейін төмендетеді. Соның нәтижесінде капиллярлық қысым азайып, кеуектерде ұсталып қалған мұнай қозғалысқа түседі. ББЗ айдау көбіне төмен өткізгішті немесе күрделі құрылымды қабаттарда қолданылады. Алайда бұл әдіс реагенттердің құны мен қабат суының минералдылығына тәуелділігіне байланысты экономикалық және технологиялық талдауды талап етеді.

Сілтілік әдіс те физика-химиялық тәсілдердің бірі болып табылады. Сілті ерітінділері мұнай құрамындағы органикалық қышқылдармен әрекеттесіп, табиғи беттік-белсенді заттар түзеді. Бұл құбылыс беткі керілуді азайтып, ығыстыру тиімділігін арттырады. Сілтілік айдау көбінесе ауыр мұнай кен орындарында қолданылады және басқа реагенттермен біріктірілгенде жоғары нәтиже береді.

Қазіргі уақытта ең тиімді кешенді технологиялардың бірі – ASP (Alkali–Surfactant–Polymer) әдісі. Бұл тәсілде сілті, беттік-белсенді зат және

полимер бір мезгілде қолданылады. Полимер ағын тұрақтылығын қамтамасыз етсе, ББЗ беткі керілуді төмендетеді, ал сілті қосымша химиялық әсер береді. Осындай синергетикалық ықпал нәтижесінде мұнай беруді едәуір арттыруға мүмкіндік туады. Әлемдік тәжірибеде ASP-технологиясы мұнай беруді 20%-ға дейін көбейткен жағдайлар белгілі.

Физика-химиялық әдістердің артықшылықтарына олардың салыстырмалы жоғары тиімділігі, қолданыстағы ұңғымалар жүйесін пайдалану мүмкіндігі және геологиялық жағдайларға бейімделгіштігі жатады. Сонымен қатар бұл әдістер экологиялық тұрғыдан жылулық тәсілдерге қарағанда қауіпсіздеу. Дегенмен, реагенттердің қымбаттығы, қабат жағдайларына (температура, қысым, минералдылық) тәуелділігі және технологиялық күрделілігі белгілі бір шектеулер тудырады.

Қазіргі кезеңде физика-химиялық EOR әдістерін жетілдіру бағытында ғылыми зерттеулер қарқынды жүргізілуде. Наноқосылыстарды пайдалану, «ақылды» полимерлер әзірлеу, цифрлық гидродинамикалық модельдеу арқылы реагенттерді оңтайлы таңдау – осы саланың даму перспективалары болып табылады. Қазақстан кен орындарының көпшілігі игерудің соңғы сатысында тұрғанын ескерсек, физика-химиялық әдістерді енгізу мұнай өндіру көлемін тұрақтандыру мен арттыруда стратегиялық маңызға ие.

Осылайша, физика-химиялық әдістер арқылы мұнай беруді арттыру – қабаттың табиғи энергиясын толық пайдаланып, қалдық қорларды тиімді игеруге мүмкіндік беретін заманауи әрі ғылыми негізделген бағыт болып табылады.

Пайдаланылған әдебиеттер:

- 1.Әбдірахманов Б. — Мұнай кен орындарын игеру, 2005.
- 2.Жұмағұлов Қ. — Мұнай және газ кен орындарын пайдалану, 2010.
- 3.Сүлейменов Е. — Қабат физикасы, 2008.
- 4.Нәдірбеков А. — Мұнай беруді арттыру әдістері, 2012.

## ПЕРВЫЙ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК НЕДР: КАК ПРЕВРАТИТЬ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ АРХИВЫ В ИНСТРУМЕНТ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

От геологии к прогнозу будущих месторождений. За 80 лет геологической съёмки накоплен колоссальный объём данных. Сейчас стоит задача не просто хранить их, а научить работать на перспективу. Цифровой двойник недр — это возможность для Казахстана стать первым в Центральной Азии, кто перейдёт от поиска - к предсказанию месторождений.

Почему Казахстан может создать цифрового двойника уже сегодня. К концу 2025 года оцифровано 97,5% геологических архивов [1]. В сочетании с участием в программе ЮНЕСКО Deep-time Digital Earth это создаёт основу для первого в Центральной Азии цифрового двойника недр. Речь идёт не о базе данных, а об интеллектуальной системе, позволяющей геологу видеть перспективные участки на основе анализа сопоставимых признаков с известными месторождениями. Прогнозируется сокращение сроков разведки в 2–3 раза при повышении достоверности прогнозов. В сентябре 2025 года Президент К.К. Токаев констатировал: старые методы исчерпали себя, необходимы современные цифровые карты [2].

Как подготовить архивные данные для обучения нейросетей. Анализ состояния архивов показывает, что главная проблема — инструментальные погрешности устаревшей техники и ручная фиксация результатов. Это создаёт риск обучения нейросетей на некорректных образцах. Предлагается трёхэтапный подход: приведение всех материалов к единому стратиграфическому коду; фильтрация ошибок путём сопоставления с эталонными участками, изученными современными методами; формирование обучающих выборок на базе разведанных месторождений-аналогов.

Что даёт Казахстану членство в программе ЮНЕСКО DDE. Казахстан участвует в программе ЮНЕСКО Deep-time Digital Earth, объединяющей учёных 40 стран [4]. Платформа DDE открывает доступ к современным алгоритмам машинного обучения. Материалы по палеозойским месторождениям Центрального Казахстана представляют собой уникальный материал, способный восполнить пробелы в глобальной геологической модели Евразии.

Чему учат примеры Китая, России и Татарстана. Мировая практика демонстрирует эффективность ИИ в геологоразведке: Китай - обработка 135

тысяч проб позволила достичь точности прогноза 90%. [3]. Россия - проект АЛРОСА. Татарстан - нейросети ResNeuro.

Анализ 12 подобных проектов позволяет выделить три ключевых фактора успеха: качественная база данных, современные алгоритмы и участие геологов-практиков. В Казахстане все три условия уже выполнены.

Меньше бурить – больше находить. Повышение точности прогнозирования позволяет сократить объём буровых работ на 30–50%, снижая нагрузку на экосистемы и обеспечивая существенный экономический эффект. В проектах “КазМунайГаза” цифровые технологии уже демонстрируют положительные результаты [5]. Опыт применения ИИ для прогнозирования паводков и засух совместно с K-Water подтверждает готовность страны к внедрению таких решений.

Четыре шага до цифрового двойника. 2026 год - Гармонизация геоданных, приведение к единому формату. 2026–2027 - пилотные проекты на ключевых месторождениях. 2027 - интеграция казахстанских данных в платформу DDE. 2028–2030 - масштабирование технологии и подготовка кадров.

На основе изучения 12 зарубежных проектов, где ИИ применялся в геологии, выделены три общих условия успеха: наличие структурированной базы данных, доступ к современным алгоритмам и вовлечённость геологов-практиков. Предложена модель адаптации этих подходов к казахстанским условиям. 12 примеров - 3 вывода - 1 стратегия.

Три слагаемых успеха – и шаг к цифровому двойнику. В Казахстане сложились три условия, необходимые для реализации проекта: завершена цифровизация геоархивов, обеспечен доступ к глобальным алгоритмам через программу DDE, сформирован государственный запрос на обновление отрасли. Первым этапом предлагается пилотный проект на одном из крупных месторождений для апробации разработанных методов нормализации данных.

*Список использованных источников:*

1. Более 97% геологических данных оцифровано в Казахстане [Электронный ресурс] // Казинформ. — 16.12.2025. — Режим доступа: <https://www.inform.kz/ru/bole-97-geologicheskikh-dannyh-ocifrovano-v-kazahstane> (дата обращения: 26.02.2026).

2. Исследования устарели — Президент Казахстана о необходимости реформирования сферы геологоразведки [Электронный ресурс] // Казинформ. — 08.09.2025. — Режим доступа: <https://www.inform.kz/ru/issledovaniya-ustareli-prezident-kazahstana-o-neobhodimosti-reformirovaniya-sfery-geologorazvedki> (дата обращения: 26.02.2026).

3. Wang T., Li X., Zhang Y. Deep-time Digital Earth: магматическая база данных и результаты применения ИИ в провинции Гуйчжоу // UNESCO DDE Open Science Forum. — Paris, 2024. — С. 112–125. (дата обращения: 26.02.2026).

4. About DDE [Электронный ресурс] // DDE World. — Режим доступа: <http://www.ddeworld.org/about> (дата обращения: 26.02.2026).

5. KazMunayGas. Annual Report 2024 – Innovative technology development [Электронный ресурс]. — 2025. — Режим доступа: <https://ar2024.kmg.kz/en/strategic-report/operating-review/innovative-technology-development> (дата обращения: 26.02.2026).

***Машина жасаудағы цифрлық  
технологиялар және интеллектуалды  
шешімдер***



## МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТОЧНОСТИ 3D - ПЕЧАТНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Аддитивные технологии находят всё более широкое применение в машиностроении, что обуславливает необходимость точной оценки геометрических параметров и отклонений 3D-печатных деталей. Точность изделий зависит как от параметров печати, так и от применяемых методов измерений, что требует разработки и совершенствования метрологического обеспечения аддитивного производства.

Несмотря на активное развитие оборудования и программного обеспечения для 3D-печати, одной из ключевых нерешённых задач остаётся обеспечение и объективная оценка точности изготавливаемых деталей.

В современных исследованиях значительное внимание уделяется бесконтактным методам измерения. В работе [1] предложена методика оценки точности 3D-печатных деталей на основе обработки изображений, предусматривающая сравнение фактического контура изделия с его CAD-моделью. Данный подход позволяет выявлять отклонения формы и размеров, особенно для деталей сложной геометрии, однако чувствителен к условиям съёмки и параметрам обработки изображений.

В статье [2] выполнен сравнительный анализ различных измерительных средств, включая штангенциркули, 3D-сканеры и координатно-измерительные машины. Показано, что координатно-измерительные машины обеспечивают наименьшую неопределённость измерений, но характеризуются высокой стоимостью и низкой производительностью, тогда как 3D-сканирование является более универсальным решением для сложных поверхностей при допустимой погрешности.

Работа [3] посвящена разработке специализированной измерительной системы с использованием глубинных датчиков и автоматизированного позиционирования. Предложенная система позволяет выполнять пространственный анализ геометрии 3D-печатных изделий в автоматическом режиме и повышает воспроизводимость результатов измерений, что особенно актуально для серийного производства.

В исследовании [4] рассмотрена точность металлических деталей, изготовленных методом селективного лазерного плавления (DMLS). Установлено, что постобработка, включая термообработку и механическое доведение, оказывает существенное влияние на геометрическую точность и соответствие допускам, что необходимо учитывать при интерпретации результатов измерений.

Сделаем сравнение двух наиболее распространённых методик измерения точности 3D-печатных деталей:

Контактная методика:

- 1) высокая точность отдельных размеров;
- 2) признанная метрологическая база;
- 3) ограниченная применимость для сложных поверхностей;
- 4) высокая трудоёмкость и низкая информативность по отклонениям формы.

Бесконтактная методика:

- 1) возможность комплексной оценки формы и размеров;
- 2) высокая скорость получения данных;
- 3) чувствительность к состоянию поверхности;
- 4) зависимость результатов от программной обработки.

Исходя из этого при оценке точности 3D-печатных деталей, обладающих сложной геометрией, бесконтактные методы являются более информативными, тогда как контактные методы целесообразно использовать для верификации отдельных критических размеров.

Таким образом, современные тенденции в области измерения точности 3D-печатных деталей направлены на развитие бесконтактных и автоматизированных методов контроля, интеграцию цифровых моделей и измерительных данных, а также учёт влияния постобработки на конечные геометрические характеристики изделий.

Дополнительно следует отметить, что обеспечение высокой точности измерений невозможно без учёта факторов, связанных с особенностями аддитивного процесса формирования изделия. К таким факторам относятся послойная структура материала, наличие внутренних напряжений, усадочные явления, а также анизотропия механических свойств, возникающая вследствие направленного построения детали. Эти особенности могут приводить к систематическим отклонениям геометрии, проявляющимся как в линейных размерах, так и в отклонениях формы-овальности, конусности и другим видам погрешностей.

Перспективным направлением является внедрение комбинированных измерительных систем, объединяющих контактные и бесконтактные методы в рамках единого программно-аппаратного комплекса. Такой подход обеспечивает взаимную верификацию данных, повышает достоверность результатов и позволяет формировать единую информационную базу измерений.

#### *Список использованных источников*

1. Okamoto T., Ura S. Verifying the Accuracy of 3D-Printed Objects Using an Image Processing System. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 2024. - 94c.
2. Kozior T., Bochnia J., Bochenek A. et al. Estimating the Uncertainty of Measurements for Various Methods and 3D Printed Parts. *Applied Sciences*, 2024. – 14c.
3. Pollák M., Sabol D., Goryl K. Measuring the Dimension Accuracy of Products Created by 3D Printing Technology with the Designed Measuring System. *Machines*, 2024. – 12c.
4. Sawicki J., Stachurski W., Kuryło P. et al. Comparative Analysis of the Dimensional Accuracy and Surface Characteristics of Gears Manufactured Using the 3D Printing (DMLS) Technique. *Materials*, 2025.– 18c.

## АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ, МАТЕРИАЛОВ И ДЕФЕКТОВ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ШТОКОВ МЕТОДОМ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ

В данной работе проведено исследование технологического процесса восстановления прецизионных поверхностей штоков гидроцилиндров. Внимание уделено нормативным требованиям, выбору современных порошковых систем и анализу причин дефектов для повышения надежности и ресурсных характеристик гидравлического оборудования.

Современное ремонтное производство требует технологий восстановления без внесения существенных термических возмущений. Штоки, подверженные абразивному износу и коррозии, требуют высокой герметичности. Метод газодинамического напыления (ГДН) – эффективная альтернатива хромированию, исключая риск термических поворотов за счет использования кинетической энергии сверхзвукового потока частиц.

Установлено, что восстановленный слой должен соответствовать характеристикам нового изделия. Регламенты (ГОСТ 25347, ISO 4287) предписывают допуски по цилиндричности 0,01–0,02 мм и шероховатости Ra 0,16–0,32 мкм. Адгезионная прочность для высоконагруженных узлов должна составлять 50–70 МПа; ее несоблюдение ведет к износу уплотнений и преждевременному выходу гидроагрегата из строя.

Научный подбор порошковых систем базируется на создании многослойных или гетерофазных структур. В работе проанализирована эффективность материалов, позволяющих формировать адгезионно-пластичный «якорь» на стальной подложке. Характеристики рекомендуемых порошков приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Рекомендуемые порошковые материалы для восстановления штоков

| Состав / Группа            | Функциональное назначение                     | Ожидаемая адгезия, МПа |
|----------------------------|-----------------------------------------------|------------------------|
| NiCrSiAl (сплав никеля)    | Формирование связующего подслоя               | 40-60                  |
| Mo (чистый молибден)       | Создание пластичного якорного слоя            | 35-55                  |
| Ni + WC (карбид вольфрама) | Создание износостойкого рабочего слоя         | 30-50                  |
| CrO (оксид хрома)          | Повышение коррозионной и эрозионной стойкости | 25-45                  |

Анализ показывает, что использование фракций в диапазоне 20–50 мкм обеспечивает оптимальный разгон частиц в сопле Лавала. Более мелкие

фракции теряют скорость в приповерхностном воздушном слое, а более крупные могут вызвать эрозионное разрушение подложки.

Генезис несовершенств структуры при ГДН обусловлен как отклонением газодинамических режимов, так и разницей в физических свойствах компонентов смеси. В процессе работы была проведена систематизация наиболее характерных дефектов, представленная в таблице 2.

Таблица 2 – Классификация и причины возникновения дефектов

| Тип дефекта | Генезис (основная причина)                                                  | Способ предупреждения                               |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Деламинация | Превышение критической толщины слоя и рост внутренних напряжений            | Использование адгезионных подслоев (Mo, NiCrSiAl)   |
| Пористость  | Падение скорости частиц ниже критического уровня $v_{crit}$                 | Контроль давления газа и дистанции напыления        |
| Потеря фазы | Рикошет твердых частиц (абразива) при слабой деформации матрицы             | Корректировка состава смеси и температуры подогрева |
| Сегрегация  | Разница в инерционных массах компонентов (например, WC и TiO <sub>2</sub> ) | Раздельная подача порошков или послойная укладка    |

Исследование микроструктуры показало, что так называемый «эффект тени» при неперпендикулярном угле атаки струи является основным фактором роста пористости. Для исключения данного явления необходимо строгое соблюдение кинематики перемещения сопла относительно вращающегося штока.

Комплексный анализ технологического цикла восстановления доказывает высокую эффективность метода ГДН при условии научно обоснованного подбора материалов. Применение никель-молибденовых подслоев позволяет компенсировать дефицит адгезии керамических фаз, а использование композитов на основе карбида вольфрама обеспечивает износостойкость, превышающую показатели традиционного гальванического хромирования. Разработанные рекомендации по минимизации дефектов позволяют повысить стабильность качественных показателей восстановленных изделий в условиях серийного ремонтного производства.

#### Список использованной литературы

1. T. Schmidt, H. Assadi, F. Gartner, H. Richter, T. Stoltenhoff, H. Kreye, T. Klassen. From particle acceleration to impact and bonding in cold spraying. - *Journal Thermal Spray Technology*, 2009, 18 (5 - 6), p.794 – 808.
2. A.Shkodkin, A.Kashirin, O.Klyuev, T.Buzdygar. Metal particles deposition stimulation by surface abrasive treatment in gas dynamic spraying. – *Journal of Thermal Spray Technology*, 2006, V. 15, N 3, p.382-386.
3. T. Buzdygar, A. Kashirin, O. Klyuev, A.Shkodkin. Sealing Up the Holes by Gas Dynamic Spraying. – *Thermal Spray Crossing Borders: Proceedings of the 2008 International Thermal Spray Conference (Maastricht, Netherlands)*, (Ed.) E. Lugscheider. DVS Verlag, 2008.

## ЖҰМЫС БЕТІН ҚАЛПЫНА КЕЛТІРУ АРҚЫЛЫ АРАЛАСТЫРҒЫШ ДӨҢГЕЛЕГІНІҢ ҚЫЗМЕТ ЕТУ МЕРЗІМІН ҰЛҒАЙТУ

Қарқынды өндірістік жағдайларда араластырғыштың жұмыс бөліктері айтарлықтай абразивті, эрозиялық және коррозиялық тозуға ұшырайды. Бұл араластыру тиімділігінің төмендеуіне, энергия тұтынудың артуына және сайып келгенде, компоненттің істен шығуына әкеледі. Дәстүрлі шешім - тозған бөлшектерді немесе бүкіл араластырғышты толығымен ауыстыру - айтарлықтай капиталдық шығындарды және жабдықтың ұзақ уақыт жұмыс істемеуін қамтиды. Қатты қорытпадан дәнекерлеу және бүрку арқылы араластырғыштардың жұмыс бетін қалпына келтіру экономикалық және технологиялық тұрғыдан оңтайлы стратегия болып табылады. Бұл тәсіл компонентті жөндеп қана қоймай, сонымен қатар компоненттің қызмет ету мерзімін айтарлықтай арттыратын жаңғырту түрін білдіреді. Қалпына келтіру алдында оның сипаты мен дәрежесін анықтау үшін тозу түрелірінің талдауы жүргізіледі. Қолданылатын материалдың адгезиясын қамтамасыз ету үшін бетін мұқият тазаланады.

Дәнекерлеу (электрлік доға, плазма (РТА), лазер) геометрияны толығымен қалпына келтіретін бірнеше миллиметр қалыңдықтағы қабатты жағуға мүмкіндік береді. Қаптағаннан кейін, бөлшек қажетті өлшемдерге және беткі өңдеуге қол жеткізу үшін соңғы өңдеуден (ұнтақтау, жылтырату) өтеді. Қалпына келтіру құны әдетте жаңа араластырғыштың немесе ауыстырылатын жұмыс элементінің бағасының тек 30-60%-ын құрайды. Қалпына келтірілген қабат көбінесе бастапқы бөлшек материалының тозуға төзімділігінен асады, бұл жөндеу арасындағы аралықты 1,5-3 есеге арттырады.

Қорытынды: Осылайша, араластырғыштардың жұмыс бетін бетін жабу және бүрку әдістерін қолдана отырып қалпына келтіру жай ғана жөндеу операциясы емес, өндірістік активтің сенімділігі мен тиімділігін арттыруға стратегиялық инвестиция болып табылады. Бұл әдіс жабдықтың қызмет ету мерзімін айтарлықтай ұзартады, шығындарды айтарлықтай үнемдеуге және жалпы өндіріс тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Қолданылған әдебиеттер тізімі

1. Rocky DEM. Инженерно-физические расчеты [Электронный ресурс] // URL: <https://rocky-dem.ru/services/engineering/> (дата обращения: 22.02.2026)

## ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ И МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

### Введение

Сегодня невозможно не заметить перемены, происходящие в производственной сфере. Заводы и предприятия работают иначе, чем раньше там, где прежде стоял рабочий у станка, теперь трудятся датчики, камеры и алгоритмы. Машиностроение не осталось в стороне от этого процесса.

Почему? Потому что машиностроение требует точности, скорости и качества одновременно. Поэтому когда говорят о Industry 4.0 (четвёртой промышленной революции) в её центре стоит именно машиностроение.

Что такое трансформация на самом деле?

Многие понимают цифровую трансформацию как покупку новых компьютеров или перевод бухгалтерии в электронный формат. Но это совершенно другое.

Настоящая трансформация - это изменение самой системы мышления предприятия. То есть управление на основе данных: как производится продукт, где возникают дефекты, какое сырьё необходимо, когда изнашивается оборудование. Когда деталь проектируется в САД-системе на экране и этот проект напрямую передаётся на станок, это уже не просто автоматизация, это изменение всей производственной культуры.

На современном заводе оборудование само сообщает о своём состоянии. Выросла температура, усилилась вибрация датчик немедленно подаёт сигнал. Система анализирует данные, предупреждает об аварии заранее и останавливает оборудование для планового ремонта. Раньше такую неисправность замечал только человек и зачастую слишком поздно.

Какие технологии меняют отрасль?

Есть несколько направлений, каждое из которых выполняет свою роль.

Искусственный интеллект ищет закономерности в производственных данных. Например, алгоритм замечает, что при определённом давлении конкретный станок начинает выпускать бракованную продукцию и предупреждает оператора раньше, чем тот сам это обнаружит.

3D-печать кардинально изменила процесс создания прототипов. Если раньше на изготовление образца новой детали уходили недели, теперь достаточно нескольких часов. Это экономит не только время, но и снижает риски: деталь можно проверить до запуска дорогостоящего серийного производства.

Промышленные роботы взяли на себя монотонную и опасную работу. Сварка, покраска, транспортировка тяжёлых деталей всё это теперь выполняют роботы, которые не устают, не болеют и не допускают ошибок. Цифровой двойник - одна из самых интересных инноваций. Создаётся виртуальная копия реального завода или оборудования которую «запускают» на компьютере. Новое технологическое решение сначала тестируется на виртуальной модели и лишь затем внедряется в реальное производство. Такой подход позволяет избежать дорогостоящих ошибок.

Что это даёт бизнесу?

Если обратиться к цифрам, предприятия, успешно прошедшие цифровую трансформацию, сообщают о снижении производственных затрат на 15-30%. Это немало фактически речь идёт об устранении трети издержек.

Но дело не только в деньгах. Сокращаются внезапные остановки оборудования. Качество продукции становится стабильным, поскольку снижается влияние человеческого фактора. Растёт способность выполнять заказы точно в срок.

Трудности тоже существуют. Было бы нечестно рисовать исключительно радужную картину. Предприятие, решившее начать цифровую трансформацию, сразу сталкивается с несколькими серьёзными препятствиями. Прежде всего финансовый вопрос. Оборудование, программные системы, консультанты - начальные вложения могут оказаться весьма значительными. Для малого и среднего бизнеса это реальный барьер.

Вторая проблема люди. Новые системы требуют новых знаний. Говорить о том, что специалист с двадцатилетним стажем работы у станка завтра должен стать аналитиком данных значит преувеличивать. Переподготовка кадров требует и времени и ресурсов.

В-третьих, безопасность данных. Чем больше производство подключается к сети, тем выше киберугрозы. Хакерские атаки с целью остановить работу завода сегодня это реальная угроза, а не теоретическая.

Заключение

Казахстан сделал шаг в этом направлении в 2017 году, приняв государственную программу «Цифровой Казахстан». Эта инициатива заложила основу для адаптации отечественной промышленности к новым технологиям. Однако одной программы недостаточно-конкретный результат зависит от воли руководителей предприятий, открытости инженеров к знаниям и реальной поддержки со стороны государства.

Путь к нему начинается с первого шага.

Список использованных источников:

- 1.Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. – Geneva: World Economic Forum, 2016.
- 2.Brynjolfsson E., McAfee A. The Second Machine Age. – New York: W. W. Norton & Company, 2014.
- 3.McKinsey & Company. Industry 4.0: Reimagining manufacturing operations after COVID-19. – 2020.
- 4.Государственная программа «Цифровой Казахстан». – Астана, 2017.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА РЕМОНТА ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Тяговые электродвигатели широко применяются в различных отраслях промышленности и транспорта, где к ним предъявляются повышенные требования по надежности, энергоэффективности и ресурсу работы. От технического состояния данных машин напрямую зависят стабильность производственных процессов, эксплуатационные затраты и безопасность оборудования. В связи с этим актуальной задачей является повышение эффективности и качества их ремонта.

Практика эксплуатации показывает, что основными причинами выхода тяговых электродвигателей из строя являются износ подшипниковых узлов, разрушение изоляции обмоток, трещины или повреждения изоляции по всей длине выводных проводов обмотки статора, перегрев, разбалансировка ротора, а также механические повреждения элементов конструкции. Существенную роль играет человеческий фактор и несоблюдение технологических регламентов при проведении ремонтных работ. Недостаточный уровень диагностики на ранних стадиях развития дефектов приводит к увеличению объема восстановительных операций и росту материальных затрат.

Повышение эффективности ремонта предполагает внедрение современных методов технической диагностики и контроля состояния оборудования. К таким методам относятся вибрационный анализ, тепловизионный контроль, измерение сопротивления изоляции и коэффициента абсорбции, импульсные методы выявления межвитковых замыканий, а также цифровой мониторинг рабочих параметров двигателя. Комплексное применение указанных методов позволяет своевременно выявлять скрытые дефекты и формировать обоснованные решения по объему ремонтных работ.

Таким образом, комплексный подход к модернизации системы ремонта тяговых электродвигателей, основанный на современных методах диагностики, совершенствовании технологий восстановления и усилении контроля качества, позволяет значительно повысить надежность работы оборудования, продлить срок его службы и снизить эксплуатационные расходы.

*Список литературы:*

1. Лотоцкий К. В. *Электрические машины и основы электропривода.* — М.: Энергия, 1964. — 384 с.
2. Гемке Р. Г. *Неисправности электрических машин.* — М.: Энергия, 1975. — 216 с.
3. Цветков С. А. *Справочник обмотчика асинхронных электродвигателей.* — М.: Энергия, 1983.



## РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ ДЛЯ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В условиях мелкосерийного производства сварка тонкостенных изделий требует сочетания высокой производительности, стабильности геометрии и минимальных затрат на последующую правку. Особую сложность представляют тавровые соединения, где несимметричное распределение тепла способствует короблению и появлению остаточных напряжений.

В настоящей работе рассматривается сварка стали AISI 308 толщиной 3 мм с катетом шва 2 мм двумя способами:

- ручная лазерная сварка на установке Senfeng SF3000HWM 3 kW (волоконный лазер, номинальная мощность 3000 Вт);
- TIG-сварка в среде аргона на источнике Fronius iWave 230i AC/DC.

Основной тезис исследования заключается в том, что лазерная сварка обладает значительным потенциалом для мелкосерийного производства, однако требует точной настройки режимов при выполнении двусторонних тавровых соединений для исключения деформаций.

Работы по оптимизации импульсной лазерной сварки аустенитных сталей подтверждают зависимость глубины проплавления и геометрии шва от удельного тепловложения  $Q = P/v$  и скорости охлаждения, достигающей 1500–2500 °C/с [2].

Удельное тепловложение (Дж/мм) определяется по формуле (1):

$$Q = P/v, \quad (1)$$

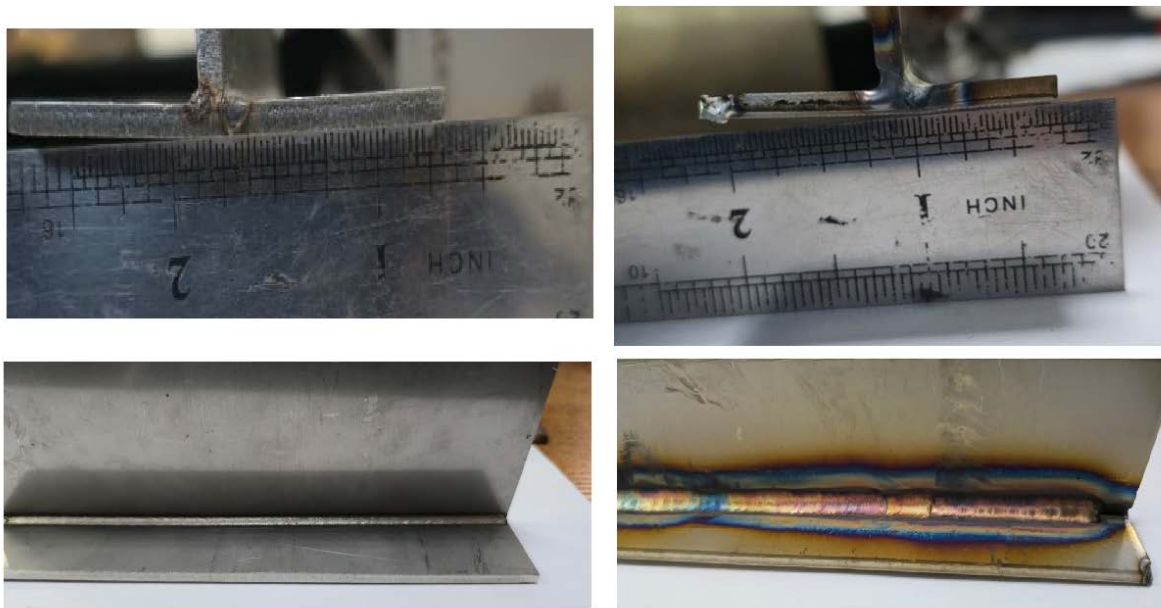
где  $P$  – мощность, Вт;

$v$  – скорость сварки м/мин.

Данные исследования подтверждают необходимость строгого баланса мощности и скорости при сварке нержавеющей сталей толщиной 2–3 мм. Лазерная сварка показала значительно более узкую ЗТВ и меньшую тепловую нагрузку, однако при выполнении шва с двух сторон возникло накопление остаточных напряжений, вызвавшее изгиб конструкции.

Лазерная сварка обеспечивает сокращение времени выполнения шва в 8 – 10 раз, что существенно повышает экономическую эффективность мелких партий. Однако чувствительность процесса к отклонениям скорости и зазора требует более тщательной настройки параметров и применения фиксаторов.

Выполненные сварные соединения представлены на Рисунке 1.



а

б

Рисунок 1 – Сварные соединения, выполненные лазерной (а) и TIG (б) сваркой

Проведённый сравнительный анализ показал, что при сварке таврового соединения из стали AISI 308 толщиной 3 мм с катетом 2 мм.

Однако при двусторонней лазерной сварке полностью избежать деформаций не удалось. Вероятной причиной является накопление остаточных напряжений из-за высокой концентрации энергии и асимметричного теплового цикла.

Таким образом, лазерная сварка обладает значительным потенциалом для мелкосерийного производства изделий из стали AISI 308, однако достижение минимальных деформаций при тавровых соединениях требует дальнейшей оптимизации режимов и баланса тепловложения.

*Список использованных источников*

1. Крылова Н. Н., Иванов А. А., Петров С. В. Роботизированная лазерная сварка тонкостенных изделий из жаропрочных сплавов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2020. – Т. 24. – № 6. – С. 115–123. – URL: <https://izdat.istu.ru/index.php/vestnik/article/view/4527> (дата обращения: 01.02.2026).

## ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ В СОВРЕМЕННОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

Трансформация машиностроительного сектора в парадигме Индустрии 4.0 обусловлена формированием единого цифрового ландшафта, интегрирующего стадии конструирования, производства и менеджмента. Применение инструментов инженерного анализа (CAD/CAE/CAM) позволяет перейти к концепции виртуального прототипирования, исключая необходимость в создании дорогостоящих натуральных образцов.

Согласно отчетным данным за 2023–2024 гг., внедрение методов цифровой имитации обеспечило сокращение цикла R&D на 20–30%, снизив при этом издержки на верификацию изделий на 25%. На уровне операционного управления внедрение PLM-платформ гарантирует целостность технической документации и прозрачность контроля производственных циклов.

Опыт эксплуатации подобных систем подтверждает их эффективность: время на согласование документации сократилось на 30%, а количество технологических дефектов снизилось в среднем на 20%. Одним из ключевых индикаторов цифровой зрелости остается уровень роботизации. Мировая статистика фиксирует экспоненциальный рост: с 384 тыс. единиц в 2020 году до 553 тыс. в 2023 году. Ожидается, что к 2025 году объем инсталляций превысит 630 тыс. единиц при сохранении стабильного среднегодового темпа роста в пределах 8–10%.

Внедрение технологии цифровых двойников (Digital Twins) в производственные циклы обеспечивает снижение затрат на этапе проектирования на 20–30 % и позволяет минимизировать риск возникновения критических ошибок при вводе систем в эксплуатацию. Синергия с алгоритмами больших данных (Big Data) дает возможность оптимизировать загрузку мощностей, повышая общую эффективность оборудования (OEE) на 12–18 %. Параллельно с этим, использование аналитических платформ на базе машинного обучения позволяет трансформировать цепочки поставок, сокращая логистические издержки на 15 %.

Цифровые технологии в современных условиях выступают важнейшим инструментом повышения эффективности машиностроительного производства. В 2020–2025 гг. развитие отрасли характеризуется активным внедрением автоматизированных систем управления, ростом уровня роботизации и расширением применения технологий обработки и анализа производственных данных.

Интеграция цифровых решений в производственные процессы способствует оптимизации загрузки оборудования, сокращению времени

простоев и снижению доли дефектной продукции. Использование систем мониторинга в реальном времени, элементов промышленного интернета вещей и цифрового моделирования обеспечивает повышение прозрачности технологических операций и оперативность управленческих решений.

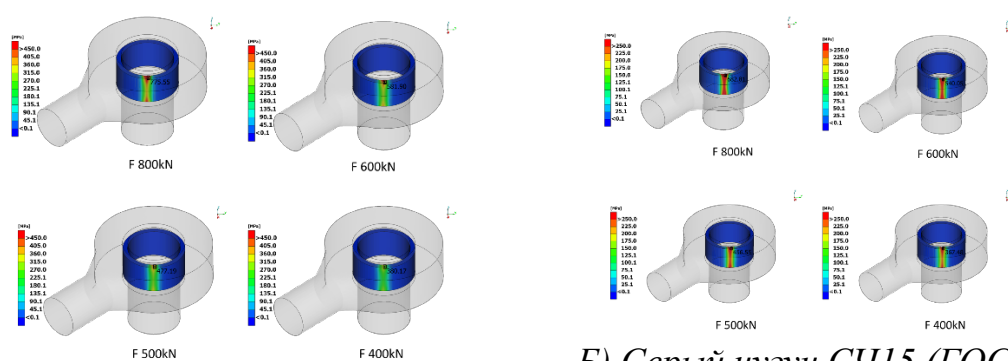
В результате цифровая трансформация создает предпосылки для роста производительности труда, снижения издержек и укрепления конкурентных позиций машиностроительных предприятий в условиях динамично развивающейся промышленной среды.

#### Список использованных источников

1. Schwab, K. The Fourth Industrial Revolution. – Geneva : World Economic Forum, 2020. – 198 p.
2. International Federation of Robotics. World Robotics Report 2024. – Frankfurt am Main : IFR, 2024. – 120 p.
3. World Economic Forum. Advanced Manufacturing and Value Chains Report 2025. – Geneva : World Economic Forum, 2025. – 150 p.
4. Groover, M. P. Automation, Production Systems and Computer-Integrated Manufacturing. – 5th ed. – Harlow : Pearson, 2021. – 816 p.

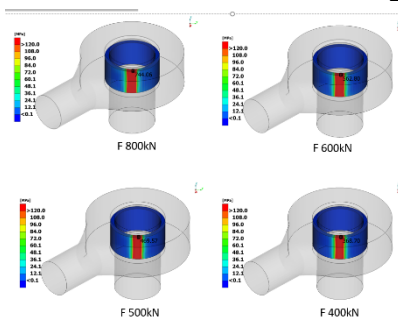
## КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ РЫЧАЖНО-ШАРНИРНОГО МЕХАНИЗМА СИСТЕМЫ ТОРМОЗА ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ

Подъемные установки широко применяются в горнодобывающей промышленности, строительстве и энергетике. Их надежная работа напрямую зависит от эффективности тормозных систем, которые обеспечивают безопасность персонала и оборудования. Важнейшим элементом тормозного устройства является рычажно-шарнирный механизм, который передает усилие от привода к тормозным колодкам и обеспечивает равномерное распределение нагрузок.



А) Сталь 45

Б) Серый чугун СЧ15 (ГОСТ 1412-85)



В) Железо-графит

Рисунок 1 – Результаты статического анализа узла из полимербетона  
Цель данного анализа — провести комплексное исследование состояния рычажно-шарнирного механизма тормозной системы подъемной установки, выявить основные проблемы эксплуатации, оценить надежность конструкции и предложить методы модернизации.

Тормозные системы подъемных установок играют ключевую роль в обеспечении безопасности эксплуатации. Центральным элементом этих

систем является рычажно-шарнирный механизм, который передает усилие от привода к тормозным колодкам и обеспечивает равномерное распределение нагрузок. Его надежность определяет эффективность торможения и долговечность всей установки.

Анализ напряженно-деформированного состояния показывает прямую линейную зависимость между величиной приложенной нагрузки и уровнем возникающих эквивалентных напряжений во всех исследуемых материалах. При максимальной силе в 800 кН значения напряжений по Мизесу достигают пиковых отметок: 775 МПа для Стали 45, 682 МПа для чугуна СЧ15 и 744 МПа для железо-графита. Снижение нагрузки до 400 кН приводит к пропорциональному уменьшению напряжений примерно в два раза, до уровня 367–380 МПа, что подтверждает стабильность расчетной модели. Сравнительный анализ прочности выявляет критическое превышение пределов текучести для всех типов материалов. Наиболее опасная ситуация наблюдается для железо-графита и чугуна СЧ15, где расчетные напряжения (744 МПа и 682 МПа) многократно превышают допустимые значения 120 МПа и 250 МПа соответственно. Даже для Стали 45, обладающей наибольшим пределом текучести в 450 МПа, напряжения при нагрузках свыше 500 кН выходят за границы упругой деформации.

*Список использованных источников*

1. Taranu, G.; Iacob, S.; Taranu, N. Buckling Behavior of Perforated Cold-Formed Steel Uprights: Experimental Evaluation and Comparative Assessment Using FEM, EWM, and DSM. *Buildings* 2025, 15, 1561. DOI:10.3390/buildings15091561
2. Muiruri, A.; Maringa, M.; Preez, W.d. Numerical Simulation of High Strain Rate and Temperature Properties of Laser Powder Bed Fusion Ti6Al4V(ELI) Determined Using a Split Hopkinson Pressure Bar. *Materials* 2022, 15, 1872. <https://doi.org/10.3390/ma15051872>

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОМОЛОТА ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Интеллектуализация навесного ударного оборудования является важным направлением развития современной горнодобывающей и строительной техники. Применение цифровых технологий и автоматизированных систем управления позволяет повысить эффективность разрушения горных пород, снизить износ оборудования и повысить уровень промышленной безопасности.

Гидромолот представляет собой гидромеханическую систему, преобразующую энергию рабочей жидкости в кинетическую энергию бойка, передаваемую инструменту и далее породному массиву. Такое оборудование применяется при демонтаже сооружений, разработке горных пород, рытье траншей, выполнении фундаментных работ и разрушении асфальтовых покрытий. Эффективность работы гидромолота определяется не только величиной ударной энергии, но и согласованием частоты ударов, амплитуды и временных характеристик импульса с физико-механическими свойствами разрушаемого материала [1].

| Параметр         | Обозначение | Ед.Изм. | Легкий класс | Средний класс | Тяжелый класс |
|------------------|-------------|---------|--------------|---------------|---------------|
| Масса молота     | m           | Кг      | 300          | 1200          | 3500          |
| Рабочее давление | P           | МПа     | 12-15        | 15-18         | 18-20         |
| Расход масла     | Q           | л/мин   | 40-70        | 90-150        | 180-250       |
| Энергия удара    | E           | Дж      | 800          | 3500          | 9000          |
| Частота ударов   | n           | Уд/мин  | 600-1200     | 400-800       | 300-600       |

Таблица 1 – Технические параметры и расчётные показатели гидромолотов

Современные гидромолоты переходят к мехатронной архитектуре управления. В их конструкции используются датчики давления, температуры и ускорения, позволяющие контролировать рабочие параметры оборудования в режиме реального времени. Полученные данные обрабатываются электронными системами управления, которые автоматически регулируют режим работы гидромолота. Подобные решения

применяются ведущими производителями оборудования, такими как Epiroc, Indeco, Montabert и Rammer. Их системы позволяют изменять частоту и энергию ударов в зависимости от сопротивления разрушаемого материала, что повышает производительность оборудования и снижает износ его элементов [2].

Важным элементом современных гидромолотов является система автоматической смазки. Одним из примеров является самовсасывающий насос ContiLube, обеспечивающий дозированную подачу смазочного материала в рабочую зону инструмента. Использование автоматической смазки сокращает время технического обслуживания и уменьшает вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором. Точная подача смазки предотвращает её недостаток или избыток, что положительно влияет на срок службы рабочих элементов гидромолота и снижает эксплуатационные затраты [3].

Для повышения надежности оборудования применяются системы защиты от пыли и загрязнений. Одним из таких решений является пылезащитный экран DustProtector, который уменьшает попадание абразивных частиц во внутренние механизмы гидромолота. Плавающее кольцо выполняет функцию первичной очистки, удаляя крупные фрагменты разрушенного материала, а щёточный элемент обеспечивает более тонкую очистку и предотвращает проникновение мелкодисперсной пыли во внутренние узлы оборудования. Это способствует снижению износа деталей и увеличению срока службы гидромолота [4].

Дополнительно для снижения запыленности рабочей зоны применяются системы подавления пыли с использованием воды и воздуха. Вода подается по специальному каналу внутри корпуса молота и распыляется в зоне удара, что позволяет связывать пыль и уменьшать её распространение в воздухе. В некоторых моделях также используется подача воздуха для удаления мелких частиц разрушенного материала из зоны работы инструмента.

Таким образом, современные гидромолоты постепенно трансформируются из механических устройств в интеллектуальные мехатронные системы. Использование адаптивных систем управления, автоматической смазки, пылезащиты и дистанционного мониторинга позволяет повысить эффективность работы оборудования, увеличить его ресурс и снизить эксплуатационные затраты [1–4].

Список использованных источников

- 1.Epiroc. Digital solutions for mining equipment (HATCON™, Intelligent Breakers) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.epiroc.com> – Дата обращения: 09.03.2026.
- 2.Rammer. RD3 remote monitoring system for hydraulic hammers [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rammer.com> – Дата обращения: 09.03.2026.
- 3.Montabert. Variable speed technology (VST) in hydraulic breakers [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.montabert.com> – Дата обращения: 09.03.2026.
- 4.Indeco. HP series – automatic energy regulation and anti-blank firing system [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.indeco.it> – Дата обращения: 09.03.2026.



## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛАЗМЕННОЙ И ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Развитие машиностроительного производства сопровождается усложнением конструкций и ростом требований к эксплуатационной надежности соединений, воспринимающих термические, механические и циклические нагрузки. Особую значимость приобретает обеспечение стабильных характеристик сварных швов при изготовлении изделий из цветных металлов, прежде всего меди и алюминия. Эти материалы широко применяются в электротехнических узлах, теплообменных системах, силовых элементах и корпусных деталях, где совмещаются требования к прочности, теплопроводности и коррозионной стойкости.

Медь и алюминий широко применяются в машиностроительных конструкциях и оборудовании. Но при использовании традиционных методов дуговой сварки возникают технологические ограничения, связанные с физико-химическими свойствами цветных металлов. Высокая теплопроводность меди приводит к интенсивному отводу тепла из зоны сварки - это затрудняет поддержание стабильной сварочной ванны и требует увеличенного тепловложения. Алюминий, в свою очередь, склонен к образованию плотной оксидной пленки и активному поглощению водорода в жидком состоянии, что повышает вероятность формирования пористости при кристаллизации. В результате процесс сварки сопровождается повышенной дефектностью - структурной неоднородностью, локальными концентрациями и снижением ресурса изделий.

Практика показывает, что управление тепловыми процессами при дуговой сварке ограничено геометрией дуги и параметрами тока, вследствие чего зона термического влияния может распространяться на значительную часть материала - это особенно критично для тонкостенных деталей, работающих в условиях вибрации, перепадов температур. Формирование дефектов - таких как пористость, горячие трещины и непровары - напрямую связано с нестабильностью теплового режима и металлическими процессами в расплаве.

В этих условиях применение высокоэнергетических источников тепла представляет собой технологически обособленное направление развития сварочного производства. Концентрированное тепловое воздействие позволяет локализовать процесс плавления, сократить объем расплавленного металла и повысить воспроизводимость режимов.

Анализ технологических процессов демонстрирует, что использование дуговой сварки не всегда позволяет эффективно управлять тепловыми процессами в зоне сварного шва. Значительная зона термического влияния

и нестабильность сварочной ванны приводят к образованию таких дефектов, как пористость, трещины и структурная неоднородность - все это снижает эксплуатационные характеристики изделий машиностроения. В связи с этим целесообразно рассматривать применение высокоэнергетических методов сварки, что обеспечит локализованное тепловое воздействие и повышенную воспроизводимость технологических параметров.

Плазменная сварка характеризуется концентрированным тепловым потоком и возможностью регулирования состава плазмообразующей среды, что создает условия для устойчивого формирования сварочной ванны и снижения уровня окисления металла. Использование водородосодержащей плазмы способствует частичному восстановлению оксидных включений и улучшению чистоты металла сварочной ванны. Это снижает количество неметаллических включений и повышает однородность структуры в сварном шве. Так же уменьшение области зоны термического влияния способствует снижению остаточных напряжений и деформаций.

Лазерная сварка обладает еще более высокой концентрацией энергии в зоне воздействия. Узкий фокус лазерного луча обеспечивает глубокое проплавление при минимальном нагреве прилегающих участков материала. Применение лазерного излучения в качестве источника энергии позволяет существенно сократить размеры зоны термического влияния и локализовать процессы плавления металла в узких пределах сварного соединения. Импульсные режимы лазерной сварки обеспечивают управляемость процессов кристаллизации и снижают вероятность образования газовых пор и горячих трещин. Это делает лазерную сварку перспективной технологией при изготовлении тонкостенных и ответственных элементов машиностроительных конструкций.

Использование плазменной и лазерной сварки в машиностроении может быть рассмотрено как эффективный инструмент повышения качества и надежности сварных соединений, а также оптимизации производственных процессов в условиях цифровизации промышленности.

На основании изложенных данных можно сделать следующие выводы:

1. Сварка цветных металлов в машиностроении требует применения технологий с высокой управляемостью тепловых процессов.
2. Плазменная сварка обеспечивает устойчивость формирования сварных соединений и снижение дефектности.
3. Лазерная сварка позволяет уменьшить зону термического влияния и повысить точность изготовления изделий.

## «МЭЙКЕР» ЖШС ӨНДІРІСТІК ЖАРАҚАТТЫ ТАЛДАУ БОЙЫНША ШАРАЛАР ӨЗІРЛЕУ

Соңғы бес жылдағы өндірістік жарақаттану бойынша «Мэйкер» ЖШС-де барлығы 6 сәтсіз оқиға тіркелген. Атап айтқанда, 2020 және 2021 жылдары әрқайсысында 2 сәтсіз оқиға орын алды. 2022 жылы өндірісте ешқандай жарақат немесе сәтсіз оқиға тіркелмеген. Ал 2023 және 2024 жылдары бір-бір сәтсіз оқиғадан тіркелді.

Жалпы статистика негізінде байқауға болады, 2020 - 2021 жылдары сәтсіз оқиғалардың жиілеуі байқалса, 2022 жылы көрсеткіш нөлге дейін төмендеген. Алайда келесі жылдары 2023 және 2024 жылдары - өндірістік жарақаттар қайта тіркеле бастады, бұл қауіпсіздік талаптарының әлсіреуін немесе қауіп-қатер факторларының қайта пайда болуын білдіруі мүмкін.

Әр түрлі жас ерекшелігіндегі жұмысшылардың өндірісте жарақат алуы бұл кездейсоқ жағдай емес, керісінше әр жас тобына тән бірқатар факторлардың нәтижесі болып табылады. Төменде 2020-2024 жылдар аралығында «Мэйкер» ЖШС-де тіркелген сәтсіз оқиғаларға жасалған талдауды кеңірек түсіндірілуі:

1) Үлкен жастағы қызметкерлер арасында жарақаттану себептері (1963-1982 ж.т.): 2020 және 2021 жылдары болған сәтсіз оқиғаларға қатысқан жұмысшылардың басым бөлігі 40 жастан асқан азаматтар. Бұл жас топтарында келесі ерекшеліктер байқалады. Физикалық мүмкіндіктердің төмендеуі. Уақыт өте келе адамның көру қабілеті, есту сезімі және қозғалыс үйлесімділігі әлсірей бастайды. Мұндай жағдайлар өндірістегі қауіпті жағдайларды дер кезінде байқауға кедергі келтіреді. Шаршағыштықтың артуы. Адам жасы ұлғайған сайын физикалық және психологиялық тұрғыда тез шаршайды, бұл жұмысқа деген зейін мен назардың төмендеуіне әкелуі мүмкін. Тәжірибеге тым сену. Ұзақ жылдар жұмыс істеген жұмысшылар өз тәжірибесіне арқа сүйеп, кейбір қауіпсіздік талаптарын елемей, оларды формалды түрде қабылдауы мүмкін. Мысалы, қорғаныс көзілдірігін кимеу, жұмыс орнын толық тексерместен әрекетке көшу секілді жағдайлар соған мысал;

2) Орта жастағы қызметкерлер арасындағы жарақаттану себептері (1975-1995 ж.т.): бұл санаттағы жұмысшылар - әдетте белсенді еңбек жасындағылар. Оларда жұмыс тәжірибесі жеткілікті болғанымен, кейде келесі мәселелер орын алуы мүмкін. Жұмысқа деген немқұрайлық. Орта жастағы мамандар арасында қауіпсіздікке мән бермеу немесе жарақат менімен болмайды деген қате сенім жиі кездеседі. Жоғары жұмыс қарқыны

мен асығыстық. Берілген тапсырманы жылдам орындауға ұмтылу кезінде жұмысшы кейде өз қауіпсіздігін екінші орынға ысырып қояды;

3) Жас қызметкерлердің жарақаттану себептері (2003 ж.т.): 2024 жылы болған сәтсіз оқиғаға 2003 жылы туған жас жұмысшының қатысуы, жастар арасында да тәуекел деңгейі бар екенін көрсетеді. Мұндай жас мамандар келесі себептерге байланысты жарақат алуы мүмкін. Тәжірибе мен машықтың жетіспеушілігі.

5 жылда «Мэйкер» ЖШС-де тіркелген 6 сәтсіз оқиғаның ішіндегі жарақат алған қызметкерлердің жас ерекшеліктеріне талдау 1 - суретте диаграмма түрінде көрсетілген.



Сурет 1 - Жарақаттану көрсеткіштерін жас айырмашылығы

Жарақаттануды есептеу

Жарақаттанудың жиілік коэффициенті ( $K_{ж}$ ) деп - белгілі бір есептік кезеңде бір мың жұмыскерге шаққандағы жазатайым оқиғалардың санын айтады. Бұл көрсеткіш келесі формула бойынша есептеледі:

$$K_{ж} = \frac{C}{Ж} \times 1000, \quad (1)$$

мұндағы  $C$  - белгілі бір кезеңдегі жазатайым оқиғалар саны;

$Ж$  - осы кезеңдегі жұмысшылардың орташа саны.

Бұл коэффициент өндірістегі еңбек қауіпсіздігінің деңгейін бағалау үшін қолданылады және қауіп-қатерді талдауда маңызды рөл атқарады.  $K_{ж}$  көрсеткіші неғұрлым жоғары болса, өндірістегі еңбек жағдайларының соншалықты қауіпті екенін білдіреді.

Қолданылған әдебиеттер тізімі

1. ҚР Еңбек кодексі 2015 жылы 23 қараша
2. ТОО «Maker» (КЛМЗ) - опыт внедрения 1С: ТОИР // 1С ТОИР.
3. ИНСТРУКЦИЯ №1 по безопасности и охране труда для работников Maker-ОПБ, ОТu3-И-1-2024
4. ИНСТРУКЦИЯ №38 по безопасности и охране труда для электромонтеров связи и АТС Maker-ОПБ, ОТu3-И-38-2024 Версия 1

## ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ: СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕНДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

В условиях глобализации и стремительного развития технологий логистика перестает быть просто вспомогательной функцией бизнеса, превращаясь в ключевой фактор конкурентоспособности. Традиционные модели, основанные на управлении материальными активами, уступают место «логистике данных», где эффективность определяется способностью обрабатывать информацию и анализировать большие массивы данных [1]. Цифровая трансформация транспортно-логистической деятельности представляет собой объективный процесс, охватывающий все звенья цепи поставок: от прогнозирования спроса до «последней мили». Целью данной работы является анализ ключевых направлений цифровизации логистики и оценка их влияния на эффективность отрасли.

Современная цифровизация логистики базируется на внедрении комплекса взаимодополняющих технологий. Фундаментальную роль играют системы управления складом (WMS) и транспортом (TMS). WMS-системы позволяют автоматизировать процессы приемки, хранения и отгрузки товаров, достигая точности выполнения заказов до 99,9% за счет интеграции с роботизированными комплексами и исключения человеческого фактора при учете [2]. TMS-системы, в свою очередь, оптимизируют маршруты с учетом дорожной обстановки и погодных условий, что позволяет сократить расход топлива и время в пути [3].

Вторым важнейшим направлением является внедрение технологий Интернета вещей (IoT) и искусственного интеллекта (ИИ). IoT-датчики обеспечивают мониторинг грузов в режиме реального времени, контролируя температуру, влажность и местоположение, что критически важно для фармацевтики и продуктов питания [2]. ИИ и машинное обучение используются для прогнозирования спроса и предиктивной аналитики: например, алгоритмы Amazon анализируют миллиарды транзакций, чтобы заранее перемещать товары на склады, приближенные к покупателю [4]. Электронный документооборот (ЭДО) становится стандартом отрасли, ускоряя оформление перевозок и снижая административные издержки, как это демонстрирует опыт компании «Деловые Линии», где время оформления документов сократилось на 50% [3].

Особого внимания заслуживает концепция цифровых двойников (digital twins) — виртуальных копий реальных логистических объектов и процессов. Создание цифровых двойников складов или транспортных сетей

позволяет моделировать различные сценарии без остановки реальных операций, выявлять узкие места и оптимизировать загрузку мощностей. Данная технология, активно развиваемая в рамках Индустрии 4.0, дает возможность сократить издержки на этапе проектирования и повысить эффективность действующих систем [5]. Параллельно развиваются блокчейн-платформы для обеспечения прозрачности транзакций и неизменности данных при международных перевозках, что особенно актуально для снижения рисков мошенничества и упрощения таможенных процедур [5].

Экономические эффекты от цифровизации носят комплексный характер. Исследования показывают, что внедрение WMS и TMS позволяет сократить операционные затраты на 20-30%, повысить производительность склада и увеличить оборачиваемость запасов [2]. Помимо прямой экономии, цифровизация обеспечивает качественные изменения: прозрачность цепочек поставок для всех участников и повышение лояльности клиентов за счет точного соблюдения сроков [4].

Однако процесс цифровой трансформации сопряжен с рядом вызовов. К ним относятся высокие инвестиционные риски, необходимость обеспечения кибербезопасности и дефицит квалифицированных кадров, способных работать с новыми системами [1]. Кроме того, как показывает практика, простое внедрение «модной» технологии без адаптации к конкретным бизнес-процессам компании не дает желаемого эффекта. Успех цифровизации требует комплексного подхода, включающего перестройку организационной структуры и переподготовку персонала [5].

Таким образом, цифровизация логистической деятельности является не краткосрочным трендом, а стратегической необходимостью. Переход к киберфизическим системам и интегрированным платформенным решениям (модели 6PL–10PL) формирует основу для создания устойчивых и эффективных цепочек поставок будущего [5]. Для стран, находящихся на пересечении транспортных коридоров, развитие национальных цифровых платформ и интеграция с глобальными логистическими экосистемами открывают окно возможностей для качественного рывка в развитии отрасли [1].

*Список использованных источников:*

1. Каплан Э. *От вагонов к нейросетям: куда движется мировая логистика* // РЖД-Партнер. – 2025. – 6 окт. – С. 3.
2. Долбня Н.В., Карманов Н.А. *Проектирование системы логистического сервиса: теоретический аспект* // Научно-экономический журнал. – 2025. – С. 15-20.
3. Позднева В.А. *Цифровая трансформация логистики: новые инструменты для бизнеса* // Молодой ученый. – 2025. – № 51 (602). – С. 267-269.
4. Захаров М. *Цифровая трансформация в логистике: как технологии меняют отрасль* // РБК Компании. – 2025. – 3 окт.
5. Дмитриев А.В. и др. *Цифровизация транспортно-логистического сектора в контексте устойчивого развития* // Риск: онлайн. – 2025. – № 3. – С. 45-52.

## КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПОГРУЗОЧНОЙ ТЕХНИКИ CATERPILLAR

Эффективность функционирования предприятий, особенно в ресурсодобывающем секторе Республики Казахстан, критически зависит от бесперебойной работы парка тяжелой погрузочной техники. Колесные погрузчики Caterpillar, эксплуатируемые в условиях значительных динамических нагрузок и абразивных сред, подвержены ускоренной деградации узлов и агрегатов. Настоящее исследование направлено на выявление «узких мест» в текущей системе обслуживания на основе анализа актов технической экспертизы машин, поступивших на капитальный ремонт в сервисные центры ТОО ИП «Борусан Макина Казахстан», с целью разработки научно обоснованных рекомендаций по оптимизации стратегий ТОиР [1].

Исследование базируется на углубленном техническом анализе дефектовочных актов и отчетов технической экспертизы погрузочной техники Caterpillar. Основными объектами анализа стали рамные конструкции колесных погрузчиков, по которым были составлены акты технической экспертизы. Применялись методы детальной инспекции, метрологического контроля и сравнительного анализа для выявления закономерностей в распределении дефектов и определения причин их возникновения [3-5].

Комплексный анализ выявил, что основным «узким местом», лимитирующим ресурс погрузочной техники Caterpillar до капитального ремонта, является механический износ посадочных мест рамных конструкций и сопряженных с ними элементов.

Зафиксированы значительные отклонения от номинальных размеров внутренних диаметров проушин крепления гидроцилиндров подъема стрелы передней полурамы, достигающие критических величин. Пальцы крепления гидроцилиндров демонстрируют характерные признаки адгезионного износа, сопровождающегося локальным разрушением хромированного покрытия и износом наружного диаметра. Невозможность демонтажа пальцев методом прессования (при давлении свыше 70 000 кПа) и необходимость применения термического метода (выжигания) подтверждают высокую степень адгезионного схватывания и пластической деформации сопрягаемых элементов [1, 2].

Аналогичные проблемы выявлены в проушинах крепления рулевых гидроцилиндров как передней, так и задней рамы, с отклонениями внутренних диаметров, достигающими значительных значений.

Повреждения пальцев крепления рулевых цилиндров включают износ хромового покрытия, следы адгезионного износа и очаги коррозионного поражения поверхности. Наличие коррозионных повреждений указывает на воздействие неблагоприятных эксплуатационных факторов, таких как повышенная влажность, загрязнение и недостаточная эффективность смазывания. Совокупность этих дефектов свидетельствует о прогрессирующем износе соединения и снижении его эксплуатационной надёжности [1].

Выявленные дефекты обусловлены комплексным воздействием следующих групп факторов:

- Геолого-климатические факторы.
- Режимы нагружения [1].
- Технологические факторы обслуживания: Задержки в проведении промежуточных инспекций (ТА1/ТА2) [4].

Вывод: Комплексный анализ актов технической экспертизы погрузочной техники Caterpillar подтверждает, что механический износ посадочных мест рамных конструкций является основным фактором, лимитирующим ресурс до капитального ремонта. Несмотря на совершенство электронных систем мониторинга, физическая деградация шарнирных сопряжений остается доминирующим фактором снижения эксплуатационной надёжности. Переход от жесткого регламентного обслуживания к гибридной модели, учитывающей фактическую геометрию критических узлов и интегрирующей предиктивные методы, позволит существенно сократить объемы восстановительных работ при капитальном ремонте и повысить КТГ парка погрузочной техники. Реализация предложенных мероприятий способствует оптимизации операционных затрат и увеличению производительности в горнодобывающем секторе Республики Казахстан [1].

Список использованных источников:

1. Герасимов, А. С. анализ действующей системы технического обслуживания в ТОО «Борусан Макина Казахстан» / А. С. Герасимов, И. В. Телиман, И. И. Ерахтина // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горно-шахтного и нефтепромыслового оборудования : Материалы XI Международной научно-практической конференции, Пермь, 11–13 ноября 2025 года. – Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2025. – С. 23–30.
2. Mobley, R. K. Maintenance Engineering Handbook. 8th Edition, McGraw-Hill Education, 2014.
3. Caterpillar. Large Wheel Loaders: 980L Specalog (AEHQ7895-02). URL:[https://www.tractors.com.sg/images/product/Machine/Wheel\\_Loaders/980L/980L\\_Specalog\\_-\\_AEHQ7895-02.pdf](https://www.tractors.com.sg/images/product/Machine/Wheel_Loaders/980L/980L_Specalog_-_AEHQ7895-02.pdf).
4. Dhindsa, G. S. Predictive Maintenance of Mining Equipment. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 2023.
5. S.O.S. Services. Fluid Analysis for Equipment Management. Caterpillar Training Materials, 2024.



## ЗАМАНАУИ МАШИНАЖАСАУДАҒЫ ИННОВАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

Қазіргі таңдағы өнеркәсіптік кешендердің бейнесі түбегейлі өзгеріске ұшырады. Машина жасау индустриясы бұрынғы механикалық өңдеу деңгейінен шығып, жоғары деңгейлі интеллектуалды экожүйеге айналууда. Бұл процестің қозғаушы күші ретінде өндірістің әрбір сатысына енген цифрлық трансформацияны айтуға болады. Бүгінде зауыттардың тиімділігі тек құрал-сайманның сапасымен емес, деректерді өңдеу және талдау қабілетімен өлшенеді.

Өндірістік процестерді басқарудағы ең елеулі жаңалықтардың бірі – жабдықтардың өзара ақпарат алмасу мүмкіндігі. Заманауи кәсіпорындарда қолданылатын датчиктер мен сенсорлық желілер өндіріс желісінің «жүйке жүйесі» іспетті. Олар кез келген ауытқуды қас қағым сәтте анықтап, апаттық жағдайлардың алдын алады. Осыған ұштасатын «виртуалды модельдеу» әдісі инженерлерге нақты өнімді шығармас бұрын оның цифрлық прототипін жасауға жол ашты.

Бұл тәсіл арқылы құрастыру кезеңіндегі шығындарды айтарлықтай қысқартуға және техникалық сипаттамаларды мінсіз деңгейге жеткізуге мүмкіндік туды.

Материалды өңдеу парадигмасы да үлкен өзгеріске ұшырады. Дәстүрлі жону мен кесу әдістерінің орнын біртіндеп «өсіру» технологиялары басып келеді. Металл ұнтақтарынан күрделі геометриялық пішіндерді қабаттап жасау әдісі бұрын шешімі қиын болған инженерлік тапсырмаларды жеңілдетті. Бұл технология әсіресе аэроғарыш саласындағы бөлшектерді жеңілдету мен беріктігін арттыруда таптырмас құралға айналды. Шикізаттың тиімді жұмсалуды мен қалдықтардың азаюы бұл бағыттың экономикалық артықшылығын айқындай түседі.

Робототехника саласындағы ілгерілеу де машина жасаудың жаңа қырын ашты. Егер бұрын роботтар адамнан оқшауланған кеңістікте жұмыс істесе, бүгінгі таңда «ақылды» манипуляторлар жұмысшымен тікелей байланысқа түсе алады. Жасанды интеллектпен жарақтандырылған бұл жүйелер өзін-өзі оқыту қабілетіне ие. Олар тек механикалық жұмысты орындап қоймай, дайын өнімнің сапасына сараптама жасап, стандартқа сай еместерін автоматты түрде іріктейді. Мұндай қадам өндірістегі «адами фактор» тудыратын қателіктерді толықтай жоюға бағытталған.

Сонымен қатар, материалтанудағы жетістіктер машина жасаудың экологиялық сипатын күшейтті. Жаңа буынды композиттер мен жеңіл қорытпалар машиналардың қуатын сақтай отырып, олардың салмағын едәуір азайтуға мүмкіндік береді.

Бұл, өз кезегінде, энергия ресурстарын үнемдеуге және қоршаған ортаға келетін зиянды азайтуға септігін тигізеді. Тұрақты даму принциптеріне негізделген мұндай технологиялық шешімдер болашақ машина жасау саласының басты бағдары болып қала бермек. Заманауи цехтардағы жұмыс күшінің сипаты да өзгерді.

Бүгінде қарапайым механикалық роботтардың орнына когнитивті қабілеті бар коботтар (коллаборативті роботтар) келді. Олар жасанды интеллект алгоритмдеріне сүйене отырып, адаммен қауіпсіз әрі тиімді жұмыс істей алады. Компьютерлік көру технологиясы бөлшектердің сапасын бақылауда мүлтіксіз дәлдікті қамтамасыз етіп, өндірістік ақаулардың санын минималды деңгейге дейін түсірді.

Машина жасаудағы тағы бір маңызды бағыт – автоматтандырылған жобалау және инженерлік талдау жүйелері. CAD (Computer-Aided Design) және CAE (Computer-Aided Engineering) бағдарламалары инженерлерге күрделі механизмдердің құрылымын жоғары дәлдікпен жобалауға мүмкіндік береді. Бұл жүйелерде виртуалды сынақтар жүргізіліп, материалдардың беріктігі, термиялық әсерлер мен механикалық жүктемелерге төзімділігі алдын ала есептеледі. Осындай цифрлық модельдеу әдістері өнімді нарыққа шығару уақытын қысқартып, өндіріс шығындарын азайтады.

Сонымен қатар, өндірісте жасанды интеллект пен машиналық оқыту технологиялары кеңінен қолданылып келеді. Бұл жүйелер үлкен көлемдегі өндірістік деректерді талдап, жабдықтардың болашақтағы ақауларын алдын ала болжай алады. Мұндай тәсіл «predictive maintenance» деп аталады, яғни болжамды техникалық қызмет көрсету. Оның басты артықшылығы – қымбат жабдықтардың күтпеген жерден істен шығуын болдырмау және өндірістің үздіксіз жұмысын қамтамасыз ету.

Осылайша, заманауи машина жасау – бұл тек техникалық сала ғана емес, ғылым, цифрлық технологиялар және инновациялық ойлау тоғысқан күрделі жүйе. Оның дамуы әлемдік экономиканың ілгерілеуіне ықпал етіп, өндірістің жаңа сапалық деңгейге көтерілуіне негіз қалайды.

Пайдаланылған әдебиеттер

**Schwab, K. (2021).** *The Fourth Industrial Revolution*. Currency Publishing. New York, USA  
**Anderson, C. (2022).** *Makers: The New Industrial Revolution*. Crown Business.

**Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2023).** *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*. Springer.

**Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2024).** *Industry 4.0: Trends in Mechanical Engineering*. Business & Information Systems Engineering, Vol. 6, No. 4.

**Marr, B. (2025).** *The Intelligent Enterprise: How AI, Robotics and Data are Transforming Manufacturing*. Wiley.

**International Federation of Robotics (2025).** *World Robotics Report 2025: Industrial Robots and Automation Trends*. IFR Press.

**Journal of Mechanical Engineering Science (2026).** *Implementation of Digital Twins in Modern Production Lines*. Sage Publications.

## МАШИНА ЖАСАУДАҒЫ БӨЛШЕКТЕРДІҢ САПАСЫН АВТОМАТТЫ БАҚЫЛАУ ҮШІН КОМПЬЮТЕРЛІК КӨРУДІ ҚОЛДАНУ

Қазіргі заманғы машина жасау Индустрия 4.0 тұжырымдамасына сәйкес процестерді жоғары Автоматтандыру және цифрландыру жағдайында жұмыс істейді. Бөлшектердің сапасын бақылау құрастыру тораптарының сенімділігін, жабдықты пайдалану қауіпсіздігін және нарықтағы өнімнің бәсекеге қабілеттілігін анықтайды. Мамандардың дәстүрлі визуалды тексеруі бірқатар шектеулермен сипатталады: айтарлықтай еңбек сыйымдылығы (оператордың жұмыс уақытының 30% дейін), сараптамалық бағалаудың субъективтілігі (дәлдіктің таралуы 15-20%), персоналдың физиологиялық шаршауы және сериялық өндіріс кезінде өнімді өңдеудің жеткіліксіз жылдамдығы (бір бөлікке 5-10с). Компьютерлік көру және терең оқыту технологиялары нақты уақыттағы кескіндерді 95-98% дәлдікпен талдауға қабілетті автоматтандырылған басқару жүйелеріне көшуді қамтамасыз етеді. Конвульсиялық нейрондық желілер (CNN) қарапайым текстуралардан бастап бөлшектер беттерінің күрделі геометриялық конфигурацияларына дейін көп деңгейлі белгілерді автоматты түрде алу арқылы дәстүрлі кескінді өңдеу алгоритмдерінен асып түседі.

Өзірленген автоматты басқару жүйесі сериялық функционалды блоктардан тұрады: Кескінді түсіру модулі  $I(x, y)$  бөлігінің сандық көрінісін қалыптастыру үшін біркелкі сақиналы жарықтандыруы бар өнеркәсіптік жоғары ажыратымдылықтағы камераларды (5-12 Мп, кадр жиілігі 60-120 fps) пайдаланады, мұндағы  $x, y$  – пиксель координаттары,  $I$  – жарықтық мәні. Өңдеу блогы іске асырады:

—Гаусс сүзгісімен аддитивті шуды басу:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}, \sigma = 1.2-1.8$$

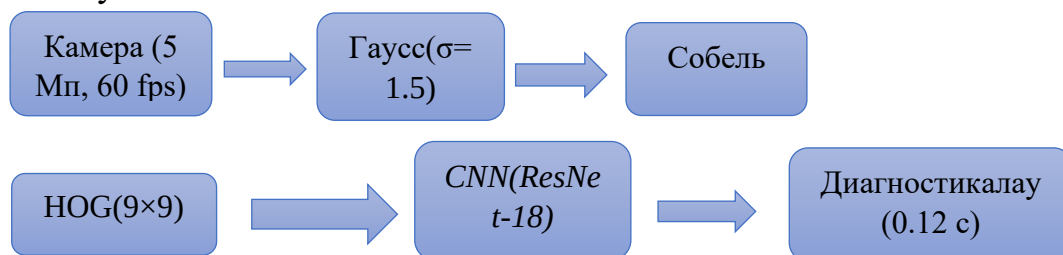
—Собель операторының шекараларды анықтауы:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}, G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} * I$$

—гетерогенді жарықтандыруды өтеу үшін гистограмманы қалыпқа келтіру.

*Feature extraction* модулі 3780 өлшемді  $F=f(I(x,y))$  ерекшелік векторын қалыптастыру үшін бағдарланған градиенттік гистограмма(HOG) әдісін қолданады: беттің текстуралық сипаттамалары (контраст, кедір-бұдыр); геометриялық контур параметрлері (ұзындық, қисықтық, симметрия) ; RGB/HSV кеңістігіндегі түс дескрипторлары.

CNN жіктеу блогы көп сатылы өңдеуді орындайды: тұқыртпасы  $S(i, j) = (I * K)(i, j)$  ядро өлшемдері  $3 \times 3$ ,  $5 \times 5$ ; max-pooling  $2 \times 2$  ауысым инварианты үшін; толық байланысқан қабаттар ( $512 \rightarrow 256 \rightarrow 2$ ) с ReLU-активациясымен; softmax-"дұрыс/ақау" екілік классификациясы үшін жіктеуіш.



Жүйе схема бойынша ақауларды автоматты түрде анықтау алгоритмін жүзеге асырады: RGB кескіні ( $1920 \times 1080$ ) gaussianblur ( $\sigma=1.5$ ), сұр градацияға түрлендіру, Sobel жиектерін анықтау ( $ksize=3$ ), HOG ерекшеліктерін шығару (3780 Өлшем), 0.5 шегі бар CNN моделі бойынша жіктеу. Шығу: "ақау табылды" немесе "бөлік жұмыс істейді".

Ақаулардың 7 түрі анықталады: беттік (жарықтар  $>0.1$  мм, сызаттар  $>0.05$  мм, жабын ақаулары), көлемді (чиптер, ойықтар, деформациялар), геометриялық (сәйкессіздік  $\pm 0.02$  мм, өлшемдері  $\pm 0.1$  мм), дәнекерлеу (дәнекерлеушілер, күйіктер, тері тесігі).

Жүйе ақауды 87% - ға қысқартады және тексерулердің 95% - автомат автоматтандырады.

Компьютерлік көру және терең оқыту технологиялары Машина жасаудағы бөлшектердің сапасын бақылауды автоматтандырудың тиімді құралы болып табылады. Нейрондық желілерді пайдалану өнімнің суреттерін талдауға және ақауларды жоғары дәлдікпен анықтауға мүмкіндік береді. Сапаны бақылаудың интеллектуалды жүйелерін енгізу өндіріс тиімділігін арттыруға, ақаулы өнім санын азайтуға және өнеркәсіпте цифрлық технологияларды дамытуға ықпал етеді. Әрі қарайғы зерттеулердің перспективалық бағыттары: терең нейрондық желілерді пайдалану; компьютерлік көру жүйелерін IoT сенсорларымен біріктіру; өндірістік процестердің цифрлық егіздерін дамыту.

*Пайдаланылған әдебиеттер:*

1. Szeliski R. *Computer Vision: Algorithms and Applications*. Springer, 2022.
2. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. *Deep Learning*. MIT Press, 2016.
3. Zhang Z., Xie X., Yang J. Surface defect detection using deep learning: A survey. *Journal of Manufacturing Systems*, 2023.
4. Huang S., Liu C., Li X. Automated visual inspection in manufacturing using deep learning. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2022.

## РАЗРАБОТКА УНИФИЦИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

В условиях современного машиностроительного производства ключевым фактором конкурентоспособности является скорость технологической подготовки производства (ТПП) и гибкость переналадки оборудования при смене номенклатуры изделий. Традиционный подход, ориентированный на проектирование и изготовление узкоспециализированной оснастки, приводит к существенным временным затратам и высокой себестоимости единицы продукции. Переход к модульным системам технологической оснастки позволяет минимизировать простои оборудования, унифицировать схемы базирования и значительно сократить сроки внедрения новых изделий [1].

С технологической точки зрения корпусные детали представляют собой сложно-профильные элементы, отличающиеся развитой пространственной конфигурацией, низкой удельной жесткостью конструкции из-за наличия внутренних полостей и ребер жесткости, а также многооперационным циклом обработки. По данным исследований, корпусные детали составляют 38-46% от общей номенклатуры деталей в среднесерийном машиностроении, при этом доля трудоёмкости их механической обработки достигает 62-78% от полного технологического цикла. Около 73% операций обработки таких деталей выполняются на многоцелевых станках с ЧПУ, где точность базирования в приспособлении напрямую влияет на достижимую точность обработки [1].

Основная гипотеза проводимого исследования заключается в том, что применение системы унифицированной модульной оснастки вместо специальной обеспечит существенное сокращение времени ТПП: анализ парка корпусных деталей на машиностроительных предприятиях показывает, что до 82% изделий могут быть классифицированы по единой системе признаков, что открывает широкие возможности для унификации схем базирования. Ключевым фактором эффективности унификации оснастки является не столько общее количество деталей в номенклатуре, сколько степень повторяемости комбинаций геометрических признаков их базовых поверхностей. Например, при годовой программе выпуска 500-2000 корпусных деталей выделяется всего 4-6 типовых схем базирования, которые покрывают 70-85% всех операций механической обработки [2].

Первоочередной задачей при проектировании унифицированной оснастки является корректная классификация деталей по параметрам, непосредственно влияющим на конструкцию приспособления: габаритным размерам, массе, конфигурации базовых поверхностей и точности

обработки. В зависимости от максимального габаритного размера ( $D$ ) корпусные детали целесообразно разделить на четыре основные группы: малогабаритные ( $D \leq 300$  мм), среднегабаритные ( $300 < D \leq 800$  мм), крупногабаритные ( $800 < D \leq 2000$  мм) и особо крупногабаритные ( $D > 2000$  мм) [2].

Конфигурация базовых поверхностей определяет выбор установочных элементов. Наиболее распространенной (в частности, для деталей первой группы) является конфигурация Тип А («Плоскость + два отверстия», или схема 3-2-1), которая обеспечивает высокую точность базирования с погрешностью  $\leq 0,015$  мм. Использование данной схемы позволяет унифицировать до 90% установочных элементов для малогабаритных корпусов. Для среднегабаритных деталей характерно большее разнообразие конфигураций, однако 78% из них могут обрабатываться с применением всего трёх типоразмеров универсальных базовых плит при наличии набора сменных модулей.

Разрабатываемая модульная архитектура системы строится на базе стандартизированных элементов и универсальных плит. Переход от специальной к модульной оснастке признается экономически целесообразным при условии, что унифицированная система охватывает не менее 65% производственной программы. Научная новизна работы заключается в разработке модульной архитектуры технологической оснастки, отличающейся принципом компоновки стандартизированных элементов на универсальных базовых плитах, и получении зависимостей влияния жесткости сборной конструкции на точность механической обработки [4]. Практическая реализация разработанной системы подразумевает пилотное внедрение на 2–3 типоразмерах деталей (например, корпусах редукторов) с последующим сравнительным анализом трудоемкости наладки, точности обработки и процента брака. Ожидаемый экономический эффект выражается в значительном снижении номенклатуры приспособлений узкоспециализированного назначения, минимизации времени на переналадку и снижении доли брака [3].

Таким образом, внедрение системы унифицированной технологической оснастки на основе комплексной классификации корпусных деталей обеспечивает существенное сокращение времени на переналадку оборудования, снижение номенклатуры специальных приспособлений и повышение общего уровня точности базирования.

*Список использованных источников*

1. Koren Y. et al. *Reconfigurable Manufacturing Systems. Project report.* – University of Michigan, 2017.
2. *Standardization of Workholding Solutions for Housing Components* // EMRA Technical Report No. 44/2022. – European Manufacturing Research Association, 2022.
3. Козловский С.А. *Анализ парка корпусных деталей на машиностроительных предприятиях РФ и стран СНГ.* – МГТУ им. Баумана, 2021.
4. Rangarajan S. *Optimization of Fixture Plate Dimensions for Housing Components* // *Journal of Manufacturing Science and Engineering.* – 2021. – Vol. 143.

## МАШИНАЖАСАУДАҒЫ АДДИТИВТІ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Қазіргі таңда машинажасау өнеркәсібі қарқынды цифрлық трансформация кезеңін бастан өткеруде. Сол өзгерістердің ішіндегі ең маңызды бағыттардың бірі – аддитивті технологиялар.

### **Аддитивті өндіріс**

(Additive Manufacturing) дегеніміз – бұйымды қабат-қабат қосу арқылы қалыптастыру процесі. Дәстүрлі субтрактивті әдістерде (жону, фрезерлеу, бұрғылау) дайындамадан артық материал алынып тасталса, аддитивті әдісте керісінше материал тек қажетті аймаққа қосылады.

Бұл тәсіл өндірістің тиімділігін арттырып, жаңа инженерлік мүмкіндіктерге жол ашады.

**Машинажасауда аддитивті технологиялардың бірнеше түрі қолданылады.**

Солардың ішінде кең таралғаны –

FDM (балқытылған материалды қабаттау), SLA (фотополимерді лазер арқылы қатайту), SLM (металл ұнтағын селективті лазерлік балқыту) және EBM (электронды сәулемен балқыту). Әсіресе металл негізіндегі аддитивті әдістер өндірістік маңызы жоғары бөлшектерді дайындауда ерекше рөл атқарады.

Аддитивті технологиялардың басты ерекшеліктерінің бірі – конструкциялық еркіндік. Инженерлер дәстүрлі әдістермен жасау мүмкін емес күрделі геометриялық пішіндерді жобалай алады. Мысалы, ішкі салқындату арналары бар қозғалтқыш бөлшектері немесе торлы құрылым арқылы жеңілдетілген корпустар аддитивті әдіспен оңай дайындалады. Бұл бөлшектің салмағын азайтып, беріктігін сақтауға мүмкіндік береді. Материал үнемділігі де маңызды артықшылық болып табылады. Дәстүрлі өңдеу кезінде металл дайындаманың үлкен бөлігі жоңқаға айналуы мүмкін болса, аддитивті өндірісте материал тек қажетті көлемде қолданылады. Бұл шикізатты үнемдеуге және экологиялық тиімділікті арттыруға ықпал етеді.

Сонымен қатар, бұл технология жылдам прототиптеуге және өндірістік процесті толық цифрландыруға мүмкіндік береді. Дегенмен, жабдықтардың жоғары құны және беттік сапаны жақсарту үшін қосымша механикалық өңдеу қажеттілігі сияқты шектеулер бар. Қорытындылай келе, аддитивті технологиялар инженерлік ойлау шекарасын кеңейтіп, машинажасау саласының стратегиялық даму бағыты болып саналады.

Аддитивті өндіріс әдістерінің басты ерекшелігі – бұйымдарды қабаттап жасау принципі. Бөлшек алдымен компьютерлік бағдарламаларда үш өлшемді модель түрінде жасалады. Содан кейін бұл модель арнайы

бағдарламалық қамтамасыз ету арқылы көптеген жұқа қабаттарға бөлінеді. 3D принтер (1 сурет) осы қабаттарды бірінен кейін бірін қалыптастырып, толық бөлшекті жасайды.



Сурет 1

Аддитивті технологиялардың тағы бір маңызды ерекшелігі – күрделі геометриялық пішіндерді жасау мүмкіндігі. Дәстүрлі өңдеу әдістерімен жасау қиын немесе мүмкін емес пішіндегі бөлшектерді аддитивті әдіс арқылы оңай дайындауға болады. Мысалы, ішкі каналдары бар механизм элементтері немесе торлы құрылымдағы жеңіл бөлшектер.

Сонымен қатар, бұл технология материалды тиімді пайдалануға мүмкіндік береді. Өйткені өндіріс барысында тек қажетті материал ғана қолданылады. Нәтижесінде өндірістік қалдықтар азаяды және материал шығыны төмендейді.

**Список использованных источников**

1. Gibson I., Rosen D.W., Stucker B. *Additive Manufacturing Technologies*. — New York: Springer, 2021.
2. ASTM International. *ASTM F2792 – Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies*. — West Conshohocken, PA, 2012.
3. Gebhardt A. *Understanding Additive Manufacturing*. — Munich: Hanser Publishers, 2016.
4. ISO/ASTM 52900: *Additive manufacturing — General principles — Terminology*. — 2021.
5. NASA. *Additive Manufacturing in Aerospace Applications // Technical Reports*.



## МАШИНА ЖАСАУ ӨНДІРІСІНДЕ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТТІ ҚОЛДАНУ

Қазіргі уақытта технологияның қарқынды дамуы өндіріс саласына үлкен өзгерістер алып келді. Соның ішінде жасанды интеллект (ЖИ) технологиялары өнеркәсіптің көптеген бағыттарында кеңінен қолданылуда. Әсіресе машина жасау өндірісінде жасанды интеллектті енгізу өндіріс тиімділігін арттыруға, шығындарды азайтуға және өнім сапасын жақсартуға мүмкіндік береді.

Бұл технологиялар өндірістік процестерді автоматтандыруға, деректерді жылдам талдауға және тиімді шешім қабылдауға көмектеседі. Соның нәтижесінде кәсіпорындардың бәсекеге қабілеттілігі артып, өндірістің жалпы тиімділігі жоғарылайды.

Машина жасау өндірісінде жасанды интеллектті қолдану

Машина жасау – экономиканың маңызды салаларының бірі. Ол әртүрлі техникалық құралдар мен машиналарды жобалау, өндіру және қызмет көрсету жұмыстарын қамтиды. Бұрын өндіріс процестері көбінесе адам еңбегіне тәуелді болса, қазіргі кезде цифрлық технологиялар мен жасанды интеллекттің арқасында көптеген операциялар автоматтандырылды. Бұл өндіріс жылдамдығын арттырып қана қоймай, қателіктер санын да азайтады.

Жасанды интеллект машина жасау өндірісінде ең алдымен өндірістік процестерді автоматтандыру үшін қолданылады. Мысалы, заманауи зауыттарда интеллектуалды роботтар кеңінен пайдаланылады. Бұл роботтар бөлшектерді құрастыру, дәнекерлеу, бояу, кесу және басқа да күрделі операцияларды орындай алады. Роботтардың негізгі артықшылығы – жоғары дәлдікпен және тұрақты жылдамдықпен жұмыс істеуі. Сонымен қатар олар тәулік бойы тоқтаусыз жұмыс істей алады, бұл өндіріс өнімділігін арттырады.

температура, қысым, діріл және басқа да көрсеткіштер туралы үлкен көлемде ақпарат жинайды. Жасанды интеллект алгоритмдері осы деректерді талдап, жабдықтардың жағдайын бағалай алады. Соның арқасында кәсіпорындар жабдықтардың істен шығуын алдын ала болжай алады және уақытылы жөндеу жұмыстарын жүргізеді. Бұл әдіс болжамды техника деп аталады.

Жасанды интеллект өндірісті жоспарлау мен басқару саласында да кеңінен қолданылады. Кәсіпорындар өндіріс жоспарын құру кезінде көптеген факторларды ескеруі тиіс: шикізат қоры, жұмыс күші, жабдықтардың жағдайы және тапсырыстар көлемі. Жасанды интеллект жүйелері осы мәліметтердің барлығын талдап, ең тиімді өндірістік

жоспарды ұсына алады. Нәтижесінде ресурстар тиімді пайдаланылады және өндіріс шығындары азаяды.

Қиындықтар мен даму перспективалары

Жасанды интеллект технологияларын енгізу белгілі бір қиындықтарды да туындатады. Біріншіден, жаңа технологияларды енгізу үшін айтарлықтай қаржылық шығындар қажет. Жабдықтарды жаңарту, бағдарламалық қамтамасыз етуді сатып алу және қызметкерлерді оқыту кәсіпорындар үшін қосымша шығындарды талап етеді.

Сонымен қатар ақпараттық қауіпсіздік мәселесі де маңызды. Өндірістік жүйелер цифрлық технологияларға тәуелді болған сайын киберқауіптердің де қаупі артады. Осыған байланысты кәсіпорындар деректерді қорғау және жүйелердің қауіпсіздігін қамтамасыз ету шараларын күшейтуі тиіс.

Жасанды интеллект өндірістегі өнім сапасын тексеруде кеңінен қолданылады. Заманауи зауыттарда камералар мен компьютерлік көру жүйелері орнатылады. Бұл жүйелер дайын бөлшектердің суреттерін талдап, ақауларды автоматты түрде анықтай алады. Мысалы, жарықтар, өлшемнің дұрыс болмауы немесе бетінің бұзылуы сияқты кемшіліктерді бірден байқайды. Нәтижесінде сапасыз өнімдердің саны азайып, өндіріс тиімділігі артады.

Жасанды интеллект ақылды зауыттар құруда маңызды рөл атқарады. Ақылды өндірісте барлық жабдықтар, роботтар және басқару жүйелері бір-бірімен байланысып жұмыс істейді. Жүйе өндірістегі барлық процестерді бақылап, деректерді талдайды және қажет болған жағдайда автоматты түрде шешім қабылдайды. Бұл өндірісті икемді әрі тиімді етеді.

Қорытынды

Қорытындылай келе, жасанды интеллект машина жасау өндірісін жаңа деңгейге көтеретін маңызды технология болып табылады. Ол өндірістік процестерді автоматтандыруға, жабдықтардың жұмысын тиімді бақылауға, өнім сапасын арттыруға және өндірісті тиімді басқаруға мүмкіндік береді.

Болашақта жасанды интеллект технологиялары одан әрі дамып, машина жасау саласында кеңінен қолданылатын болады. Бұл өз кезегінде өндіріс тиімділігін арттырып, экономиканың дамуына үлкен үлес қосады.

Пайдаланылған әдебиеттер

Иванов И.И. **Искусственный интеллект в промышленности.** – М., 2021.

Петров П.П. **Современные технологии машиностроения.** – СПб., 2020.

Smith J. **Artificial Intelligence in Manufacturing.** – New York, 2022.

Жанұзақова А. **Өндірістегі цифрлық технологиялар.** – Алматы, 2019.

Талапова Г., Қабылдаева Л. **Өнеркәсіптегі автоматтандыру жүйелері.** – Қарағанды, 2022.

## ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШАХТНЫХ ОСЕВЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ

До недавнего времени, чтобы убедиться в эффективности работы изделия (в частности, шахтного вентилятора), требовалось создание опытного образца, для проверки параметров которого необходимо создавать испытательный стенд, по стоимости в разы превосходящий затраты на тестируемое изделие. На этапе тестовых испытаний выявляются основные недостатки конструкции модели. Для того чтобы опытный образец модели вентилятора превратился в конечный продукт необходимо протестировать десятки вариантов таких конструкций. Чтобы сократить финансовые расходы и временные затраты изготовители прибегают к помощи современных компьютерных технологий, позволяющих создавать 3D-модели исследуемого объекта с возможностью проведения численных экспериментов, оценивать параметрически происходящие процессы при работе этого объекта. Большинство физических процессов, протекающих в природе, можно описать системой дифференциальных или интегральных уравнений, что и заложено в основу расчета программных комплексов, и получить «виртуальные» возможности будущего изделия. На основе анализа результатов расчета делаются выводы о соответствии разработанной конструкции вентилятора заданным параметрам и при необходимости выдаются рекомендации для его дальнейшей модернизации. Таким образом, возможно уйти от реального изготовления опытного образца, и вести оптимизацию последних на уровне «проектирование модели – моделирование ее работы» до тех пор, пока расчетные параметры не будут оптимальными для данного вентилятора и только тогда реализовывать модель как физический объект [1].

Развитие цифровых технологий и интеллектуальных инженерных решений позволяет существенно повысить эффективность проектирования вентиляторного оборудования. Использование программных комплексов автоматизированного проектирования и инженерного анализа, таких как SolidWorks FlowSimulation, позволяет создавать трёхмерные модели рабочих колес осевых вентиляторов и проводить численное исследование аэродинамических процессов без необходимости изготовления физических прототипов [2].

В работе рассмотрено рабочее колесо шахтного осевого вентилятора местного проветривания ВМ-6М. Для анализа аэродинамических характеристик была построена трёхмерная модель рабочего колеса в программном комплексе SolidWorks FlowSimulation (рисунок 1).



Рисунок 1– 3D-модель осевого вентилятора

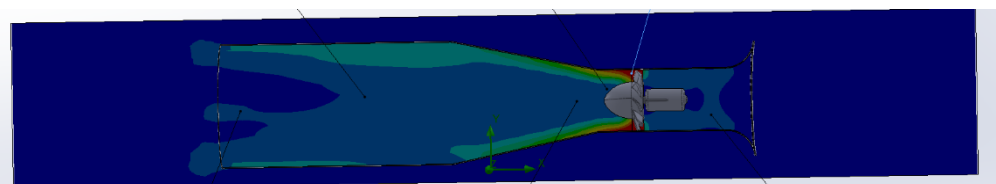


Рисунок 2 – Эпюра распределения скорости потока воздушной струи при работе вентилятора

При моделировании учитывались геометрические параметры лопаток, угол их установки, диаметр рабочего колеса и условия движения воздушного потока.

В результате численного анализа определены значения скорости и давления, температуры и плотности потока воздуха, выявлены зоны возможных потерь энергии, области вихреобразования, а также оценено влияние геометрии лопаток на создаваемый напор и производительность вентилятора (рисунок 2). Полученные данные позволяют определить направления дальнейшей оптимизации конструкции рабочего колеса с целью повышения коэффициента полезного действия и снижения энергетических затрат.

Применение современных компьютерных технологий обеспечивает возможность прогнозирования эксплуатационных характеристик оборудования, сокращения сроков проектирования и повышения надежности, а также открывает перспективы создания более энергоэффективных вентиляторных установок применительно к условиям вентиляционной шахтной сети.

#### Список использованных источников

1. Гурина Е.И. Математическое моделирование турбулентных течений в проточных частях шахтных осевых вентиляторов и элементах вентиляционных сетей: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. – Томск: Томский государственный университет, 2011. – 24 с.
2. Panigrahi D.C., Mishra D.P. CFD simulations for the selection of an appropriate blade profile for improving energy efficiency in axial flow mine ventilation fans // *Journal of Sustainable Mining*. – 2014. – Vol. 13, No. 1. – Pp. 15–21. DOI: 10.7424/jsm140104.

## СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УНИФИКАЦИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ

Современное машиностроительное производство характеризуется высокой сложностью технологических процессов, разнообразием конструктивных решений и необходимостью обеспечения высокого качества продукции при минимальных затратах. В этих условиях важную роль играют стандартизация и унификация, которые являются основными направлениями совершенствования технологической подготовки производства и проектирования технологической оснастки. Их применение позволяет повысить эффективность производства, сократить затраты и обеспечить стабильность технологических процессов.

Технологическая оснастка представляет собой совокупность приспособлений, инструментов и вспомогательных устройств, предназначенных для установки, закрепления и обработки заготовок. Она обеспечивает точность обработки, повторяемость технологических операций и повышение производительности труда. Рациональное проектирование технологической оснастки является важным условием эффективного функционирования производственного процесса.

Стандартизация представляет собой деятельность, направленную на установление единых требований к конструкциям, параметрам и характеристикам изделий и их элементов. Её основной задачей является сокращение разнообразия конструкций, обеспечение взаимозаменяемости деталей и повышение эффективности производства. Использование стандартных элементов позволяет применять проверенные технические решения, упрощает проектирование и снижает производственные затраты.

Унификация заключается в рациональном сокращении числа конструктивных вариантов и создании типовых элементов, пригодных для многократного применения. Она обеспечивает конструктивную преемственность, сокращает время разработки технологической оснастки и снижает её себестоимость. Применение унифицированных элементов позволяет использовать одну и ту же оснастку для различных изделий, что особенно важно в условиях серийного производства.

Одним из эффективных направлений является применение универсально-сборной и модульной технологической оснастки, которая создаётся из стандартных элементов. Такой подход обеспечивает гибкость производства, сокращает сроки подготовки производства и повышает эффективность использования оборудования. Кроме того, модульный принцип позволяет быстро адаптировать оснастку к изменению технологических условий.

Применение стандартизации и унификации способствует снижению затрат на проектирование и изготовление оснастки, повышению производительности труда и улучшению качества продукции. Использование стандартных элементов также облегчает внедрение автоматизированных систем проектирования и управления производством.

Особую значимость стандартизация и унификация приобретают в условиях внедрения современных автоматизированных и цифровых технологий, поскольку они обеспечивают основу для эффективного применения автоматизированных систем проектирования и управления производством. Это позволяет повысить точность проектирования, сократить время разработки технологической оснастки и обеспечить высокий уровень организации производственных процессов.

В целом, внедрение принципов стандартизации и унификации при проектировании технологической оснастки является необходимым условием повышения технического уровня машиностроительных предприятий, снижения производственных затрат и повышения их конкурентоспособности. Их дальнейшее развитие и применение способствуют модернизации промышленного производства и обеспечивают устойчивое развитие машиностроительной отрасли Республики Казахстан.

*Список использованных источников*

1. Сулов А.Г. Технологическая оснастка: учебник для машиностроительных специальностей. — М.: Машиностроение, 2008. — 256 с.
2. Якушев А.И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: учебник для вузов. — М.: Машиностроение, 2005. — 352 с.
3. Кудрявцев В.Н. Технологическая подготовка производства в машиностроении: учебник для студентов высших учебных заведений. — М.: Академия, 2007. — 384 с.
4. Косилова А.Г. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 1. — М.: Машиностроение, 1986. — 656 с.
5. Митрофанов С.П. Технология машиностроения: учебник для вузов. — М.: Машиностроение, 2003. — 512 с.

## ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Важнейшим направлением развития современного машиностроения выступает цифровизация производственных процессов, ориентированная на повышение эффективности, качества и технологической гибкости изготовления деталей. Ключевую роль среди интеллектуальных решений играют цифровые двойники (Digital Twins) - виртуальные копии физических объектов и процессов, функционирующие синхронно с реальным оборудованием в режиме реального времени. Концепция цифрового двойника базируется на трех основных элементах: физическом объекте, его цифровой модели и каналах передачи информации, обеспечивающих двустороннюю связь [1]. Использование цифровых двойников при механической обработке дает возможность не только моделировать процессы резания, но также прогнозировать износ режущего инструмента, оптимизировать режимы обработки и минимизировать время простоев оборудования.

Цифровой двойник процесса механической обработки строится на базе математических моделей, описывающих физику резания (силы, температуры, вибрации), а также на данных с датчиков, установленных на станке. Интеграция этих данных с CAD/CAM-системами позволяет в реальном времени корректировать траектории движения инструмента, подачу и скорость резания. Например, использование цифровых двойников при фрезеровании сложно профильных деталей из труднообрабатываемых материалов даёт возможность снизить вибрации и повысить точность обработки на 20 - 30 % [2]. Важным преимуществом является возможность прогнозирования остаточного ресурса режущего инструмента на основе анализа текущих нагрузок и сравнения с эталонными моделями, что позволяет перейти от регламентных замен инструмента к обслуживанию по фактическому состоянию [3].

На основе модели «станок – приспособление – инструмент – деталь» выполняется имитационное моделирование обработки до её начала, что позволяет выявить потенциальные проблемы (столкновения, превышение допустимых нагрузок) и скорректировать управляющую программу [4]. Исследования показывают, что внедрение цифровых двойников на этапе подготовки производства сокращает время наладки оборудования в 1,5 - 2 раза и уменьшает количество бракованных деталей при первой установке партии на 40 % [5].

Современные станки с ЧПУ оснащаются встроенными системами мониторинга, однако для создания полноценного цифрового двойника

требуется интеграция данных от внешних датчиков и использование облачных платформ для хранения и анализа информации [2, с. 47]. Алгоритмы искусственного интеллекта позволяют выявлять скрытые закономерности в данных, например, предсказывать момент затупления инструмента по изменению спектра вибраций, что особенно актуально для автоматизированных производств [3, с. 60].

Внедрение цифровых двойников в машиностроении сопряжено с определёнными вызовами: необходимостью высокой точности математических моделей, обеспечением кибербезопасности и обучением персонала. Так, на предприятиях авиастроения использование цифровых двойников для обработки моно-колёс компрессора позволило сократить цикл изготовления на 25 % и снизить себестоимость на 15 % [4, с. 106]. В автомобильной промышленности цифровые двойники линий механической обработки блока цилиндров обеспечивают прогнозирование отказов оборудования и сокращение внеплановых простоев на 30–50 % [5, с. 215].

Таким образом, цифровые двойники являются эффективным инструментом цифровизации машиностроительного производства, позволяющим перейти к интеллектуальному управлению технологическими процессами. Дальнейшее развитие этой технологии связано с совершенствованием методов моделирования, расширением использования искусственного интеллекта и созданием единых цифровых платформ для обмена данными между различными звеньями производственной цепочки.

Цифровые двойники выступают не просто инструментом оптимизации, а фундаментальной платформой для реализации концепции «умного производства» (Smart Manufacturing) в машиностроении. Их интеграция в жизненный цикл изделия — от проектирования до утилизации — создает замкнутый контур обратной связи, где данные о реальной эксплуатации продукта могут использоваться для улучшения его последующих версий.

#### *Список использованных источников*

1. Цифровые двойники в машиностроении: концепция, технологии, перспективы / Под ред. А. В. Гурьянова. – М.: Инновационное машиностроение, 2024. – 320 с.
2. Применение цифровых двойников для оптимизации режимов резания при фрезеровании сложно профильных деталей // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 1 (64). – С. 42–49.
3. Иванов С. В., Петрова Е. А. Прогнозирование износа режущего инструмента на основе цифровых двойников и машинного обучения // Автоматизация и современные технологии. – 2023. – Т. 77, № 2. – С. 56–62.
4. Сафонов А. Н., Козлов А. М. Цифровые двойники технологических систем механической обработки: построение и применение // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2024. – № 3. – С. 100–108.
5. Experience of Implementing Digital Twins in Mechanical Engineering: Case Studies from Aviation and Automotive Industries // Proceedings of the International Conference on Digital Manufacturing. – 2024. – P. 210–218.



## ФУРЬЕ ТЕОРЕМАСЫНЫҢ ИНЖЕНЕРЛІК ЕСЕПТЕРДЕГІ РӨЛІ

Қазіргі заманғы жаратылыстану ғылымдары мен инженерлік салалардың дамуы цифрландыру үдерісімен тығыз байланысты. Өндіріс орындарында цифрлық технологияларды енгізу есептеу дәлдігін арттыруға, күрделі физикалық процестерді модельдеуге және техникалық жүйелердің сенімділігін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Машина жасау саласында бұл үдерістің ғылыми негізін математикалық модельдер мен теоремалар құрайды.

Осы тұрғыда инженерлік есептерде кеңінен қолданылатын маңызды математикалық құралдардың бірі – Фурье теоремасы. Аталған теорема механикалық жүйелердегі тербелістерді, динамикалық процестерді және сигналдарды талдаудың теориялық негізі болып табылады. Бұл жұмыстың мақсаты – Фурье теоремасының мазмұнын ашу және оның машина жасау саласындағы цифрлық технологиялармен байланысын көрсету.

### *Мақсаты:*

Жаратылыстану ғылымдарындағы цифрландыру үдерісі жағдайында Фурье теоремасының теориялық негіздерін ашу және оның машина жасау саласындағы инженерлік есептерді шешудегі практикалық маңызын көрсету.

### *Міндеттері:*

1. Фурье теоремасының математикалық мәнін және негізгі ұғымдарын сипаттау.
2. Машина жасау саласындағы тербеліс процестерінің ерекшеліктерін анықтау.
3. Тербелістерді талдауда Фурье теоремасының қолданылу бағыттарын қарастыру.
4. Цифрлық технологиялар мен сандық Фурье түрлендіруінің (FFT) инженерлік есептердегі рөлін көрсету; Компьютерлік модельдеудің машина жасау саласындағы маңызын талдау.

**Фурье теоремасының теориялық негіздері:** Фурье теоремасы бойынша кез келген периодты функцияны синус және косинус функцияларының шексіз қосындысы түрінде көрсетуге болады. Бұл қосынды Фурье қатары деп аталады. Теореманың негізгі идеясы – күрделі функцияны қарапайым гармоникалық тербелістерге жіктеу арқылы оны зерттеуді жеңілдету.

Математикалық тұрғыдан Фурье теоремасы сызықтық жүйелерді, периодты процестерді және сигналдарды талдауда маңызды орын алады. Қазіргі цифрландыру жағдайында бұл теорема сандық әдістер арқылы жүзеге

асырылады, соның ішінде жылдам Фурье түрлендіруі (FFT) кеңінен қолданылады.

Машина жасаудағы тербеліс процестерін цифрлық талдау. Машина жасау саласында механизмдер мен машиналардың жұмыс істеуі кезінде тербелістердің пайда болуы заңды құбылыс болып табылады. Айналмалы біліктер, тісті берілістер, қозғалтқыштар және подшипниктер белгілі бір жиілікте тербеледі. Бұл тербелістердің шамадан тыс артуы машинаның жұмыс қабілетінің төмендеуіне және апаттық жағдайларға әкелуі мүмкін.

Фурье теоремасы тербеліс сигналдарын жиілік аймағында талдауға мүмкіндік береді. Арнайы датчиктер арқылы алынған уақыттық сигналдар цифрлық құрылғылар көмегімен өңделіп, Фурье түрлендіруі арқылы олардың жиілік құрамы анықталады. Нәтижесінде тербелістің қауіпті жиіліктері мен ақаулардың көздері анықталады.

**Цифрландыру жағдайындағы инженерлік модельдеу.** Цифрлық технологиялардың дамуы машина жасау саласында компьютерлік модельдеудің кеңінен қолданылуына жол ашты. CAD, CAE және CAM жүйелері күрделі инженерлік есептерді математикалық модельдер негізінде шешуге мүмкіндік береді.

Фурье теоремасы осы жүйелерде динамикалық жүктемелерді есептеу, шуды және дірілді азайту, машиналардың беріктігін талдау мақсатында қолданылады. Сандық модельдеу нақты эксперименттерді виртуалды ортада жүргізуге мүмкіндік беріп, уақыт пен материалдық ресурстарды үнемдейді.

#### **Қорытынды**

Фурье теоремасы – машина жасау саласындағы инженерлік есептерді шешуде маңызды математикалық құрал болып табылады. Жаратылыстану ғылымдарындағы цифрландыру бұл теореманың қолдану аясын кеңейтіп, оны сандық әдістер арқылы тиімді пайдалануға мүмкіндік берді.

Цифрлық технологиялар мен математикалық модельдердің үйлесімі өндіріс үдерістерінің сапасын арттырып, машиналардың сенімділігі мен қауіпсіздігін қамтамасыз етеді. Осы тұрғыдан алғанда, Фурье теоремасы қазіргі заманғы машина жасаудың теориялық және практикалық негіздерінің бірі болып табылады. Бұл теорема сигналдарды өңдеуде, физикада (толқындық процестер) және инженерлік есептеулерде күрделі толқындарды қарапайым құраушыларға бөліп талдауға мүмкіндік береді.

#### ***Пайдаланылған көздердің тізімі:***

1. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Математика бойынша инженерлерге арналған анықтамалық. – М.: Наука, 2010.
2. Прохоров Ю. В. Фурье қатарлары және олардың қолданылуы. – М.: МГУ, 2008.
3. Отпенгейм А. В., Шафер Р. У. Сандық сигналдарды өңдеу. – М.: Техносфера, 2012.
4. Чигрин В. Г. Машина жасаудағы тербелістер теориясы. – СПб.: Политехника, 2015..

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА РИСКОВ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТА ПО  
ОРГАНИЗАЦИИ УЧАСТКА ГИБКИ ТРУБ

Инвестиционные проекты промышленного характера характеризуются повышенным уровнем неопределённости, обусловленным влиянием рыночных, производственных и финансовых факторов. В современных условиях недостаточно ограничиваться расчётом показателей эффективности; требуется комплексная оценка рисков, способных существенно изменить прогнозируемые результаты проекта.

Цель исследования - разработка подхода к оценке рисков инвестиционного проекта по организации участка гибки труб на основе анализа его финансовой устойчивости.

Методика оценки эффективности проекта

Проект предполагает создание производственного участка гибки металлических труб с применением специализированного оборудования. Горизонт расчёта — 5 лет.

Исходные параметры проекта: первоначальные инвестиции — 50 млн тг; годовой чистый денежный поток — 12 млн тг; ставка дисконтирования — 15 %.

Расчёт чистой приведённой стоимости (NPV) выполняется по формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0$$

где:

$CF_t$  – денежный поток в период  $t$ ;

$r$  – ставка дисконтирования;

$n$  – количество периодов;

$I_0$  – первоначальные инвестиции.

Исходные данные:

$CF = 18$  млн тг ежегодно;

$r = 15\% = 0,15$ ;

$n = 5$ ;

$I_0 = 50$  млн тг.

Такая формула (1) расписывается так:

$$NVP = \frac{18}{(1+0,15)^1} + \frac{18}{(1+0,15)^2} + \frac{18}{(1+0,15)^3} + \frac{18}{(1+0,15)^4} + \frac{18}{(1+0,15)^5} - 50 = \frac{18}{1,15} + \frac{18}{1,3225} + \frac{18}{1,5209} + \frac{18}{1,7490} + \frac{18}{2,0114} - 50 = 60,34 - 50 = 10,34 \text{ млн тг}$$

Внутренняя норма доходности IRR:

$r < IRR \rightarrow NPV$  положительный  $\rightarrow$  проект выгоден;

$r > IRR \rightarrow NPV$  отрицательный  $\rightarrow$  проект невыгоден.

Расчёт показал, что при ставке дисконтирования 15 % значение NPV составляет –10,33 млн тг.

При таком денежном потоке:

$IRR = 22-23\%$ ;

при  $r = 15\% \rightarrow NPV$  положительный;

при  $r = 22\% \rightarrow NPV = 0$ .

Это свидетельствует о достаточной инвестиционной привлекательности проекта при заданных параметрах. Поскольку NPV принимает положительное значение, можно заключить, что внутренняя норма доходности проекта выше 15 %.

Количественная оценка рисков проекта:

Проект подвержен воздействию рыночных, ценовых, производственных и инвестиционных рисков. Для количественной оценки применён метод анализа чувствительности.

При снижении выручки на 15 % годовой денежный поток уменьшается:

$18 \times 0,85 = 15,3$  млн тг.

В этом случае:

$NPV = 15,3 \times 3,35 - 50 = 1,26$  млн тг

(3,35 – коэффициент дисконтирования для 5 лет при 15%)

Таким образом, NPV остаётся положительным, однако существенно снижается. Это свидетельствует о средней чувствительности проекта к рыночным факторам.

Инвестиционный проект по организации участка гибки труб является экономически обоснованным при базовом сценарии. Однако высокая чувствительность показателей эффективности к снижению выручки подтверждает необходимость внедрения системы управления рисками. Комплексный подход к оценке инвестиционных проектов повышает обоснованность управленческих решений и снижает вероятность финансовых потерь.

#### *Список использованной литературы*

1. Бланк И.А. Управление инвестициями предприятия. – К.: Ника-Центр, 2019.
2. Савицкая Г.В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия. – М.: ИНФРА-М, 2020.
3. Балабанов И.Т. Риск-менеджмент. – М.: Финансы и статистика, 2018.

## РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ И СОСТАВОВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭКОПАРКОВОК И МАЛЫХ АРХИТЕКТУРНЫХ ФОРМ С ПРИМЕНЕНИЕМ СКВОЗНЫХ CAD/CAE-ТЕХНОЛОГИЙ

Актуальность исследования обусловлена необходимостью решения двух взаимосвязанных задач: снижения антропогенной нагрузки от накопления полимерных отходов и импортозамещения наукоемкой продукции для строительства и благоустройства автостоянок, внутри дворовых, садовых и парковых территорий, приусадебных участков, территорий дачных кооперативов и коттеджей. Переход к циркулярной экономике требует разработки инженерных решений, позволяющих трансформировать вторичное полимерное сырье в конструкционные элементы, способные воспринимать эксплуатационные нагрузки [1–3]. Современный уровень развития цифровых технологий, в частности систем автоматизированного проектирования и инженерного анализа (CAD/CAE), открывает возможности для виртуального прототипирования таких изделий и прогнозирования параметров их эксплуатационных и технологических характеристик на этапе разработки и проектирования, что минимизирует затраты на натурные испытания.

Целью настоящей работы является разработка конструкций и оптимизация составов композиционных материалов на основе регенерированных термопластов для изготовления несущих элементов экопарковок и малых архитектурных форм (МАФ), обеспечивающих требуемый уровень физико-механических характеристик.

Методология исследования базировалась на последовательной реализации трех этапов. На первом этапе в среде SolidWorks выполняли трехмерное параметрическое моделирование типовых конструкций газонных решеток и элементов МАФ. На втором этапе методом конечно-элементного анализа (МКЭ) проводили оценку напряженно-деформированного состояния (НДС) разработанных моделей при статическом нагружении, имитирующем нагрузку от легкового автомобиля (до 2,5 кН на элемент) – для конструкций модульных газонных парковок. Критериями оптимизации выступали минимизация максимальных эквивалентных напряжений (по фон Мизесу) и снижение материалоемкости при обеспечении запаса прочности не менее 2,0. На третьем этапе осуществляли экспериментальное подтверждение расчетных данных путём изготовления модельных образцов методом литья под давлением из предложенных композиций на основе регенерированных полиолефинов

(ПЭНД, ПЭВД, ПП), модифицированных наноразмерными углеродсодержащими частицами, выступающими в качестве физических компатибилизаторов. Оценку параметров деформационно-прочностных характеристик (предел текучести при растяжении, модуль упругости) выполняли на универсальной испытательной машине ИР 5047-50-11.

В результате САЕ-анализа были выявлены критические зоны концентрации напряжений в типовых конструкциях газонных решеток и МАФ, что позволило предложить оптимизационные решения конструкций, обеспечивающие снижение максимальных эквивалентных напряжений по фон Мизесу на 15–20% при сохранении материалоёмкости. Для предлагаемых конструкций определены оптимальные с точки зрения технологичности и прочности соотношения модифицирующих компонентов в полимерной матрице. Показано, что модифицирование регенерированного сырья допинговыми добавками углеродсодержащих наночастиц позволяет достичь прочностных показателей, сопоставимых с первичными полимерами, при значительном снижении себестоимости готового изделия.

Практическая значимость работы заключается в создании научно-технического задела для организации производства импортозамещающих изделий – модульных элементов экопарковок и малых архитектурных форм. Предложенный подход, основанный на интеграции цифрового проектирования и материаловедения, позволяет прогнозировать служебные характеристики готовой продукции, что подтверждается корреляцией расчетных данных с результатами испытаний опытных образцов.

Исследования выполнялись при финансовой поддержке Министерства образования Республики Беларусь в рамках выполнения проекта № ГС 01-26 «Композиционные материалы для изготовления экопарковок и элементов малых архитектурных форм с использованием замкнутого цикла переработки полимерных отходов в несущие конструкционные элементы».

#### *Список использованных источников*

1. Acceleratio, B.V. (2015). *Barriers & Drivers towards a Circular Economy Literature Review* / B.V. Acceleratio. – Naarden, 2015. – 138 p.
2. *О Национальной стратегии развития экономики замкнутого цикла (циркулярной экономики) Республики Беларусь на период до 2035 года : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 29 мая 2024 г. № 393* // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22400393> (дата обращения 10.03.2026).
3. Трофилова, И.Д. *Циркулярная экономика в Беларуси: переход к устойчивому развитию* / И.Д. Трофилова // Информационный бюллетень. – 2025. – №1. – URL: <https://rlst.by/informational-resources/izdania/ib-1-2025/trofilova-i-d-tsirkulyarnaya-ekonomika-v-belarusi/> (дата обращения 10.03.2026).

## ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИНТЕЛЕКТУАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ В МОДЕРНИЗАЦИИ УЗЛОВ СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В условиях современной борьбы за технологический суверенитет и перехода к Индустрии 5.0 использование массивных металлических конструкций признано ограничивающим фактором. Традиционные серый чугун и сталь создают высокую инерционность, значительные энергопотери и критическую термическую нестабильность, вызывающую до 70% погрешностей обработки [1]. Полимербетоны, напротив, обладают высокой демпфирующей способностью, превышающей показатели чугуна в 6,5–10 раз [2], что обеспечивает исключительную виброустойчивость даже на экстремальных режимах резания.

Преимущества технологического перехода демонстрируются на примере узла радиально-сверлильного станка 2В56. Для сравнительного анализа напряженно-деформированного состояния традиционной детали и её модернизированного аналога была построена конечно-элементная модель в SolidWorks (рис. 1). При расчёте учитывались: статическая нагрузка от веса шпиндельной бабки с коробкой скоростей и подач, гравитационная нагрузка хобота, а также жёсткое закрепление в местах крепления к колонне и сопряжения с ходовым винтом.

Первоначально расчёт статической прочности выполнялся для конструкции из материала Alloy Steel. При этом суммарная масса изделия составила 1011 кг, а максимальное перемещение конструкции под нагрузкой - 0,123 мм. Напряжения по Мизесу находились на уровне, значительно ниже предела текучести, что указывает на существенный запас прочности - 49 и перерасход материала. В дальнейшем материал конструкции был изменён на полимербетон (состав №2). После пересчёта получены следующие результаты:

- Масса конструкции уменьшилась более чем в 7 раз,
- Уровень напряжений остался значительно ниже допустимого для полимербетона (запас прочности более чем в 10 раз),
- Перемещение увеличилось по сравнению со стальной конструкцией, однако остаётся в допустимых пределах для данного класса оборудования.

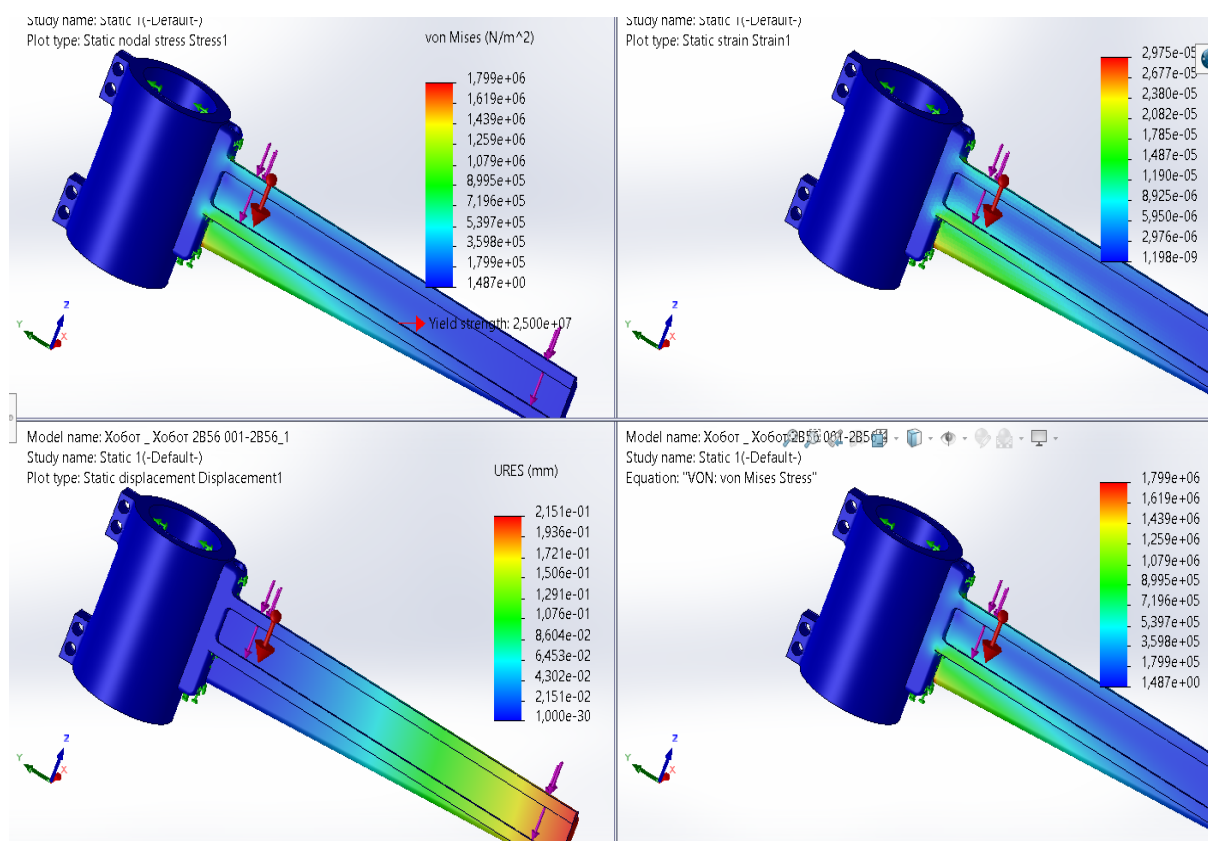


Рисунок 1 – Результаты статического анализа узла из полимербетона

На основании полученных данных можно сделать вывод, что текущая модель остаётся прочностно устойчивой и имеет значительный резерв по напряжениям, при этом обеспечивая существенное снижение массы. Это открывает возможность проведения геометрической оптимизации конструкции (перераспределение материала, добавление рёбер жёсткости, изменение сечений). При комплексной оптимизации конструкции с учётом механических свойств полимербетона возможно достижение более рационального соотношения массы и жёсткости, что повысит эффективность и технологические характеристики станка.

#### Список использованных источников

1. Mula V. R., Ramachandran A., Ramasamy T. P. A review on epoxy granite reinforced polymer composites in machine tool structures–Static, dynamic and thermal characteristics // *Polymer Composites*. –2023. –Vol. 44. –Pp. 2022–2070. –DOI: 10.1002/pc.27229.
2. Chuang H. C., Chen C. R. Optimization of the mechanical properties of machine tool with steel reinforced mineral concrete // *Journal of Physics: Conference Series*. –2023. –Vol. 2631. –Art. 012018. –DOI: 10.1088/1742-6596/2631/1/012018.



## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ ШАХТНОГО САМОСВАЛА DRUK-15 В УСЛОВИЯХ ТОО «KAZTECHPRO»

**Шахтный самосвал** - это специализированный вид карьерной техники, предназначенный для транспортировки породы, руды и прочих сыпучих материалов в подземных горных выработках. В отличие от обычных карьерных самосвалов, такие машины адаптированы для работы в ограниченном пространстве шахт: они обладают пониженной высотой, высокой манёвренностью и часто полным приводом. [1]

DRUK 15 - тяжелый и легкий грузовик для добычи полезных ископаемых. Это компактный грузовик с грузоподъемностью 15 тонн, созданный для обеспечения гибкой мобильности[1], необходимой в условиях узкой добычи. Этот грузовик может перевозить большие грузы и легко маневрировать на склонах.

Целью исследования является разработка и обоснование комплекса мер по повышению эффективности работы тормозной системы шахтного самосвала DRUK-15 в условиях эксплуатации на предприятии ТОО «KazTechPro», направленных на обеспечение повышения безопасности, надежности и производительности оборудования в горнодобывающей отрасли. [2]

Таблица 1 – Технические характеристики шахтного самосвала DRUK-15

|                                                     |                                                               |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Грузоподъемность - 15–16 тонн                       | Радиус разворота (внутренний / внешний) - 3140 / 6040–7320 мм |
| Габаритные размеры (Д × Ш × В) - 7619 × 1980 × 2300 | Угол разгрузки кузова - 60–65°                                |
| Мощность двигателя - 115–165 кВт                    | Максимальная скорость - До 25 км/ч                            |
| Объем кузова (геометрический) - 7,5 м³              | Трансмиссия - Гидромеханическая                               |

Инновационные решения (например, усиленные узлы для работы в шахтах)

Для повышения эффективности и надежности работы шахтного самосвала DRUK-15 в суровых подземных условиях предлагаются следующие инновационные и усиленные узлы, адаптированные к эксплуатации в ТОО «KazTechPro»: 1) Усиленные многослойные футеровки кузова и рамы -использование высокопрочных износостойких сталей Hardox 450/500 или аналогичных с дополнительным покрытием из полиуретана или керамических вставок. 2) Улучшенная защита гидравлических и электрических систем - установка дополнительных защитных кожухов на РВД (рукава высокого давления) 3) Модульные усиленные оси и мосты -замена стандартных DANA/KESSEL на усиленные версии с повышенной нагрузочной способностью и интегрированными датчиками температуры/вибрации для предиктивного обслуживания. [1]

Основной недостаток в условиях ТОО «KazTechPro» - склонность к перегреву при длительном торможении на крутых уклонах и под нагрузкой. В подземных условиях с частыми спусками/подъемами (особенно при 15–16 т груза и уклонах 15–25 %), интенсивное использование рабочих тормозов приводит к быстрому нагреву масла в «мокрых» дисках (температура может превышать 200–260 °С). Это вызывает снижение коэффициента трения, увеличение времени срабатывания и риск отказа тормозов. [2]

#### *Список использованных источников*

- 1. Шахтный подземный транспорт // под ред. специалистов по горной технике, издание Геологического портала GeoKniga. 2000 – 2010 г.*
- 2. Горно-шахтное оборудование и системы // под ред. В. Л. Яковлева. 2000г.*

## АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ШАХТНОГО САМОСВАЛА DRUK-15

**Шахтный подземный самосвал** - это специализированный вид карьерной техники, который предназначен для транспортировки породы, руды и прочих сыпучих материалов в подземных горных выработках (рисунок 1) [1].



Рисунок 1 – Погрузочно-доставочная машина DRUK-15

DRUK-15 - подземный шахтный дизельный самосвал грузоподъемностью 15 тонн. Машина состоит из моторной и грузовой полурам, соединённых между собой шарнирно-сочлененным поворотным устройством и применяется для транспортировки материала в туннелях размером 3х3 метра. Конструкция машины разработана с учетом тяжелых условий эксплуатации свойственных для горной отрасли. Помимо качества и надежности, усилия инженеров были направлены на обеспечения достойного уровня комфорта и безопасности для оператора, а также просты технического обслуживания и ремонтпригодности.

Основными узлами самосвала являются 1) двигатель Volvo TAD850VE или Deutz F8L413FW, 2) Коробка передач DANA 32000 и преобразователь C270, Оси Kessel D81 а так же тормозная система SAHR на всех концах колеса. Ведущими производителями на территории Казахстана являются компании DEUTZ, Volvo и Deui.

Для повышения эффективности и надежности работы шахтного самосвала DRUK-15 в тяжелых подземных условиях предлагаются следующее:

- усиленные многослойные футеровки кузова и рамы;

-использование высокопрочных износостойких сталей Hardox 450/500 или аналогичных с дополнительным покрытием из полиуретана или керамических вставок;

- улучшенная защита гидравлических и электрических систем;

- модульные усиленные оси и мосты -замена стандартных DANA/KESSEL на усиленные версии с повышенной нагрузочной способностью и интегрированными датчиками температуры/вибрации для предиктивного обслуживания [1].

Таблица 1 - Технические характеристики DRUK15

|                                                     |                                                               |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Грузоподъемность - 15–16 тонн                       | Радиус разворота (внутренний / внешний) - 3140 / 6040–7320 мм |
| Габаритные размеры (Д × Ш × В) - 7619 × 1980 × 2300 | Угол разгрузки кузова - 60–65°                                |
| Мощность двигателя - 115–165 кВт                    | Максимальная скорость - до 25 км/ч                            |
| Объем кузова (геометрический) - 7,5 м³              | Трансмиссия - гидромеханическая                               |

В процессе эксплуатации шахтного самосвала были обнаружены недостатки, такие как недостаточное усилие тормозных колодок задних колес, склонность к перегреву при длительном торможении на крутых уклонах и под нагрузкой. В подземных условиях с частыми спусками/подъемами (особенно при 15–16 т груза и уклонах 15–25 %), интенсивное использование рабочих тормозов приводит к быстрому нагреву масла в «мокрых» дисках. Это вызывает снижение коэффициента трения, увеличение времени срабатывания и риск отказа тормозов [2].

В условиях предприятия ТОО «KazTechPro», которое обеспечивает сервисное обслуживание и ремонт шахтных самосвалов произведена модернизация гидравлической тормозной системы за счет установки дополнительных гидроаккумуляторов, что в процессе эксплуатации показало высокую эффективность работы тормозной системы.

#### Список использованных источников

1. <https://qmm.kz/druk-15/>
2. Чаплицкий Я.М. Горно-шахтное оборудование и системы. Теория и практика эксплуатации и надежности. Гливице: CRC Press. – 2017. – 397 с.

## МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ SMART-РЕШЕНИЙ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОРОДА КАРАГАНДЫ

Современное развитие городской транспортной системы сопровождается устойчивым ростом автомобилизации, увеличением интенсивности движения и усложнением логистических процессов. Для города Караганды данные тенденции выражаются в перегрузке улично-дорожной сети, увеличении времени в пути, росте задержек на регулируемых перекрестках и повышении экологической нагрузки. В условиях цифровой трансформации экономики особую актуальность приобретает внедрение SMART-технологий, обеспечивающих интеллектуальное управление транспортными потоками и оптимизацию логистических процессов. Интеллектуальные транспортные системы позволяют осуществлять мониторинг, прогнозирование и регулирование движения в режиме реального времени. Однако внедрение таких решений требует научно обоснованной оценки их эффективности, поскольку реализация цифровых проектов связана со значительными инвестиционными затратами и необходимостью учета комплексного социально-экономического эффекта. В существующей практике оценка чаще всего носит односторонний характер и базируется на отдельных показателях, например, сокращении времени задержек, без учета экологических и социальных последствий.

Целью исследования является разработка и практическое обоснование многокритериального подхода к оценке эффективности SMART-решений в логистических процессах транспортной инфраструктуры города Караганды.

Сущность многокритериального подхода заключается в одновременном учете совокупности разнотипных показателей, отражающих различные аспекты функционирования транспортной системы. В отличие от однокритериальной оценки, ориентированной на достижение одного доминирующего показателя, многокритериальный анализ позволяет определить решение, обеспечивающее максимальный интегральный эффект при балансе транспортных, экономических, экологических и социальных факторов. В рамках исследования сформирована система критериев, включающая четыре группы показателей:

- транспортные (средняя скорость движения, уровень задержек, пропускная способность улично-дорожной сети);
- экономические (объем капитальных вложений, эксплуатационные расходы, срок окупаемости);

– экологические (уровень выбросов загрязняющих веществ, расход топлива);

– социальные (уровень аварийности, безопасность дорожного движения, качество транспортного обслуживания населения).

Реализация многокритериального анализа осуществлялась с применением метода анализа иерархий (АНР) и экспертного ранжирования. На первом этапе была сформирована иерархическая структура оценки, включающая цель исследования, группы критериев и альтернативные SMART-решения. На втором этапе определялась относительная значимость критериев на основе экспертной оценки с учетом специфики транспортной системы города Караганды. Наибольший вес был присвоен транспортным показателям как отражающим непосредственную эффективность логистических процессов, далее – экономическим параметрам, затем экологическим и социальным. Для обеспечения сопоставимости разнородных показателей применялось их нормирование, что позволило привести количественные и качественные параметры к единой оценочной шкале. Итоговая оценка формировалась на основе агрегирования показателей с учетом их приоритетности. В качестве альтернативных решений рассмотрены: адаптивное светофорное регулирование, технологии взаимодействия транспортных средств и инфраструктуры (V2X), а также системы анализа транспортных потоков на основе данных от движущихся транспортных средств (Floating Car Data).

| <b>SMART-решение</b>              | <b>Транспортный эффект</b>                                   | <b>Экономическая целесообразность</b>                   | <b>Экологический эффект</b>                   | <b>Социальная значимость</b>        |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------|
| Адаптивное светофорное управление | Существенное снижение задержек и рост пропускной способности | Средний уровень инвестиций при высокой результативности | Снижение выбросов за счет сокращения простоев | Косвенное повышение безопасности    |
| V2X-технологии                    | Оптимизация движения в режиме реального времени              | Требуют значительных инвестиций                         | Потенциальное снижение выбросов               | Существенное повышение безопасности |
| Floating Car Data                 | Повышение точности прогнозирования потоков                   | Высокая экономическая эффективность                     | Косвенное снижение нагрузки                   | Улучшение качества управления       |

*Список использованной литературы*

1. Литвиненко В.А. Интеллектуальные транспортные системы: теория и практика внедрения. – М.: Горячая линия – Телеком, 2021. – 312 с.
2. Кузнецов С.В., Петров А.Н. Цифровизация транспортной инфраструктуры городов: модели и методы оценки эффективности // Транспорт Российской Федерации. – 2022. – № 5 (102). – С. 15–21.
3. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. – Cambridge: MIT Press, 2016. – 775 p.
4. Zhang L., Wang H., Li J. Intelligent transportation systems and smart city logistics optimization // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2020. – Vol. 21, No. 4. – P. 1425–1436.

УДК 504.054      Кузнецов А.Д. – магистрант КарТУ (гр. БЖДМ-24-2)  
Нурмаганбетова А.С. – магистрант КарТУ (гр. БЖДМ-25-2)  
Научн.рук. – PhD, ассоц.проф. КарТУ Цешковская Е.А.

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АВТОСБОРОЧНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ (НА ПРИМЕРЕ КАРАГАНДИНСКОГО РЕГИОНА)

В настоящее время актуально открытие предприятий по сборке автомобилей. Современные автосборочные предприятия являются значимыми промышленными объектами, обеспечивающими развитие машиностроительного комплекса и создание рабочих мест. При этом важно не забывать о воздействии на окружающую среду. Конечно, воздействие на природу сборочных цехов не настолько сильно, как если бы на предприятии были литейные цехи. Однако, деятельность по сборке автомобилей сопровождается воздействием на атмосферный воздух и акустическую обстановку. В связи с этим особую актуальность приобретают вопросы экологического подхода производства и формирования инфраструктуры вокруг предприятия, которая будет барьером от распространения загрязняющих веществ и шума.

Как правило, сборочные цеха располагаются на техногенных территориях, ближе к селитебной зоне. Основные источники загрязнения атмосферы связаны с процессами сварки, механической обработки, окраски и испытания изготовленного транспорта. В выбросах присутствуют летучие органические соединения (ЛОС), оксиды азота, оксид углерода, твердые частицы и аэрозоли металлов. Дополнительным фактором является образование парниковых газов, прежде всего  $\text{CO}_2$ , при потреблении электроэнергии и топлива. В рамках реализации Стратегии достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года [1] промышленным предприятиям необходимо поэтапно снижать углеродную интенсивность производства за счет модернизации оборудования, внедрения энергоэффективных инновационных технологий.

Экологическая модернизация также осуществляется на основе положений Экологического кодекса Республики Казахстан [3], предусматривающего внедрение новых более экологичных технологий. Для автосборочных предприятий - это применение водоразбавляемых и порошковых лакокрасочных материалов, установку систем улавливания ЛОС, высокоэффективных рукавных и картриджных фильтров, а также создание замкнутых циклов водоснабжения.

Существенную роль в снижении воздействия играет установление и обустройство санитарно-защитных зон (СЗЗ), регламентируемых санитарными правилами [2]. СЗЗ формируется на основании расчетов рассеивания загрязняющих веществ и оценки уровня шума. Эффективность

СЗЗ как буферной зоны во многом определяется качеством озеленения территории.

Озеленение санитарно-защитных зон выполняет комплексную экологическую функцию. Древесно-кустарниковые насаждения способны задерживать порядка 60 % пылевых частиц, снижать концентрацию газообразных загрязнителей за счет процессов адсорбции и фотосинтеза, а также уменьшать уровень шума до 12 дБ при достаточной ширине защитной полосы.

При проектировании и озеленении СЗЗ необходимо учитывать следующие факторы:

- климатические характеристики места расположения предприятия;
- отдаленность жилых массивов;
- особенности региона;
- устойчивость предполагаемых для озеленения санитарной зоны растений к промышленным выбросам.

В условиях Карагандинского региона предпочтение следует отдавать морозоустойчивым и засухоустойчивым видам. Необходимо также учесть воздействие промышленных загрязнений. К числу наиболее устойчивых древесных пород относятся карагач, тополь пирамидальный, береза повислая, сосна обыкновенная. Из кустарников эффективны сирень и шиповник.

Наибольший защитный эффект достигается при посадке деревьев и кустарников различной высоты. Достаточная ширина зеленой полосы в пределах СЗЗ должна доходить до 50 м. Расположение насаждений рекомендуется ориентировать перпендикулярно направлению преобладающих ветров, создавая непрерывный барьер для распространения загрязняющих веществ.

Дополнительно возможно высадить разнотравье по типу газонов. Важным элементом является регулярный уход за зелеными насаждениями, включая полив, подрезку.

Таким образом, озеленение санитарно-защитных зон предприятий по сборке автомобилей является важной природоохранной мерой. В сочетании с внедрением НДТ, мероприятиями по сокращению выбросов и реализацией политики углеродной нейтральности озеленение позволяет существенно повысить экологическую устойчивость промышленной территории и снизить уровень воздействия на население прилегающих районов.

#### *Список использованных источников*

- 1 Об утверждении Стратегии достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года. Указ Президента Республики Казахстан от 2 февраля 2023 года № 121
- 2 Об утверждении Санитарных правил "Санитарно-эпидемиологические требования к санитарно-защитным зонам объектов, являющихся объектами воздействия на среду обитания и здоровье человека" № Приказ и.о. Министра здравоохранения Республики Казахстан от 11 января 2022 года № ҚР ДСМ-2.
- 3 Экологический Кодекс Республики Казахстан от 2 января 2021 года № 400 – VI ЗРК



## ӨНДІРІСТІК АВТОМАТТАНДЫРУ ЖӘНЕ РОБОТТАНДЫРУ ЖҮЙЕЛЕРІ

Қазіргі индустриялық өндірісте автоматтандыру мен роботтандыру жүйелері өнімділікті арттыру, еңбек шығындарын азайту және өндірістік процестердің сапасын жақсарту мақсатында кеңінен қолданылады. Өндірістік автоматтандыру – адам қатысынсыз немесе азайған жағдайда өндірістік операцияларды басқару процесі, ал роботтандыру – робот техникалары арқылы өндіріс операцияларын орындау болып табылады.

Өндірістік автоматтандыру жүйелері

Өндірістік автоматтандыру жүйелері (ӨАЖ) әртүрлі өндіріс салаларында қолданылады: металлургия, химия, тамақ өнеркәсібі, машина жасау және басқалар. Автоматтандыру жүйелерінің негізгі элементтері:

1. Сенсорлар мен датчиктер – өндірістік процестегі физикалық шамаларды өлшейді (температура, қысым, деңгей, жылдамдық).

2. Басқару құрылғылары– PLC (Programmable Logic Controller) немесе компьютерлік жүйелер арқылы процесс автоматты түрде бақыланады.

3. Актюаторлар – электр, гидравликалық немесе пневматикалық механизмдер, олар процесті нақты физикалық әрекеттер арқылы жүзеге асырады.

Автоматтандыру жүйелері үш деңгейде ұйымдастырылады:

Базалық деңгей – сенсорлар мен актюаторлар арқылы нақты процесті басқару.

Орта деңгей – операторлар мен өндірістік бағдарламалық қамтамасыз ету арқылы процестерді оңтайландыру.

Жоғарғы деңгей – өндірістік стратегияларды жоспарлау, есептеу және бақылау.

Роботтандыру жүйелері

Роботтандыру – өндірістік процестерде адам күшін ауыстыру немесе толықтыру үшін роботтарды пайдалану. Роботтар келесі функцияларды атқара алады: Жүк көтеру және тасымалдау, Дәнекерлеу және монтаждау, Бояу және қаптау, Құрастыру, жөндеу және тексеру.

Роботтандыру жүйелерінің артықшылықтары:

Өндіріс жылдамдығын арттыру,

Қауіпсіздікті қамтамасыз ету,

Қайталанатын жұмысқа адам күшін үнемдеу,

Өнім сапасын тұрақтандыру.

Өндірістік автоматтандыру мен роботтандырудың интеграциясы

Қазіргі өндірісте автоматтандыру мен роботтандыру бірігіп, интеллектуалды өндіріс жүйелерін құрайды. Мысалы, «ақылды зауыттар»

(Smart Factory) – сенсорлар, роботтар және бағдарламалық қамтамасыз ету арқылы өндірістік процестерді толық автоматтандырады. Мұндай жүйелер: Деректерді жинау және талдау – өндіріс тиімділігін арттыру.

Қашықтықтан басқару – операторлар өндірісті қашықтан бақылай алады.

Процестерді оңтайландыру – энергияны үнемдеу, шикізат шығынын азайту..

Автоматтандыру мен роботтандыру жүйелерінің дамуына өнеркәсіптік интернет (Industrial Internet of Things – IIoT) технологиясы да үлкен әсер етуде. IIoT жүйесінде өндірістік жабдықтар, сенсорлар және басқару құрылғылары бір желіге қосылып, өзара деректер алмасады. Бұл деректер арнайы аналитикалық бағдарламалар арқылы өңделіп, өндірістік процестерді оңтайландыруға мүмкіндік береді. Мысалы, жабдықтардың жұмыс режимін талдау арқылы олардың қызмет ету мерзімін ұзартуға және техникалық қызмет көрсету шығындарын азайтуға болады.

Сонымен қатар, автоматтандырылған өндірісте қауіпсіздік мәселесі де маңызды орын алады. Өндірістік жүйелерде арнайы қауіпсіздік протоколдары, апаттық тоқтату жүйелері және интеллектуалды бақылау механизмдері қолданылады. Бұл технологиялар өндірістегі апаттық жағдайлардың алдын алып, жұмысшылардың қауіпсіздігін қамтамасыз етеді.

Болашақта өндірістік автоматтандыру мен роботтандыру жүйелері одан әрі жетілдіріледі. Жасанды интеллект, үлкен деректерді талдау (Big Data), цифрлық егіздер (Digital Twin) және бұлттық есептеулер сияқты технологиялар өндірістік басқару жүйелерін жаңа деңгейге көтереді. Мұндай инновациялар өндірістік процестердің толық цифрлық моделін жасап, олардың тиімділігін алдын ала болжауға мүмкіндік береді.

Қорытындылай келе, өндірістік автоматтандыру мен роботтандыру – қазіргі заманғы индустрияның негізгі даму бағыты. Бұл технологиялар өндірісті жоғары тиімді, қауіпсіз және икемді етуге көмектеседі. Сонымен қатар олар кәсіпорындардың жаһандық нарықтағы бәсекеге қабілеттілігін арттырып, экономиканың тұрақты дамуына үлкен үлес қосады.

Пайдаланылған әдебиеттер

1. Иванов И.И. Автоматизация производственных процессов. – М., 2020.
2. Петров П.П. Роботизация промышленности. – СПб., 2019.
3. Smith J. Industrial Automation and Robotics. – New York, 2021.
4. Жанұзақова А. Өндірістік автоматтандыру негіздері. – Алматы, 2018.
5. Талапова Г., Қабылдаева Л. Роботтандыру жүйелерінің теориясы мен практикасы. – Қарағанды, 2022.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЙ TiC ДЛЯ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ ПЛАСТИН КОМПАКТОРА

Защитные покрытия в машиностроении играют огромную роль. Они увеличивают срок эксплуатации изделия, защищают от коррозии и от многих других разрушающих факторов. Повышение износостойкости деталей в узлах трения машин и механизмов является актуальной задачей триботехники [1,2].

Цель работы состояла в исследовании механических характеристик износостойких покрытий на рабочих поверхностях уплотнительных пластин компактора, применяемого для производства азотных удобрений.

Объектом для проведения исследования было выбрано покрытие на основе соединения TiC. Карбиды титана характеризуются низкой плотностью, высокой прочностью, коррозионной стойкостью и хорошими антифрикционными свойствами [3].

Покрытие на образцы наносили на установке модели «DREVA 600» путем химического осаждения из импульсной плазмы катодно-дугового разряда в парогазовой среде [4].

Исследуемые покрытия формировались на поверхности легированной стали 12X18H10T. Поверхность образцов перед нанесением покрытия подвергалась механической полировке (11 класс чистоты), далее проводилось обезжиривание растворителем Нефрас С-4 150/200. Затем образцы промывались проточной и дистиллированной водой.

Толщину покрытия определяли тестом «Кало» при помощи устройства «Kalomax» и электронного микроскопа «AskAnia».

Метод основан на том, что контролируемый образец зажимается в тисках устройства «Kalomax». На зажатый образец устанавливается закаленный шарик, на вершину шарика наносится микроабразивная паста таким образом, чтобы при вращении шарика данная паста истирала покрытие (т.е. находилась в контакте с покрытием образца). Истирание происходит до тех пор, пока шарик не протрет покрытие до основы образца, это достигается благодаря подбору частоты вращения шарика и времени вращения шарика. Затем образец устанавливается на электронный микроскоп и при помощи специального программного обеспечения определяется толщина покрытия в мкм.

Микротвердость покрытия измеряли с помощью микротвердомера «CV400AAT». Суть метода заключается в том, что образец зажимается в тисках устройства, затем в образец автоматически вдавливаются индентор.

Результаты вдавливания при помощи цифровой камеры, установленной на устройстве, передаются в ПК, где при помощи специального программного обеспечения, определяется микротвердость покрытия.

Адгезионную прочность сцепления слоя покрытия с подложкой исследовали при помощи твердомера по методу Роквелла. В образец вдавливали индентор, и оценивали скалывание частиц слоя.

Параметры микротвердости в зависимости от толщины покрытий образцов представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Показатели толщины слоя и микротвердости покрытий

| Номер образца                        | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|
| Фактическая толщина слоя TiC, мкм    | 2,1  | 2,5  | 3,2  | 3,6  | 4,0  |
| Микротвердость, Н <sub>ц</sub> , ГПа | 25,2 | 28,0 | 30,2 | 27,2 | 23,2 |

При исследовании механических характеристик установили, что микротвердость покрытий повышается при увеличении фактического слоя до 3 мкм. При дальнейшем увеличении толщины покрытия микротвердость снижается.

Анализ результатов исследований позволяет сделать вывод, что качество адгезии покрытия на исследуемом покрытии соответствует оценке очень хорошо-HF1. Оптимальная толщина слоя износостойкого покрытия TiC составляет 3 мкм.

В рамках выполнения работы были проведены тестовые испытания деталей компактора для производства гранулированных комплексных азотных удобрений, изготовленных из легированной стали 12X18H10T, с нанесенным износостойким покрытием TiC. Анализ результатов по определению стойкости пластин для компактора позволяет сделать вывод, что при нанесении износостойкого покрытия TiC коррозионно-механический износ пластин уменьшился ~ в 2 раза.

#### *Список использованных источников*

1. Основы трибологии: учеб. пособие для вузов / Л. С. Пинчук [и др.] Гродно: ГрГУ, 2005. – 194 с.
2. Табаков, В.П. Принципы формирования и технологии нанесения износостойких покрытий режущего инструмента: учебное пособие / В. П. Табаков, С. Н. Григорьев, А. С. Верещака. – Ульяновск: УлГТУ, 2012. – 196 с.
3. Маркова, Е.А. Износостойкие покрытия для режущих инструментов: пособие для студентов / Е.А. Маркова, О.К. Яцкевич. – Минск : БНТУ, 2021. – 50 с.
4. Соснин, Н.А., Ермаков, С.А., Тополянский, П.А. Плазменные технологии. Руководство для инженеров. СПб: Издательство Политехнического университета, 2013. – 406 с.

## ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ САПАСЫН БАҒАЛАУ: ЕНГІЗУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ ЖӘНЕ НОРМАТИВТІК БАЗАСЫ

1. Жүйелік тәуекелдердің алдын алу механизмі ретінде жасанды интеллект сапасын бағалау. Жасанды интеллектті маңызды салаларға белсенді енгізе отырып, сапа мәселесі техникалық тестілеуден асып түседі және қоғамдық қауіпсіздік мәселесіне айналады. AI адамдардың өмірі мен денсаулығына әсер ететін шешімдер қабылдайды, сондықтан тек функционалдылықты бағалау жеткіліксіз. Жүйенің мінез-құлқының сенімділігін, дұрыстығын және болжамдылығын жан-жақты бағалау қажет. Авторлар "жасанды интеллект жүйесіндегі ақаулар бағалаудың дәлдігінің жеткіліксіздігімен, қате жіктелуімен, тәуекелдерді дұрыс болжам жасаумен және қате немесе орынсыз ұсыныстармен байланысты" деп атап көрсетеді (1.1-бөлім, 2-бет, "жасанды интеллект жүйелерінің сапасын бағалау: көрсеткіштерге негізделген тәсіл"). Бұл жасанды интеллект қателерінің қолданбалы және әлеуметтік маңызды екенін растайды.

2. Бағалаудың әдіснамалық мәселесі ретінде АИ-нің ықтималдық сипаты. Жасанды интеллекттің негізгі ерекшеліктерінің бірі-оның ықтималдық сипаты. Детерминирленген бағдарламалық жүйелерден айырмашылығы, модельдеу нәтижесі статистикалық заңдылықтарға және деректердің таралуына байланысты. Бұл дәстүрлі сапа критерийлерін қайта қарауды және белгісіздікті ескеретін көрсеткіштерді енгізуді талап етеді. Мақалада "жасанды интеллект жүйелері ықтималды және пайдалану процесінде бейімделумен сипатталады" (1.2-бөлім, 3-бет, "жасанды интеллект жүйелерінің сапасын бағалау: көрсеткіштерге негізделген тәсіл"). Сондықтан сапаны бағалау әртүрлі жұмыс сценарийлеріндегі жүйенің мінез-құлқын талдауды қамтуы керек.

3. Бағдарламалық жасақтама сапасының дәстүрлі модельдерінің шектеулері. ISO/IEC стандарттарында бекітілген классикалық сапа модельдері дәстүрлі Бағдарламалық жасақтамаға арналған. Алайда, интеллектуалды жүйелер қолданыстағы ережелермен толық ескерілмеген қасиеттерге ие. Бұл әсіресе шешім қабылдау процесінің ашықтығына және оқу деректеріне тәуелділікке қатысты. Авторлар "шешім қабылдау процесінің ашықтығын ("қара жәшік" эффектісі деп аталады)" (1.2-бөлім, 3-бет, "жасанды интеллект жүйелерінің сапасын бағалау: көрсеткіштерге негізделген тәсіл") көрсетеді. Бұл реттеуші база жасанды интеллекттің ерекшелігіне бейімделуі керек дегенді білдіреді.

4. Екі деңгейлі сапа моделі: өнім және пайдалану. ЖИ сапасын жан-жақты бағалау сипаттамаларды ішкі және операциялық деп бөлмей мүмкін емес. Ішкі сапа архитектурамен, алгоритмдердің дұрыстығымен және

өнімділік көрсеткіштерімен байланысты. Пайдалану процесіндегі сапа жүйенің пайдаланушыға әсерін және оны қолдану мәнмәтінің көрсетеді. Зерттеуде "ISO/IEC 25059 стандарты екі модельді сипаттайды: өнім сапасының моделі және пайдалану кезіндегі сапа моделі" (2.1-бөлім, 5-бет, "жасанды интеллект жүйелерінің сапасын бағалау: көрсеткіштерге негізделген тәсіл"). Бұл көп деңгейлі талдау қажеттілігін растайды.

5. Ашықтық ЖИ-ге деген сенімнің шарты ретінде. Заманауи жасанды интеллект жүйелері шешімдердің түсіндірілуін қажет ететін реттелетін салаларда көбірек қолданылады. Ашықтықсыз пайдаланушылар мен реттеушілердің сенімін қамтамасыз ету мүмкін емес. Мақалада ашықтық "жасанды интеллект жүйесінің нәтижелері әсер ететін барлық мүдделі тараптар ішкі операцияларды оның қалай жасалатынын, оқытылатынын және енгізілетінін толық түсінуі керек" дегенді білдіреді (3.3-бөлім, 11-бет, "жасанды интеллект жүйелерінің сапасын бағалау: көрсеткіштерге негізделген тәсіл"). Осылайша, мөлдірлік дәлдікпен қатар сапа критерийіне айналады.

6. Деректердің өзгеруіне төзімділіктің сипаттамасы ретінде сенімділік. Нақты жұмыс жағдайында кірістердің таралуы оқу үлгісінен өзгеше болуы мүмкін, бұл модельдің дәлдігін төмендетеді. Сондықтан AI сапасы осындай өзгерістерге төзімділікті бағалауды қамтуы керек. Мақалада сенімділік жүйенің "күтпеген пайдалану жағдайында" функционалдық дұрыстығын сақтау қабілеті ретінде анықталады (3.4-бөлім, 13-бет, "жасанды интеллект жүйелерінің сапасын бағалау: көрсеткіштерге негізделген тәсіл"). Бұл стресс-тестілеу және шекаралық сценарийлерді талдау қажеттілігін көрсетеді.

7. Модельдің сапасын жүйенің сапасынан ажыратыңыз. Жалпы қателік-ai сапасын модельдің дәлдік көрсеткіштерімен сәйкестендіру. Дегенмен, толыққанды жүйе деректерді, инфрақұрылымды, интерфейсті және пайдаланушының өзара әрекеттесу механизмдерін қамтиды. Зерттеу "AI моделінің сапасын бағалау бүкіл AI жүйесінің сапасын бағалауға тең келмейді" деп атап көрсетеді (5.3-бөлім, 20-бет, "жасанды интеллект жүйелерінің сапасын бағалау: көрсеткіштерге негізделген тәсіл"). Бұл бағалауға жүйелі көзқарасты қажет етеді.

*Пайдаланылған көздердің тізімі:*

*Quality Assessment of Artificial Intelligence Systems: A Metric-Based Approach*  
[https://www.mdpi.com/2079-9292/15/3/691?utm\\_source=.com](https://www.mdpi.com/2079-9292/15/3/691?utm_source=.com)

## МАШИНА ЖАСАУ САЛАСЫНДАҒЫ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ТАЗА ТЕХНОЛОГИЯЛАР

Қазіргі таңда машина жасау өнеркәсібі жаһандық экономиканың негізгі қозғаушы күші болып табылады. Алайда, бұл сала қоршаған ортаға ең көп зиян келтіретін секторлардың бірі. Шикізатты өндіру, металл өңдеу және дайын өнімді құрастыру кезеңдерінде орасан зор энергия жұмсалып, атмосфераға зиянды газдар бөлінеді. Сондықтан, «Төртінші өнеркәсіптік революция» (Industry 4.0) аясында экологиялық таза немесе «жасыл» технологияларды енгізу — уақыт талабы.

### Негізгі бөлім

Экологиялық таза технологиялардың басты мақсаты — өндіріс тиімділігін арттыра отырып, табиғатқа келетін зардапты азайту. Бұл бағытта бірнеше негізгі технологияларды ерекшелеуге болады:

Аддитивті технологиялар (3D басып шығару): Дәстүрлі механикалық өңдеу кезінде (жону, фрезерлеу) металдың 50-70%-ы жоңқа түрінде қалдыққа кетеді. Ал 3D басып шығару технологиясы бөлшекті қабат-қабат бойынша жинайды, бұл материалдың шығынын 90%-ға дейін азайтуға мүмкіндік береді.

Энергияны үнемдеу және жаңартылатын көздер: Қазіргі заманауи машина жасау кәсіпорындары күн панельдері мен жел генераторларын қолдануға көшуде. Сонымен қатар, станоктардың тежелу кезінде энергияны қайта өндіру (рекуперация) жүйелері енгізілуде.

Экологиялық таза материалдар: Өндірісте улы емес, қайта өңдеуге келетін композиттік материалдар мен био-пластиктерді қолдану артып келеді. Бұл өнімнің қызмет ету мерзімі аяқталғаннан кейін оны кәдеге жаратуды жеңілдетеді.

Суды тұйықталған циклде қолдану: Металдарды салқындату және жуу кезінде қолданылатын суды арнайы сүзгілер арқылы тазартып, қайтадан өндіріске жіберу — су ресурстарын үнемдеудің төте жолы.

### Қазақстандағы машина жасаудың болашағы

Қазақстанның машина жасау саласы да біртіндеп экологиялық стандарттарға көшуде. Электромобильдерді құрастыру, ауыл шаруашылығы техникаларын жаңарту және заманауи тазарту қондырғыларын орнату — бұл бағыттағы алғашқы қадамдар. «Жасыл» экономикаға көшу стратегиясы аясында кәсіпорындарға экологиялық салықтар мен жеңілдіктер жүйесі енгізілуде.

Қазіргі заманғы өндірісте экологиялық стандарттарды сақтау тек қоршаған ортаны қорғау үшін ғана емес, сонымен қатар өндірістің тиімділігін арттыру үшін де маңызды. Көптеген дамыған мемлекеттерде

кәсіпорындар экологиялық менеджмент жүйелерін енгізіп, өндіріс қалдықтарын азайтуға бағытталған технологияларды қолдануда. Бұл тәсілдер өндірістік процестерді оңтайландырып, энергияны үнемдеуге және табиғи ресурстарды ұтымды пайдалануға мүмкіндік береді.

Мысалы, заманауи сандық басқарылатын станоктар (CNC) материалды өте дәл өңдеуге мүмкіндік береді. Нәтижесінде артық қалдықтар азайып, өндірістің жалпы тиімділігі артады. Сонымен қатар, автоматтандырылған басқару жүйелері өндіріс процесін нақты уақыт режимінде бақылап, энергия мен шикізаттың шығынын азайтады.

Тағы бір маңызды бағыт — өндіріс қалдықтарын қайта өңдеу. Металл жоңқаларын қайта балқыту, пайдаланылған майларды тазарту және қайта қолдану, сондай-ақ пластик және композиттік материалдарды қайта өңдеу кәсіпорындардың экологиялық жауапкершілігін арттырады. Бұл шаралар қоршаған ортаға түсетін жүктемені азайтып қана қоймай, кәсіпорынның экономикалық тиімділігін де арттырады.

Сондай-ақ цифрлық технологияларды енгізу өндірістің экологиялық әсерін азайтуға көмектеседі. Өндірісті модельдеу және цифрлық егіздер (digital twin) технологиясы арқылы инженерлер бөлшектерді алдын ала виртуалды ортада тексеріп, өндіріс кезінде болатын қателерді азайтады. Бұл материал шығынын төмендетіп, энергияны үнемдеуге мүмкіндік береді.

Машина жасаудағы экологиялық таза технологиялар тек табиғатты қорғау құралы емес, сонымен қатар кәсіпорынның бәсекеге қабілеттілігін арттыратын экономикалық фактор. Ресурстарды тиімді пайдалану шығындарды азайтып, өнім сапасын жақсартады. Болашақта тек экологиялық таза өндіріс қана тұрақты дамуды қамтамасыз ете алады.

*Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:*

1. Әбішев Қ.М. *Машина жасау технологиясы: Оқулық.* – Алматы: Эпиграф, 2021. – 320 б.
2. Смит Дж. *Экологическое производство в 21 веке.* – М.: Мир, 2019. – 150 с.
3. *Қазақстан Республикасының «Жасыл экономикаға» көшу тұжырымдамасы, 2013 ж.*
4. *Industry 4.0: Sustainable manufacturing reports, 2023.*



## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ ИЗНОСОСТОЙКИХ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ HARDOX

Износостойкие высокопрочные стали HARDOX (марки 350, 450, 500, 550, 600, 650, 700) получили обозначение в соответствии с номинальной твёрдостью материала. Данные стали отличаются высокой твёрдостью и повышенной износостойкостью. При электродуговой сварке стали HARDOX требуют особого подхода и строгого соблюдения установленных нормативных требований, поскольку данный материал чувствителен к нарушению режимов сварки. Одной из основных сфер применения этих сталей является горнодобывающая промышленность. На экскаваторах иностранного производства, таких как Cat и Hitachi, данный материал широко используется практически всеми производителями. Исключение составляют отдельные модели советского производства, такие как ЭКГ-5А, ЭКГ-8И и ЭКГ-12.

Основным недостатком данного материала является его уязвимость к вибрационным и ударным нагрузкам. Замена детали из стали HARDOX, в частности ковша экскаватора Hitachi, в большинстве случаев является экономически нецелесообразной, поскольку использование данного материала связано со значительными финансовыми затратами. В связи с этим сварочный ремонт таких деталей представляет собой одно из важных направлений производственной деятельности.

Сварка данного материала осуществляется в следующей последовательности:

1. Подготовка детали к ручной дуговой сварке.
2. Очистка кромок: необходимо удалить грязь, ржавчину, масло и влагу; для этого рекомендуется использовать металлическую щётку.
3. Предварительный подогрев при толщине металла более 20–25 мм. При низких температурах рекомендуемая температура перед сваркой составляет 80–120 °С для толщины от 30 мм; при большей толщине — 120–150 °С.

При ручной дуговой сварке (ММА) применяется номинальный сварочный ток ниже, чем при сварке обычных сталей.

Одной из важнейших характеристик стали HARDOX является её высокая чувствительность к перегреву. Даже незначительное отклонение от установленных нормативов может привести к образованию дефектов сварного соединения, выявляемых при рентгенографическом контроле.

*Список использованных источников:*

1. Рыбаков, В. М. Дуговая и газовая сварка. Москва: Высшая школа, 1986. — 208 с.
2. Фоминных, В. П., Яковлёв, А. П. Ручная дуговая сварка. Москва: Высшая школа, 1986. — 288 с.

## ВНЕДРЕНИЕ ИОТ-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА В МАШИНОСТРОЕНИИ

Современное машиностроение активно развивается в условиях цифровой трансформации промышленности. Повышение требований к качеству продукции, снижению издержек и увеличению производительности вынуждает предприятия внедрять новые технологические решения. Одним из наиболее перспективных направлений цифровизации является использование технологий Интернета вещей, обеспечивающих интеграцию оборудования, информационных систем и персонала в единую цифровую среду.

Интернет вещей представляет собой систему взаимосвязанных устройств и датчиков, способных собирать, передавать и анализировать данные через сеть без участия человека. В машиностроении IoT применяется для мониторинга состояния оборудования, управления производственными линиями и анализа технологических процессов в реальном времени. Использование таких технологий позволяет повысить прозрачность производственных процессов и оперативно реагировать на возникающие отклонения.

IoT-технологии основаны на применении датчиков, контроллеров и программных платформ, объединённых в единую информационную систему. Каждый элемент оборудования получает возможность передавать данные о своём состоянии, нагрузке, температуре, вибрации и других параметрах. Это создаёт условия для комплексного анализа работы производственных систем и повышения надёжности оборудования.

Одним из ключевых направлений применения IoT является концепция умных фабрик. Умная фабрика представляет собой автоматизированное производство, в котором оборудование, системы управления и персонал взаимодействуют через цифровые платформы. Благодаря использованию IoT-технологий станки и производственные линии способны самостоятельно передавать информацию о текущем состоянии, необходимости технического обслуживания или возможных неисправностях, что позволяет минимизировать простои и повысить эффективность эксплуатации оборудования.

Важным преимуществом внедрения IoT является возможность удалённого управления и мониторинга производственных процессов. Инженеры и операторы получают доступ к данным о работе оборудования через специальные программные интерфейсы, находясь за пределами производственного цеха. Удалённый мониторинг позволяет в реальном

времени отслеживать ключевые параметры работы станков и оперативно принимать управленческие решения.

Сбор и анализ данных в реальном времени являются основой повышения эффективности производственного процесса. Полученные данные обрабатываются с использованием современных алгоритмов анализа и позволяют выявлять неэффективные участки производства. На основе результатов анализа возможно оптимизировать загрузку оборудования, снизить энергопотребление и повысить общую производительность предприятия. Кроме того, накопленные данные используются для прогнозирования износа оборудования и предотвращения аварийных ситуаций.

Для наглядного представления принципа работы IoT-технологий в машиностроении может быть использована схема функционирования IoT-системы, включающая этапы сбора данных датчиками, передачи информации через сеть, обработки данных на IoT-платформе и отображения результатов на панели управления инженера. Такой подход позволяет обеспечить комплексный контроль производственных процессов и повысить эффективность управления оборудованием.

Таким образом, внедрение IoT-технологий в машиностроении является важным шагом на пути к созданию эффективного и конкурентоспособного производства. Использование умных фабрик, систем удалённого управления и мониторинга оборудования, а также анализ данных в реальном времени позволяют значительно повысить производительность и снизить эксплуатационные затраты. Интернет вещей открывает новые возможности для развития машиностроительной отрасли и требует от будущих инженеров знаний в области информационных технологий, автоматизации и анализа данных.

#### **Список литературы**

1. Кузнецов В.П. Интернет вещей в промышленности. — М.: Техносфера, 2021.
2. Иванов А.С. Цифровое производство и умные фабрики. — СПб.: Питер, 2020.
3. Lee J., Bagheri B., Kao H.A. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0 // *Manufacturing Letters*, 2019.
4. ISO/IEC 30141 — Internet of Things Reference Architecture.
5. Шваб К. Четвёртая промышленная революция. — М.: Эксмо, 2018.

## ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА ИЗНОС РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

В современных условиях развития машиностроения и металлообрабатывающей промышленности повышение эффективности процессов механической обработки является одной из важнейших производственных задач. Рост требований к качеству выпускаемой продукции, точности размеров и чистоте обработанных поверхностей, а также необходимость снижения себестоимости изделий и повышения конкурентоспособности предприятий обуславливают необходимость совершенствования технологических процессов механической обработки[1].

Одним из ключевых факторов, определяющих эффективность обработки металлов резанием, является стойкость режущего инструмента. От величины стойкости напрямую зависят производительность оборудования, стабильность технологического процесса, качество обработанной поверхности и экономические показатели производства. Частая замена инструмента приводит к увеличению времени простоя оборудования, росту затрат на инструментальное обеспечение и снижению общей эффективности производства[2].

При обработке конструкционных сталей режущий инструмент подвергается интенсивному износу, обусловленному воздействием высоких температур, значительных сил резания и повышенных контактных напряжений в зоне резания[3]. В процессе резания возникают сложные физико-механические и термические явления, способствующие развитию различных видов износа режущей кромки, таких как абразивный, адгезионный, диффузионный и окислительный износ. Эти процессы приводят к ухудшению геометрии режущей части инструмента и снижению его работоспособности.

Особую роль в обеспечении необходимой стойкости режущего инструмента играет правильный выбор режимов резания — скорости резания, подачи и глубины резания. Неправильно подобранные режимы резания приводят к резкому увеличению температур в зоне резания, росту сил резания и вибраций, что, в свою очередь, вызывает ускоренное разрушение режущей кромки, ухудшение точности обработки и снижение качества поверхности детали. Это особенно актуально при обработке конструкционных сталей, широко применяемых в машиностроении и отличающихся разнообразием механических и физических свойств[4].

В условиях внедрения современного высокопроизводительного оборудования, станков с числовым программным управлением и автоматизированных производственных систем возрастает необходимость научно обоснованного выбора режимов резания и оценки стойкости режущего инструмента. Оптимизация параметров процесса резания позволяет не только повысить ресурс инструмента, но и обеспечить стабильность технологического процесса, снизить производственные затраты и повысить эффективность использования оборудования.

Таким образом, исследование влияния режимов резания на стойкость режущего инструмента при обработке конструкционных сталей является актуальной научно-технической задачей, имеющей важное практическое значение для современного машиностроительного производства[5].

В ходе анализа научных статей, монографий и патентов установлено, что износ режущего инструмента при механической обработке конструкционных сталей представляет собой сложный физико-химический процесс, протекающий в условиях высоких температур, давлений и скоростей деформации. Согласно классическим положениям теории резания, основными механизмами износа являются **абразивный, адгезионный, диффузионный и термический (окислительный) износ**, которые могут проявляться как по отдельности, так и в комбинированной форме.

*Список использованных источников:*

1. Equbal A., et al. A recent review on advancements in dimensional accuracy of FDM-based 3D printed parts // *AIMS Materials Science*. — 2024. DOI: 10.3934/materci.2024046.
2. Chen J. R., Yu Y., Li H. Analysis of three-dimensional printing accuracy for medical applications // *Journal of Medical Imaging*. — 2023. DOI: 10.1117/1.JMI.10.2.026501.
3. Wei X., Liu Y., Chen Z. Geometric accuracy and dimensional precision in FDM-based gear manufacturing // *Polymers*. — 2025. DOI: 10.3390/polym17030416.
4. Georgiev B., Karadzhov T. Comparative analysis of geometric deviations in contact and non-contact measurements of 3D printed parts // *Engineering for Rural Development*. — 2023.
5. Arnold C., Hey J., Schweyen R. Dimensional accuracy of different three-dimensional printing models produced by DLP and SLA technologies // *Materials*. — 2024. DOI: 10.3390/ma17143616.

## МАШИНА ЖАСАУ КЕЗІНДЕ CAD/CAM/CAE ЖҮЙЕЛЕРІН ҚОЛДАНУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Қазіргі таңда машина жасау саласы өндірістің маңызды және қарқынды дамып келе жатқан бағыттарының бірі болып табылады. Бұл салада жаңа технологияларды енгізу өндірістік процестердің тиімділігін арттыруға, өнім сапасын жақсартуға және еңбек өнімділігін жоғарылатуға мүмкіндік береді. Заманауи өндіріс жағдайында цифрлық технологиялар кеңінен қолданылады. Солардың ішінде CAD, CAM және CAE жүйелері ерекше орын алады. Бұл жүйелер инженерлік жобалау, өндірісті ұйымдастыру және техникалық талдау жұмыстарын компьютер арқылы жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Нәтижесінде өндіріс процесі жылдам әрі дәл жүргізіліп, адам еңбегі жеңілдейді.

CAD (Computer-Aided Design) жүйелері – компьютер көмегімен жобалау жұмыстарын орындауға арналған бағдарламалық құралдар. Бұл жүйелер машина бөлшектерін, механизмдерді және әртүрлі техникалық құрылғыларды жобалау кезінде кеңінен қолданылады. CAD жүйелерінің көмегімен инженерлер екі өлшемді және үш өлшемді модельдер құра алады. Үшөлшемді модельдер бұйымның құрылымын толық әрі көрнекі түрде көрсетуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, CAD жүйелері арқылы сызбаларды автоматты түрде дайындау, өлшемдерді нақты белгілеу және жобалық құжаттарды сақтау мүмкіндігі бар.

CAD жүйелерінің маңызды артықшылықтарының бірі – жобалау барысында өзгерістер енгізудің жеңілдігі. Егер бөлшектің қандай да бір параметрін өзгерту қажет болса, оны модельде жылдам түзетуге болады. Бұл дәстүрлі сызба әдістерімен салыстырғанда әлдеқайда тиімді. Сонымен қатар, үшөлшемді модельдер арқылы бөлшектердің өзара орналасуын және жұмыс істеу принципін алдын ала талдауға болады. Қазіргі кезде машина жасау саласында AutoCAD, SolidWorks, Autodesk Inventor және CATIA сияқты CAD жүйелері кеңінен қолданылады.

CAM (Computer-Aided Manufacturing) жүйелері өндірістік процестерді автоматтандыру үшін қолданылады. Бұл жүйелер CAD бағдарламаларында жасалған модельдер негізінде өндірістік операцияларды жоспарлауға және басқаруға мүмкіндік береді. CAM жүйелері әсіресе сандық бағдарламалық басқаруы бар CNC станоктармен жұмыс істеуде кеңінен пайдаланылады. Олар құрал қозғалысының траекториясын есептеп, бөлшектерді өңдеудің тиімді әдістерін анықтайды. Нәтижесінде өндіріс дәлдігі жоғарылап, өнім сапасы жақсарады.

CAM жүйелерінің көмегімен өндірістік процестерді алдын ала модельдеуге болады. Бұл өндіріс кезінде туындауы мүмкін қателіктердің

алдын алуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, САМ жүйелері өндіріс уақытын қысқартып, материалдық ресурстарды тиімді пайдалануға көмектеседі. Сондықтан қазіргі заманғы машина жасау кәсіпорындарында бұл жүйелер кеңінен қолданылады.

CAE (Computer-Aided Engineering) жүйелері инженерлік талдау және есептеу жұмыстарын жүргізуге арналған. Бұл жүйелер жобаланған бұйымдардың жұмыс істеу қабілетін алдын ала тексеруге мүмкіндік береді. CAE бағдарламалары арқылы бөлшектердің беріктігі, деформациясы, температуралық әсері және динамикалық жүктемелері зерттеледі. Мұндай талдау нәтижесінде бұйымның сенімділігі мен қауіпсіздігін бағалауға болады.

CAE жүйелерінің басты артықшылықтарының бірі – виртуалды сынақтар жүргізу мүмкіндігі. Бұл нақты прототиптерді дайындау қажеттілігін азайтып, өнімді әзірлеуге кететін шығындарды төмендетеді. Сонымен қатар, инженерлер әртүрлі жұмыс жағдайларын компьютерлік модельдеу арқылы зерттеп, бұйымның тиімді конструкциясын анықтай алады.

Машина жасау саласында CAD, CAM және CAE жүйелерін кешенді түрде қолдану өндірістік процестердің тиімділігін айтарлықтай арттырады. Алдымен CAD жүйесінде бұйымның моделі жасалады, кейін ол CAM жүйесіне беріліп, өндірістік процесс ұйымдастырылады. Ал CAE жүйелері арқылы бұйымның беріктігі мен техникалық сипаттамалары талданады. Осындай кешенді тәсіл өндірісті оңтайландырып, жоғары сапалы өнім шығаруға мүмкіндік береді.

Қорытындылай келе, CAD, CAM және CAE жүйелері машина жасау саласының дамуына үлкен үлес қосып отыр. Бұл жүйелер жобалау сапасын арттырып, өндіріс тиімділігін жоғарылатады. Сонымен қатар, инженерлік есептеулердің дәлдігін қамтамасыз етіп, өнім сапасын жақсартуға мүмкіндік береді. Сондықтан қазіргі заманғы өндіріс жағдайында бұл технологияларды қолдану аса маңызды болып табылады.

1. *Пайдаланылған әдебиеттер*
2. Қожамқұлов Т.К., Нұрмағамбетов Ә.М. *Машина жасау технологиясы*. – Алматы: Білім, 2015.
3. Сәтбаев Қ.И., Баймұханов Б.Б. *Инженерлік графика және компьютерлік жобалау негіздері*. – Алматы: ҚазҰТУ, 2018.
4. Groover M.P. *Өндіріс жүйелері және автоматтандыру*. – Алматы: Техникалық әдебиет, 2016.
5. Zeid I. *CAD/CAM теориясы және практикасы*. – Алматы: Политехника, 2017.
6. ҚарТУ оқу-әдістемелік материалдары. *CAD/CAM/CAE жүйелерін қолдану негіздері*. – Қарағанды, 2022.

## МАШИНАЖАСАУ КӘСІПОРЫНДАРЫНЫҢ БӘСЕКЕГЕ ҚАБІЛЕТТІЛІГІН АРТТЫРУДЫҢ ЗАМАНАУИ ТЕТІКТЕРІ

Қазіргі индустриялық даму жағдайында машина жасау саласы ұлттық экономиканың стратегиялық негізін құрайды. Өндірістің технологиялық деңгейі мемлекеттің жаһандық нарықтағы орнын және экономикалық тәуелсіздігін айқындайды. Осыған байланысты отандық машина жасау кәсіпорындарының бәсекеге қабілеттілігін арттыру мәселесі ерекше өзектілікке ие.

Машина жасау – экономиканың көптеген салаларының дамуына тікелей әсер ететін маңызды өндірістік секторлардың бірі. Ол көлік, энергетика, құрылыс, ауыл шаруашылығы және қорғаныс өнеркәсібі сияқты стратегиялық бағыттармен тығыз байланысты. Сондықтан бұл саланың тұрақты дамуы елдің жалпы экономикалық өсіміне және технологиялық әлеуетіне айтарлықтай ықпал етеді.

Бәсекеге қабілеттілік – кәсіпорынның нарық талаптарына бейімделу қабілеті, өнім сапасының тұрақтылығы және тұтынушылар сұранысын тиімді қанағаттандыру мүмкіндігі..

Машина жасау саласындағы бәсекеге қабілеттілікті айқындайтын негізгі факторлар: өнімнің техникалық және сапалық сипаттамалары, өндірістік шығындардың деңгейі, инновациялық белсенділік және сервистік қызмет көрсету сапасы. Сонымен қатар нарықтағы сұранысты дұрыс болжау, маркетингтік стратегияны тиімді ұйымдастыру және тұтынушылармен тұрақты байланыс орнату да маңызды рөл атқарады.

Қазіргі уақытта сала кәсіпорындары негізгі қорлардың тозуы, өндірістік процестердің жеткіліксіз автоматтандырылуы және цифрландыру деңгейінің төмендігі сияқты мәселелерге тап болып отыр. Кейбір кәсіпорындарда заманауи технологиялардың жетіспеуі өндіріс тиімділігін төмендетіп, халықаралық нарықтағы бәсекелестікті қиындатады. Сонымен қатар жоғары технологиялық жабдықтардың қымбаттығы және инвестициялық ресурстардың шектеулі болуы да өндірісті жаңғыртуға кедергі келтіреді.

Бәсекеге қабілеттілікті арттырудың негізгі бағыттарының бірі – технологиялық жаңғырту және цифрлық трансформация. Роботтандырылған жүйелерді енгізу, автоматтандырылған өндіріс желілерін пайдалану және IoT технологияларын қолдану өндірістің тиімділігін айтарлықтай арттыруға мүмкіндік береді.

Инновациялық менеджментті дамыту да маңызды бағыттардың бірі болып табылады. Ғылыми-зерттеу және тәжірибелік-конструкторлық



жұмыстарды (ҒЗТҚЖ) күшейту жаңа өнім түрлерін жасауға және өндірістің технологиялық деңгейін арттыруға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар ресурстарды тиімді пайдалану, энергия үнемдейтін технологияларды енгізу және материалдық шығындарды оңтайландыру кәсіпорындардың экономикалық тиімділігін арттырады. Кадрлық әлеуетті жетілдіру де шешуші рөл атқарады. Заманауи CAD/CAM жүйелерімен жұмыс істей алатын жоғары білікті инженерлік мамандарды даярлау өндірістің сапасын жақсартуға мүмкіндік береді.

Қазақстан жағдайында машина жасау саласын дамыту мемлекеттік индустриялық-инновациялық саясатпен тығыз байланысты. Арнайы экономикалық аймақтар құру, салықтық жеңілдіктер беру және инвестициялық субсидиялар кәсіпорындардың жаңғырту процесін жеделдетеді. Сонымен қатар отандық өндірушілерді қолдау және ішкі нарықты дамыту да маңызды бағыттардың бірі болып табылады.

Сонымен қатар машина жасау кәсіпорындарының тиімді дамуы өндірісті ұйымдастырудың заманауи әдістерін енгізумен де байланысты. Соңғы жылдары «lean manufacturing» немесе үнемді өндіріс қағидаттары кеңінен қолданылуда. Бұл тәсіл өндіріс процесіндегі артық шығындарды азайтуға, уақытты тиімді пайдалануға және өнім сапасын арттыруға мүмкіндік береді. Үнемді өндіріс жүйесі ресурстарды оңтайлы басқаруға және кәсіпорындардың жалпы тиімділігін арттыруға ықпал етеді.

Қазіргі заманғы кәсіпорындар үшін цифрлық технологияларды енгізу ерекше маңызға ие. Ақпараттық жүйелерді пайдалану өндірістік процестерді жоспарлау мен бақылауды жеңілдетеді. ERP, PLM және CAD/CAM жүйелері кәсіпорындардың басқару құрылымын жетілдіріп, өндірістік процестердің ашықтығын арттырады. Нәтижесінде өндірістік шешімдер жылдам қабылданып, өнім шығару мерзімі қысқарады.

Сонымен қатар кәсіпорындардың инновациялық белсенділігін арттыру үшін ғылыми зерттеулерге инвестиция салу маңызды. Жаңа технологияларды әзірлеу және енгізу кәсіпорындарға жаңа өнім түрлерін шығаруға мүмкіндік береді. Бұл өз кезегінде нарықтағы сұранысты қанағаттандыруға және кәсіпорындардың бәсекелестік позициясын нығайтуға ықпал етеді.

**Пайдаланылған әдебиеттер:**

1. Портер М. Бәсекелестік стратегиясы. — Мәскеу: Альпина Паблишер, 2015.
2. Нұрғалиев Қ.Р. Қазақстанның машина жасау саласы: даму болашағы. — Алматы, 2021.
3. Смайылов А.А. Индустриялық-инновациялық даму бағдарламалары. — Астана, 2023.

## ОСНОВЫ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ИХ МЕСТО В СОВРЕМЕННОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

В последние годы аддитивные технологии, в первую очередь 3D-печать (рисунок 1), эволюционировали из инструментов быстрого прототипирования в полноценный метод промышленного производства, заменяя традиционные методы. В современном машиностроении это открывает принципиально новые подходы к проектированию, изготовлению и эксплуатации деталей. Послойное построение изделий по цифровой 3D-модели позволяет реализовывать сложную геометрию, снижать массу конструкций, сокращать сроки разработки и минимизировать затраты на оснастку. Особенно актуально это для мелкосерийного производства и концепции «производства по требованию» [1].

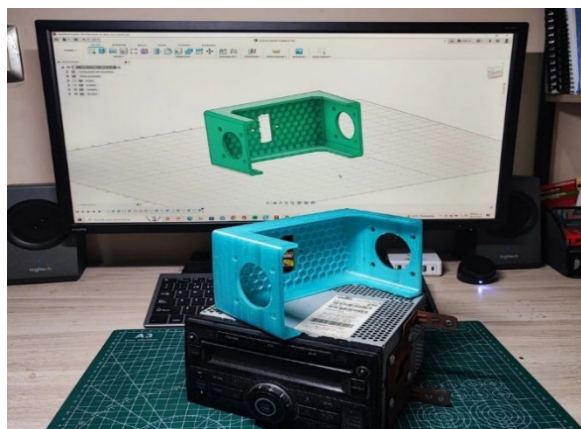


Рисунок 1 - 3D-печать детали

Исследование базируется на обобщении данных из специализированной научно-технической литературы, анализе передового опыта внедрения промышленных 3D-принтеров на предприятиях, а также на практическом изучении процессов FDM/FFF-печати полимерными материалами и 3D-моделирования в CAD-системах. В качестве исходной информации для сравнительного анализа технологий использовались характеристики современного аддитивного оборудования и стандарты технологической подготовки машиностроительного производства [2].

Среди многообразия аддитивных технологии наибольший интерес для машиностроения представляют методы, обеспечивающие высокую прочность и точность: лазерное и электронно-лучевое плавление металлических порошков (SLS, SLM, EBM), а также высокотемпературная

экструзия полимеров (FDM/FFF) и фотополимеризация (SLA). Порошковые технологии позволяют изготавливать ответственные детали со сложной внутренней геометрией, интегрированными каналами охлаждения и топологически оптимизированными структурами. Это дает возможность объединять несколько деталей в один монолитный узел, что недостижимо традиционными методами литья или фрезерования (таблица 1) [3].

Таблица 1 – Сравнительная характеристика технологий изготовления деталей

| Критерий сравнения     | Аддитивные технологии (3D-печать)                        | Традиционные методы (литье, фрезерование)                   |
|------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Сложность геометрии    | Практически не ограничена, возможны внутренние полости   | Ограничена возможностями инструмента и извлечением из формы |
| Расход материала       | Экономичный (добавляется только нужный объем)            | Высокий объем отходов (стружка) при механообработке         |
| Потребность в оснастке | Не требуется (прямое производство из CAD-модели)         | Требуются дорогие пресс-формы, штампы, спец. инструмент     |
| Эффективная серийность | Единичное и мелкосерийное производство, прототипирование | Крупносерийное и массовое производство                      |

Масштабное внедрение аддитивного производства пока сдерживается необходимостью постобработки изделий. Детали часто имеют слоистую структуру поверхности и требуют финишной доводки. Поэтому на практике эффективным решением становятся гибридные маршруты: сложная геометрия формируется аддитивно, а критические посадочные поверхности доводятся на станках с ЧПУ[4].

Таким образом, аддитивные технологии и традиционные методы не конкурируют, а взаимодополняют друг друга. Традиционные процессы остаются экономически более выгодными для массового выпуска деталей простой формы, тогда как аддитивные технологии занимают нишу сложных, индивидуализированных изделий. Интеграция послойного синтеза в общую цифровую цепочку предприятия станет определяющим фактором конкурентоспособности машиностроительных производств будущего.

#### *Список использованных источников*

1. Зленко М.А., Попович А.А., Мутылина И.Н. Аддитивные технологии в машиностроении: учебное пособие для вузов. – СПб.: СПбГПУ, 2012. – 220 с.
2. Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении. – М.: НАМИ, 2015. – 220 с.
3. Аддитивные технологии: учебное пособие / под ред. В.А. Виноградова. – Ульяновск: УлГТУ, 2020. – 136 с.
4. Аддитивные технологии / Монография. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2025.

## ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ

Современная концепция развития машиностроения неразрывно связана с переходом к цифровому производству, где ключевую роль играют интеллектуальные системы управления промышленными роботами. Эффективность автоматизации технологических процессов различного назначения во многом зависит от способности манипуляционных систем стабильно выполнять траекторные движения в сложном рабочем пространстве. Одной из наиболее значимых проблем на пути к полной цифровизации роботизированных ячеек остается возникновение кинематических сингулярностей. Это специфические конфигурации, при которых антропоморфный манипулятор теряет одну или несколько степеней свободы что приводит к резким скачкам скоростей и потере управляемости.

Традиционные подходы к решению данной проблемы долгое время основывались на механических ограничениях рабочих зон или усложнении конструкции манипулятора, однако такие методы противоречат требованиям универсальности современных производств. В связи с этим актуальным становится внедрение цифровых технологий, базирующихся на алгоритмах обхода особых точек. Математическим фундаментом для подобных решений служит аппарат матрицы Якоби, которая описывает связь между скоростями в сочленениях и движением инструмента в декартовых координатах. В классических трудах таких авторов как Зенкевич С. и Ющенко А. подчеркивается, что именно анализ свойств этой матрицы позволяет количественно оценить маневренность робота.

Процесс цифрового моделирования кинематики включает в себя расчет определителя Якобиана, который служит индикатором приближения к критическому состоянию системы. При достижении определенных пороговых значений интеллектуальный алгоритм должен инициировать процедуру коррекции параметров движения для сохранения непрерывности технологического цикла. Исторически первым значимым шагом в области интеллектуального управления траекториями стали работы Д. Уитни, который предложил метод управления по скоростям через обращение Якобиана. Тем не менее практическое применение данного подхода выявило его уязвимость при приближении к точкам вырождения, где

требуемые угловые скорости в суставах стремятся к бесконечности. Это создает критические нагрузки на волновые редукторы и сервоприводы что сокращает ресурс оборудования и может привести к экстренной остановке всей производственной линии.

Дальнейшее развитие цифровых технологий привело к появлению метода демпфированных наименьших квадратов предложенного Й. Накамурой. Суть данного метода заключается в автоматическом внесении минимальной расчетной погрешности в траекторию при прохождении зон сингулярности что позволяет сохранять непрерывность движения и защищать механические узлы от ударных нагрузок. Важным дополнением к современным цифровым системам управления являются методы оценки качества конфигураций. Индекс манипулятивности предложенный Т. Йошикавой стал универсальным цифровым критерием, позволяющим интеллектуальному контроллеру заранее определять близость к сингулярности и перестраивать стратегию движения.

Использование таких показателей в программном обеспечении позволяет реализовать концепцию интеллектуального управления, которое адаптируется к геометрии рабочего пространства без вмешательства оператора. В учебных пособиях под редакцией К. Фу и Р. Гонсалеса отмечается что интеграция подобных программных модулей в архитектуру управления роботом является необходимым условием для обеспечения надежности автоматизированного цикла. Реализация данных алгоритмов в виде встраиваемых цифровых сервисов позволяет значительно сократить время на переналадку оборудования при смене технологических задач.

Переход от жестких механических решений к гибким интеллектуальным алгоритмам компенсации особых положений расширяет горизонты применения роботизированных комплексов в машиностроительной отрасли. Использование потенциала цифровых технологий позволяет не только повысить точность перемещений, но и значительно снизить эксплуатационные риски, связанные с инерционными сбоями и повреждениями оборудования. Подводя итог анализу, можно утверждать, что внедрение интеллектуальных методов программной коррекции траекторий выступает основой для создания надежных и адаптивных систем автоматизации способных эффективно функционировать в условиях неопределенности рабочего пространства.

*Список использованных источников*

- 1.Зенкевич, С. Л. Основы управления манипуляционными роботами: учебник для вузов / С. Л. Зенкевич, А. С. Юценко. – 2 е изд. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 480 с.
- 2.Nakamura, Y. Inverse kinematic solutions with singularity robustness for robot manipulator control / Y. Nakamura, H. Hanafusa // *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*. – 1986. – Vol. 108, no. 3. – P. 163–171.
- 3.Yoshikawa, T. Manipulability of robotic mechanisms / T. Yoshikawa // *The International Journal of Robotics Research*. – 1985. – Vol. 4, no. 2. – P. 3–9.
- 4.Whitney, D. E. The mathematics of coordinated control of prosthetic arms and manipulators / D. E. Whitney // *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*. – 1972. – Vol. 94, no. 4. – P. 303–309.

## ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ 3D ПЕЧАТИ НА ТОЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ

В последние десятилетия технологии аддитивного производства, более известные как 3D-печать, заняли важное место в промышленности, науке и повседневной жизни. Данная технология основана на послойном создании объектов из данных цифровой трехмерной модели, что принципиально отличает её от традиционных методов обработки материалов, таких как резание, литье, штамповка и т.д.. 3D-печать позволяет изготавливать изделия сложной геометрической формы с высокой точностью и минимальными потерями материала [1]. Благодаря этому она широко применяется в различных отраслях, так же 3D-печать дает возможность использовать различные материалы, такие как пластик, металл, композиты, биологические ткани, строительные растворы. Помимо преимуществ 3D-печать обладает и недостатками, в производстве начали сталкиваться с необходимостью ускорять процесс печати из-за роста её востребованности и столкнулись с проблемой точности изделий при использовании более быстрых алгоритмов.

Существуют 3 самых актуальных способа 3D печати, такие как:

- FDM/FFF наплавление пластиковой нити;
- SLA/DLP/LCD отверждение жидкой смолы лазером или проектором, объекты печатаются вверх ногами в ванной с раствором;
- SLS/SLM/DMLS лазер спекает порошковые материалы, расплавляют порошок полностью, что позволяет создавать металлические детали.

**Экструзия материала** — это аддитивный метод 3D-печати, при котором нить термопластика плавится в нагретом сопле и подается к экструзионной головке. В качестве материала используются нити типа PLA, ABS, PET, PETG, TPU. Точность такого метода составляет примерно  $\pm 0,5\%$  (минимальное отклонение  $\pm 0,5$  мм). Эта технология известна как **FDM** (Fused Deposition Modeling) или **FFF** (Fused Filament Fabrication). Принцип работы заключается в подаче катушки нити в принтер: двигатель проталкивает материал через предварительно нагретое сопло, где нить плавится, после чего экструзионная головка перемещается по заданным координатам, выкладывая расплавленный пластик на платформу. На платформе материал остывает и затвердевает, формируя деталь.

**Полимеризация в ванне** — метод, при котором световой источник селективно отверждает фотополимерную смолу в резервуаре. Наиболее распространённые варианты — **SLA** (стереолитография, использует лазер) и **DLP** (Digital Light Processing, использует светодиодный проектор или УФ-лампу). Данный способ обеспечивает точность печати около  $\pm 0,5\%$ , минимальное отклонение —  $\pm 0,15$  мм.

**Слияние порошкового слоя** — процесс, в котором источник тепла выборочно расплавляет участки порошкового материала. Неиспользованный порошок одновременно служит опорой для модели. К этой группе относятся технологии **MJF, DMLS, EBM, SHS, SLM, SLS**. Точность печати достигает  $\pm 0,3\%$ . Порошковый материал нагревается до температуры чуть ниже точки плавления, затем наносится тонкий слой ( $\sim 0,1$  мм) на область построения. Лазер или другой источник энергии спекает необходимые участки детали. После этого наносится новый слой порошка, и процесс повторяется, пока деталь полностью не сформируется [2].

Основная проблема точности касается FDM/FFF способа печати, так как там самая низкая точность деталей из-за множества факторов. Скорость перемещения экструдера напрямую влияет на тепловой режим, стабильность формирования слоя и усадочные процессы. Систематизация выявленных закономерностей позволяет сформулировать следующие положения:

- увеличение скорости печати приводит к росту отклонений размеров, особенно по оси Z из-за ухудшения стабильности формирования слоя [3];
- при слишком высокой скорости снижается адгезия между слоями что вызывает геометрические искажения;
- при низкой скорости, получаем более равномерное охлаждение и уменьшение погрешностей, но если скорость будет чрезмерно низкой, то появится перегрев и локальные деформации [4];
- экспериментальные данные показывают, что существует оптимальный диапазон скорости печати, который в совокупности с другими параметрами печати дает возможность повысить скорость без особой потери точности [3].
- для повышения скорости печати и уменьшения потери скорости так же рекомендуется поворачивать деталь так, что бы наибольшее количество прямых линий были направлены под 45 градусов от изначального положения [5].

#### *Список использованных источников*

1. Zeng Lianghua. **Research on the Influence of 3D Printing Speed of External Special-Shaped Parts** IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2021. – Vol. 1986. – 012008.
2. Гарипова П.В., Исаева С.М. **Сравнительная характеристика классификаций 3D-печати: достоинства и недостатки**. Труды университета транспорта (ФГАОУ ВО). – 2023. – №12. – 757 с.
3. Андрияшкин А.Ю., Буцкин Е.Б., Чжэнь Ли. **Влияние скорости 3D-печати аддитивной установки по FDM-технологии на точность изделия** CyberLeninka. – 2023.
4. Афошин А.А. **Влияние скорости на геометрические размеры изделий при 3D-печати по FDM-технологии** Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. – 2019. – № 15. – С. 113–118.
5. Alesfester. **Печатаем быстрее и качественнее на дрыгостоле 3Dtoday**. – URL: <https://3dtoday.ru> – 2022.

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Современный этап развития станкостроения связан с необходимостью повышения точностных характеристик обработки, уменьшения уровня вибраций оборудования и увеличения его эксплуатационного ресурса. Существенное влияние на достижение указанных показателей оказывает материал, применяемый при изготовлении несущих и корпусных элементов станков - станин, оснований, стоек и других массивных деталей. Традиционно данные элементы выполняются из чугуна и стали, однако такие материалы характеризуются значительной массой, высокой энергоемкостью производства и ограниченными возможностями регулирования демпфирующих свойств.

Альтернативным направлением является создание композиционных систем с управляемыми характеристиками, которые могут целенаправленно изменяться за счет варьирования компонентного состава и внутренней структуры. Особую актуальность приобретают полимерминеральные и полимербетонные композиции, адаптированные к условиям аддитивного формообразования.

Определяющую роль в структуре композиционного материала играет связующая матрица. В качестве основы используются эпоксидные, полиэфирные и иные термореактивные смолы, формирующие после отверждения пространственно-сшитую структуру. Тип связующего подбирается с учетом требований к механической прочности, термостойкости и устойчивости к воздействию агрессивных сред. Введение модифицирующих компонентов - пластификаторов и реакционноспособных добавок - позволяет корректировать реологические параметры смеси, скорость протекания реакции отверждения и величину внутренних напряжений.

Основной объем композиции занимает минеральный наполнитель, который существенно влияет на механические и вибродемпфирующие свойства материала. Для обеспечения плотной структуры используются наполнители различной крупности: кварцевые пески, гранитные и базальтовые фракции, микрокальцит и другие инертные материалы. Оптимизация гранулометрического состава способствует повышению плотности упаковки частиц, снижению пористости и уменьшению расхода полимерной матрицы. Это приводит к росту прочности при сжатии и сокращению усадочных деформаций.



Улучшение прочностных характеристик композиции достигается также за счет армирования. Введение дисперсных и волокнистых наполнителей - стеклянных, углеродных или базальтовых волокон - способствует повышению сопротивления изгибу и растяжению, а также увеличивает трещиностойкость материала. При равномерном распределении армирующих элементов формируется пространственно ориентированная структура, препятствующая развитию микродефектов под воздействием динамических нагрузок.

При проектировании составов, предназначенных для аддитивного производства, особое внимание уделяется реологическим характеристикам. Смесь должна обладать достаточной подвижностью для прохождения через формирующий инструмент, одновременно обеспечивая сохранение геометрии после нанесения очередного слоя. Баланс между содержанием связующего и заполнителя, а также применение тиксотропных добавок позволяют стабилизировать форму печатаемых элементов и предотвратить расслоение материала. Использование аддитивных технологий дает возможность формировать детали со структурой, оптимизированной по распределению материала, включая внутренние полости и элементы усиления. При этом кинетика отверждения композиции должна соответствовать условиям послойного формования. Чрезмерно интенсивное структурообразование может затруднять процесс печати, тогда как недостаточная скорость набора прочности вызывает деформации нижних слоев. Поэтому регулирование времени схватывания и темпа набора механических свойств является важной частью разработки состава.

Создаваемые композиционные смеси ориентированы на применение в производстве ответственных деталей станочного оборудования - станин, оснований, корпусных элементов. По сравнению с традиционными металлическими материалами такие композиции обладают более высокой способностью к поглощению вибрационной энергии, что способствует повышению точности обработки и увеличению срока службы инструмента. Дополнительным преимуществом является снижение массы конструкций, упрощающее транспортировку и монтаж оборудования.

Разработка состава композиционных смесей для аддитивного изготовления элементов станков представляет собой комплексную научно-техническую задачу. Она включает выбор и модификацию связующей матрицы, оптимизацию фракционного состава заполнителя, введение армирующих и функциональных добавок, а также исследование реологических и механических параметров материала.

*Список использованных источников*

1. Халимов Р.Ш. *Повышение виброустойчивости суппортной группы токарных станков на основе образования регулярного рельефа поверхности направляющих: автореф. ... канд. техн. наук: 05.02.07.* – Ульяновск, 2011. – 19 с.

2. Барт В.Е., Санина Г.С., Шевчук С.А. *Применение полимербетонов в станкостроении.* – М.: ВНИИТЭМР, 1985. – 40 с.

## ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ В СОВРЕМЕННОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

Развитие машиностроения в условиях Индустрии 4.0 связано с переходом к интегрированной цифровой среде, объединяющей проектирование, производство и управление. Использование инженерных CAD/CAE/CAM-систем позволяет создавать цифровые модели изделий и проводить расчёты без изготовления физических образцов. В 2023–2024 гг. применение цифрового моделирования сократило сроки разработки продукции на 20–30 %, а затраты на испытания — до 25 %.

На производственном уровне внедрение PLM-систем обеспечивает централизованное управление технической документацией и контроль технологических процессов. Практика показывает, что применение таких систем сокращает время согласования документации до 30 % и снижает количество технологических несоответствий примерно на 20 %.

Одним из наиболее динамичных направлений остаётся роботизация. Согласно международной статистике, ежегодные установки промышленных роботов выросли с 384 тыс. единиц в 2020 году до 553 тыс. в 2023 году. К 2025 году прогнозируется более 630 тыс. установок, при среднем ежегодном темпе роста 8–10 %.



Рисунок 1 – Динамика внедрения промышленных роботов в машиностроении (2020–2025 гг.)

Рост роботизации способствует снижению производственного брака примерно на 15 % и повышению точности операций. Дополнительный эффект обеспечивают технологии промышленного интернета вещей, позволяющие реализовать предиктивное обслуживание и сократить незапланированные простои оборудования на 20–25 %.

Аддитивное производство также демонстрирует значительный потенциал. Применение промышленной 3D-печати уменьшает расход материала на 25–30 % и сокращает время изготовления прототипов до 40 %. По прогнозам аналитических агентств, объём мирового рынка аддитивных технологий к 2025 году превышает 40 млрд долларов США.

Цифровые технологии являются ключевым фактором повышения эффективности машиностроительного производства. В 2020–2025 гг. цифровая трансформация характеризуется устойчивым ростом роботизации, снижением простоев оборудования и уменьшением производственного брака. Внедрение цифровых решений обеспечивает повышение производительности и конкурентоспособности предприятий.

***Список использованных источников***

1. Schwab K. *The Fourth Industrial Revolution*. – Geneva: World Economic Forum, 2020.
2. International Federation of Robotics. *World Robotics Report 2024*. – Frankfurt am Main: IFR, 2024.
3. World Economic Forum. *Advanced Manufacturing and Value Chains Report 2025*. – Geneva, 2025.
4. Groover M.P. *Automation, Production Systems and Computer-Integrated Manufacturing*. – Pearson, 2021.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ КОРПУСА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО НАСОСА С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ И РЕСУРСА РАБОТЫ

Современные карьерные экскаваторы, такие как Hitachi EX3600E-6, оснащаются мощными гидравлическими системами, обеспечивающими высокую производительность и надёжность работы в тяжёлых горнотехнических условиях. Основным элементом гидропривода является гидравлический насос типа K3V280, конструкция которого определяет стабильность подачи рабочей жидкости, точность управления рабочим оборудованием и общий ресурс машины.

При эксплуатации экскаваторов выявлено, что одной из наиболее уязвимых зон насоса K3V280 является узел корпуса сервопоршня, в котором со временем происходит износ посадочных поверхностей, нарушение геометрии сопряжений и увеличение радиального зазора. Это приводит к падению давления, снижению КПД и необходимости полной замены дорогостоящего корпуса.

Актуальность исследования определяется необходимостью повышения ремонтпригодности и ресурса работы гидравлического насоса путём совершенствования конструкции корпуса с внедрением сменных втулок, позволяющих восстанавливать изношенные посадочные поверхности без замены всего корпуса.

В экскаваторах типа Hitachi EX3600E-6 и EX8000E-6, относящихся к сверхтяжёлому классу, применяются аксиально-поршневые регулируемые насосы высокого давления серии K3V, в частности модель K3V280 (рисунок 1.1). Данная серия разработана специально для карьерной техники с учётом длительной непрерывной работы, больших циклических нагрузок и повышенных требований к надёжности.

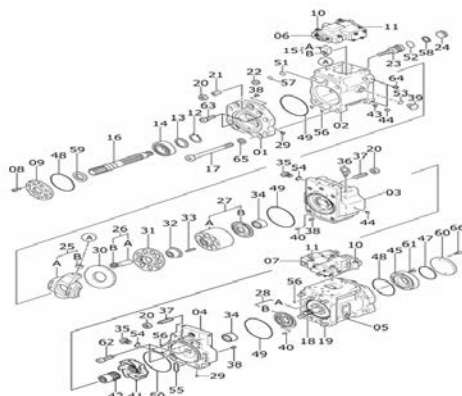


Рисунок 1– Сборочный чертеж аксиально-поршневого насоса высокого давления  
серии K3V, модель K3V280

Главным преимуществом насоса K3V280 является возможность плавного регулирования производительности без остановки двигателя и с сохранением высокого КПД. Это достигается за счёт применения регулирующего механизма с сервопоршнем, который изменяет угол наклона качающего (наклонного) диска в зависимости от сигналов системы управления.

Предложенная конструкция предусматривает установку втулок из бронзографитного сплава БрАЖ9-4 методом тепловой посадки с натягом 0,035 мм, что гарантирует надёжное соединение при рабочем давлении до 34,3 МПа.

Выполненные расчёты показали, что контактное давление в сопряжении не превышает допустимых значений, а запас прочности втулки по окружным напряжениям составляет не менее 1,2, что подтверждает надёжность узла.

Для дополнительной оценки эффективности предложенной конструкции корпуса насоса и поведения рабочей жидкости в узле сервопоршня планируется проведение численного эксперимента с использованием программного комплекса SolidWorks Flow Simulation. Этот метод позволит смоделировать поток гидравлической жидкости, выявить возможные зоны перегрева, турбулентности и перепадов давления, а также оптимизировать геометрию посадочных втулок. Результаты компьютерного моделирования послужат основой для проверки корректности конструктивных решений и повысят достоверность прогнозирования ресурса работы модернизированного насоса.

Разработанная технология восстановления включает следующие основные операции: расточку отверстия, установку втулки с тепловой посадкой, финишное шлифование и контроль геометрии и герметичности сопряжений.

Всё это может быть выполнено на стандартном ремонтном оборудовании без применения дорогостоящих специализированных станков.

В перспективе рекомендуется провести расширенные стендовые и эксплуатационные испытания модернизированных насосов, оценить изменение характеристик при длительной работе и разработать типовые технологические карты ремонта, которые могут быть внедрены на предприятиях Казахстана, специализирующихся на обслуживании гидравлического оборудования тяжёлых машин.

*Список использованных источников*

1. Иванов, А.В. Гидравлические насосы и системы карьерной техники. – М.: Машиностроение, 2020. – 312 с.

*(Описываются конструкции аксиально-поршневых насосов, принципы работы и эксплуатационные характеристики в тяжёлой технике.)*

2. Петров, С.Н., Кузнецов, Д.М. Методы восстановления изношенных деталей гидромеханических узлов. – СПб.: ЛЕНАНД, 2019. – 248 с.

*(Рассматриваются технологии установки втулок, тепловая посадка, контроль геометрии сопряжений и ремонтпригодность гидравлических агрегатов.)*

## МАШИНА ЖАСАУДАҒЫ САПАНЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕЛЕРІ

Машина жасау өнеркәсібі экономиканың стратегиялық маңызды салаларының бірі болып табылады. Бұл салада өндірілетін өнімдер жоғары дәлдікпен, сенімділікпен және қауіпсіздікпен ерекшеленуі тиіс.

Сондықтан сапаны басқару жүйелерін енгізу өндірістің тиімділігін арттырудың және бәсекеге қабілеттілікті қамтамасыз етудің негізгі факторы болып саналады.

### **Сапаны басқару жүйесі**

Өнімнің өмірлік циклі бойында сапаны жоспарлау, қамтамасыз ету, бақылау және үздіксіз жетілдіру процестерінің жиынтығы. Машина жасауда сапа тек дайын өнімнің техникалық сипаттамаларымен ғана емес, жобалау дәлдігімен, материал сапасымен және технологиялық тәртіптің сақталуымен анықталады.

Жобалау кезеңінде техникалық құжаттама, есептеулер және сызбалар мұқият тексеріледі. Қателіктерді ерте кезеңде анықтау өндірістік шығындарды азайтады. Материалдарды қабылдау барысында олардың стандарт талаптарына сәйкестігі зертханалық әдістермен тексеріледі.

Өндірістік бақылау әр технологиялық операциядан кейін жүргізіледі. Өлшеу құралдары арқылы бөлшектердің өлшем дәлдігі, бет сапасы және беріктік көрсеткіштері анықталады. Қазіргі кәсіпорындарда автоматтандырылған бақылау жүйелері кеңінен қолданылады.

### **Дайын өнім сынақтан өткізіледі:**

Жүктемеге төзімділігі, температуралық тұрақтылығы және қауіпсіздік көрсеткіштері тексеріледі. Бұл өнімнің сенімді жұмыс істеуін қамтамасыз етеді.

Сапаны басқару жүйесін енгізудің нәтижесінде ақаулар саны азаяды, өндіріс шығындары төмендейді және тұтынушы сенімі артады. Сонымен қатар халықаралық нарыққа шығу мүмкіндігі кеңейеді. Сапа – бұл тек бақылау емес, ол кәсіпорын мәдениетінің ажырамас бөлігі.

### **Сапаны басқару жүйесінің артықшылықтары**

Сапаны басқару жүйесін енгізудің нәтижесінде ақаулар саны азаяды, өндіріс шығындары төмендейді және тұтынушы сенімі артады. Сонымен қатар халықаралық нарыққа шығу мүмкіндігі кеңейеді. Сапа – бұл тек бақылау емес, ол кәсіпорын мәдениетінің ажырамас бөлігі. Сапа менеджменті ұйымның барлық деңгейінде: инженерлік-техникалық персоналда, өндіріс қызметкерлерінде және басқару құрамында үйлестірілген түрде жүзеге асырылуы тиіс.

Кәсіпорындарда ISO 9001 стандарттары негізінде сапаны басқару жүйесі енгізіледі. Бұл стандарт сапаны жүйелі түрде бақылау, ақауларды

азайту, тұтынушы талаптарын қанағаттандыру және өндіріс үдерісін үздіксіз жетілдіру қағидаларын қамтиды. Сондай-ақ, Lean және Six Sigma әдістері арқылы өндіріс процесін оңтайландыру және сапаны арттыру мүмкіндігі бар.

Сапаны басқарудағы заманауи трендтер мен әдістер

Цифрландыру және Индустрия 4.0: Қазіргі машина жасауда сапаны бақылау үшін "Цифрлық егіздер" (Digital Twins) технологиясы қолданылады. Бұл өнімді жасамас бұрын оның виртуалды моделінде барлық ақауларды анықтауға мүмкіндік береді.

TQM (Total Quality Management) тұжырымдамасы: Сапа үшін тек техникалық бөлім емес, кәсіпорынның әрбір қызметкері жауапты болуы тиіс. Бұл жүйе ақауды болдырмау мәдениетін қалыптастырады.

"Алты сигма" (Six Sigma) әдістемесі: Өндірістік процестердегі ауытқуларды барынша азайту арқылы өнімнің мінсіздігіне (миллион бұйымға 3,4-тен аспайтын ақау) қол жеткізуді көздейді.

Метрологиялық қамтамасыз ету: Өлшеу құралдарының дәлдігі мен оларды тұрақты тексеру (калибрлеу) сапаның негізі болып табылады. Жоғары дәлдіктегі лазерлік сканерлер мен координаталық өлшеу машиналары қолданылады.

Машина жасауда сапаны басқару жүйелері өндірістің тиімділігін арттыруға, өнім сапасын тұрақтандыруға және кәсіпорынның бәсекеге қабілеттілігін қамтамасыз етуге бағытталған маңызды құрал болып табылады. Сапа тек өнімнің қасиеттерімен шектелмей, кәсіпорын мәдениетінің негізгі бөлігі ретінде қабылдануы тиіс. Қазіргі заманғы автоматтандырылған және ақпараттық технологиялар сапаны басқаруды тиімді жүргізуге мүмкіндік береді, бұл өз кезегінде тұтынушы сенімін арттырады және халықаралық нарыққа шығу мүмкіндігін кеңейтеді.

#### **Пайдаланылған әдебиеттер**

1. ISO 9001:2015. Системы менеджмента качества. Требования.
2. Окрепилов В.В. Управление качеством: учебник. – М.: Экономика, 2018.
3. Juran J.M. Quality Control Handbook. – New York: McGraw-Hill, 2017.
4. Деминг Э. Выход из кризиса. – М.: Альпина, 2019.
5. ГОСТ 27.002–2015 Надежность в технике. Основные понятия.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ ЧЕРЕЗ ВНЕДРЕНИЕ СТАНДАРТОВ ISO 9001

В современном машиностроении качество продукции выходит на первый план, определяя надежность, безопасность и экономическую эффективность техники. От уровня качества напрямую зависит способность отечественных предприятий конкурировать с зарубежными производителями, что стимулирует активный поиск современных методов управления.

Наиболее действенным инструментом признано создание системы менеджмента качества (СМК) по международному стандарту ISO 9001. Данный стандарт задает четкие требования к организации производственных процессов, обеспечивая стабильный выпуск продукции, соответствующей нормам. Продукция машиностроения технически сложна: от проектирования до финального контроля требуется соблюдение точности размеров, прочности и безопасности. Любое отклонение на этапе производства способно ухудшить работу механизма, поэтому контроль качества необходим на всех стадиях.

Основой ISO 9001 является процессный подход, который рассматривает предприятие как единую систему взаимосвязанных процессов. Это позволяет не просто фиксировать брак, а предотвращать его на ранних этапах через анализ рисков и постоянное улучшение. Для Казахстана данная тема особенно актуальна в контексте индустриально-инновационного развития. Модернизация промышленности требует приведения национальных стандартов в соответствие с международными требованиями. Освоение ISO 9001 казахстанскими машиностроителями — необходимое условие для выхода на внешние рынки, интеграции в глобальные цепочки и привлечения инвестиций.

Помимо контроля продукции, СМК упорядочивает внутреннюю организацию труда. Экономическая выгода очевидна: сокращение брака и затрат на его переделку повышает доверие заказчиков, что критически важно, когда от надежности деталей зависит безопасность людей.

### *Список использованных источников*

1. International Organization for Standardization. ISO 9001:2015 Quality management systems — Requirements. — Geneva: ISO, 2015.
2. СТ РК ISO 9001–2016. Системы менеджмента качества. Требования. — Астана: Комитет технического регулирования и метрологии Республики Казахстан, 2016.
3. Закон Республики Казахстан «О техническом регулировании». — Астана, 2020.
4. Материалы Комитета технического регулирования и метрологии Министерства торговли и интеграции Республики Казахстан.



## ИССЛЕДОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ 110Г13Л С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ

Сталь 110Г13Л (сталь Гадфильда) относится к высокомарганцовистым аустенитным сталям, обладающим высокой износостойкостью, ударной вязкостью и способностью к деформационному упрочнению. Материал широко применяется при изготовлении деталей, работающих в условиях абразивного износа и динамических нагрузок. Однако при механической обработке наблюдаются интенсивный наклёп, значительное тепловыделение и ускоренный износ режущего инструмента.

Сложность обработки обусловлена аустенитной структурой и высокой склонностью стали к упрочнению в зоне резания. Локальное повышение температуры и напряжений приводит к изменению свойств поверхностного слоя, что требует обоснованного выбора режимов резания и инструментального оснащения.

Актуальным направлением является внедрение комбинированной технологии механической обработки, предусматривающей рациональное сочетание черновых и чистовых операций с цифровым сопровождением процесса. Применение CAD/CAM/CAE-систем позволяет моделировать зону резания, оценивать распределение температур и напряжений, а также прогнозировать формирование поверхностного слоя.

Интеллектуальные решения реализуются на основе анализа данных датчиков силы резания, вибрации и температуры. Обработка информации в режиме реального времени обеспечивает адаптивную корректировку скорости резания, подачи и глубины резания. Это позволяет снизить интенсивность наклёпа, повысить стойкость инструмента и обеспечить стабильную шероховатость поверхности.

Структура цифрово-адаптивной комбинированной обработки представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема цифрово-адаптивной комбинированной обработки стали 110Г13Л

Создание цифрового двойника технологического процесса позволяет проводить виртуальный анализ различных стратегий обработки и выбирать оптимальные параметры без дополнительных материальных затрат. Модель учитывает физико-механические свойства стали 110Г13Л и особенности её деформационного упрочнения.

Таким образом, применение цифровых технологий и интеллектуальных решений в составе комбинированной механической обработки стали 110Г13Л позволяет повысить эффективность технологического процесса, увеличить стойкость режущего инструмента, снизить энергозатраты и обеспечить стабильность геометрических параметров деталей. Интеграция цифрового моделирования, мониторинга параметров резания и адаптивного управления режимами является перспективным направлением совершенствования обработки высокоуглеродистых сталей.

*Список использованных источников*

1. Гуляев А.П. *Металловедение*. — М.: Машиностроение, 2018.
2. Баранчиков В.И. *Технология обработки металлов резанием*. — М.: Инфра-М, 2020.
3. Кудинов В.А. *Теория резания металлов*. — М.: Машиностроение, 2019.
4. Astakhov V.P. *Metal Cutting Mechanics*. — CRC Press, 2018.

## РАЗРАБОТКА СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА С НОВЫМ ИНГИБИТОРОМ КОРРОЗИИ

Пластичные смазки являются важным компонентом защиты и надёжной работы промышленного оборудования. Снижая трение, износ, а также усиливая герметизацию узлов и защиту от коррозии, смазки продлевают срок службы оборудования и механизмов. По физико-химической структуре пластичные смазки являются дисперсными системами, дисперсионной средой которых служат минеральные или синтетические масла, а дисперсной фазой – загустители, присадки, либо другие модификаторы структуры.

**Одной из ключевых характеристик пластичных смазок являются антикоррозионные свойства.** Любая качественная смазка не должна вызывать коррозии в условиях эксплуатации. Поэтому усовершенствование качества смазочного материала сопряжено с поиском новых соединений, способных эффективно **снижать активность коррозионных процессов.**

Банк современных ингибиторов коррозии, используемых в пластичных смазках, включает сульфонаты, амины, жирные кислоты, нитриты, фосфаты и др. Эти присадки, составляя 0,1–5%, формируют защитные пленки на поверхности металла или нейтрализуют агрессивные среды, защищая тем самым металл от разрушения.

Цель исследования: разработка пластичной смазки на основе смеси нефтяных масел средней вязкости с высокой степенью *защиты* от коррозии.

Смазочная композиция готовилась в соответствии с ГОСТом 9972-7 по следующей методике. В 16,5 г нефтяного масла последовательно вводили 2,05 г пальмитиновой кислоты, 1,55 г стеариновой кислоты, 2,0 г подсолнечного масла, 0,27 г NaOH, 1,5 г Ca(OH)<sub>2</sub>. Полученную смесь перемешивали в течение 50 минут на магнитной мешалке при температуре 95°C. Для полного испарения воды смесь выдерживали в сушильном шкафу при 115°C. Для усиления адгезии, повышения вязкости и гидрофобности в полученный состав вносили 0,5 г пальмитата цинка. Добавлением нефтяного масла, конечную массу смазки доводили до 45 г.

В аликвоту полученного образца массой 10 г вносили 0,2 г фамотидина (рисунок 1). Вещество представляет бледно-желтый кристаллический порошок, слаборастворимый в воде. Субстанция хорошо суспендируется в полученной смазке и придает ей пастообразную консистенцию. Наличие четырех первичных аминогрупп ( $-NH_2$ ) в структуре молекулы обуславливают ее основность (и нуклеофильность). В реакциях с кислотами Льюиса, каковыми являются атомы и катионы железа, амины способны

образовывать координационную связь. Результатом описанного взаимодействия является формирование защитной пленки на металлической поверхности [1]. Тиазоловый и аминосульфонильный фрагменты молекулы фамотидина способны ингибировать коррозию стали в кислых средах, которые создаются окислением смазочного материала.

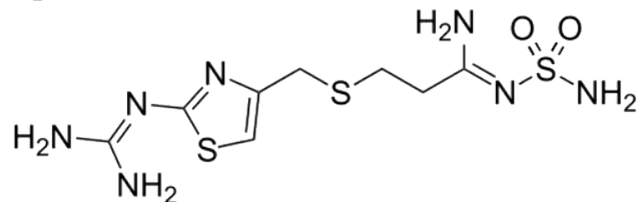


Рисунок 1. Структура фамотидина ( $C_8H_{15}N_7O_2S_3$ ).

Основываясь на изложенной базовой теоретической концепции, для изучения антикоррозионной стойкости полученных материалов были проведены ускоренные коррозионные испытания образцов Ст3 условиях солевого тумана. Образцы покрывались полученными смазками (рисунок 2), и подвергались воздействию 5% раствора NaCl при 25<sup>0</sup>С в течение 168 часов.

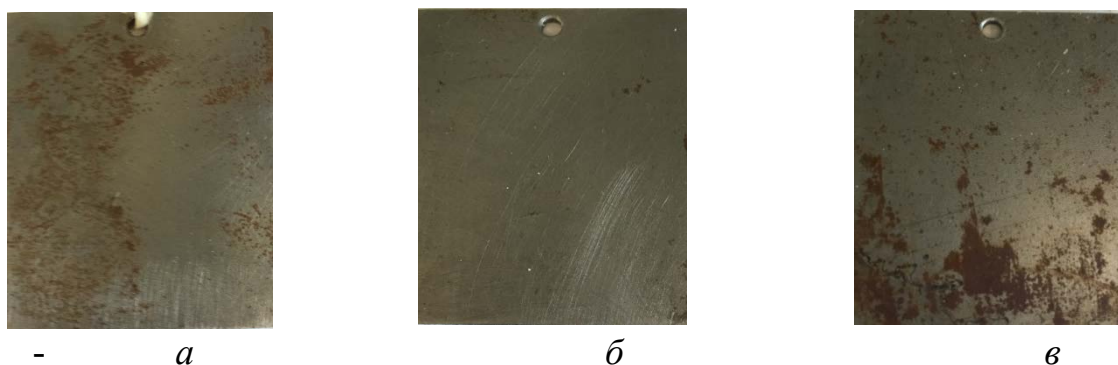


Рисунок 2. Образцы Ст3: 2а – образец покрыт смазкой без фамотидина;  
2б - образец покрыт смазкой с фамотидином; 2в - контрольный образец.

Как видно из представленных графических результатов, отсутствие визуальных следов коррозии на образце 2б указывает на весомое возрастание эффективности антикоррозионной защиты Ст3 смазкой с фамотидином по сравнению со смазочной композицией без указанной субстанции. Смазка 2а лишь частично предохраняет металл от язвенной коррозии, выявленной на контрольном образце. Таким образом, выполненное исследование выявило результативность применения фамотидина в составе пластичных смазок в качестве ингибитора коррозии.

*Список использованных источников*

1. Кузнецов Ю. И. Органические ингибиторы атмосферной коррозии металлов / Ю. И. Кузнецов // Вестник ТГУ. 2013. – Т. 18, № 5. – С.2126–2131.

## ЛАЗЕРНЫЕ ВИБРОМЕТРЫ

В современном производстве контроль вибраций играет важную роль, поскольку механические колебания могут вносить погрешности в технологические процессы и влиять на качество выпускаемой продукции. В ряде отраслей такие отклонения могут быть допустимыми и не оказывать существенного влияния на работоспособность изделий. Однако существуют высокоточные области промышленности — например, приборостроение, микроэлектроника, авиакосмическая техника, — где даже отклонение порядка 0,001 см способно привести к браку продукции или снижению её надёжности. Их влияние проявляется в нарушении точности обработки, ухудшении характеристик материалов и снижении долговечности конструкций. Поэтому для обеспечения требуемого уровня качества и стабильности производственных процессов необходимо проводить постоянный контроль вибрационных параметров. Наиболее распространёнными традиционными средствами измерения вибраций являются контактные (прижимные) виброметры. Они требуют физического крепления датчика к исследуемому объекту, что может оказывать влияние на результаты измерений. Дополнительная масса датчика и способ его фиксации способны изменять динамические характеристики системы, особенно при измерении малых или высокочастотных колебаний. В таких случаях сам измерительный прибор становится источником погрешности.

Этих недостатков лишены лазерные виброметры, которые относятся к бесконтактным методам измерения. Они не требуют механического взаимодействия с объектом и позволяют регистрировать колебания на расстоянии. Принцип их работы основан на отражении лазерного излучения от поверхности исследуемого объекта. При вибрации поверхности изменяются параметры отражённого луча, прежде всего его частота и фаза. Эти изменения сравниваются с параметрами исходного лазерного излучения, что позволяет определить скорость, амплитуду или перемещение колебаний.

Таким образом, лазерные виброметры являются современным и точным средством измерения вибраций. Их бесконтактный принцип работы исключает влияние прибора на объект измерения, что особенно важно при контроле малых колебаний и в высокоточных отраслях промышленности.

*Список использованной литературы:*

1. Иванов И.И. Лазерные виброметры и их применение // Вестник КазНТУ. — 2020. — №3. — С. 45–50.
2. Петров А.А. Основы вибрационной диагностики. — Алматы: Экономика, 2018. — 256 с.

## ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УДАЛЕННОЙ ПЕРЕДАЧИ И ОПЕРАТИВНОЙ КОРРЕКТИРОВКИ ПРОГРАММ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

В условиях машиностроительного производства ТОО «Maker» существенная доля временных и организационных потерь связана не с процессами механической обработки, а с обеспечивающими процедурами подготовки, передачи и корректировки программ управления для станков с числовым программным управлением. Традиционная практика использования переносных накопителей информации обуславливает необходимость физических перемещений технологического персонала между рабочими местами и производственным участком, что увеличивает продолжительность производственного цикла, способствует возникновению простоев оборудования и повышает вероятность применения неактуальных версий управляющих программ. Наличие у станочного оборудования встроенных средств сетевого обмена данными создаёт предпосылки для перехода к централизованной цифровой модели управления программной информацией.

Целью производства является разработка и внедрение централизованной системы, обеспечивающей удалённую передачу и оперативную корректировку программ управления станками посредством внутренней производственной сети предприятия. Достижение поставленной цели предполагает формирование единого информационного пространства хранения управляющих программ, реализацию механизмов контроля версий и разграничения прав доступа пользователей, а также организацию надёжной и защищённой сетевой инфраструктуры для взаимодействия серверного оборудования и станков.

Сущность решения заключается во внедрении серверно – ориентированной архитектуры (Рисунок 1), в рамках которой все программы управления размещаются в централизованном хранилище, обеспечивающем структурированное хранение данных, фиксацию истории изменений и протоколирование действий пользователей. Технологический персонал получает возможность осуществлять разработку и корректировку программ на автоматизированных рабочих местах с последующей передачей файлов непосредственно в системы управления конкретных станков через промышленную сеть предприятия. Передача данных сопровождается процедурами контроля целостности информации и регистрацией факта успешного приёма программы станочным оборудованием, что обеспечивает прослеживаемость и воспроизводимость производственного процесса.



Рисунок 1 – серверно – ориентированная архитектура

Функциональная структура системы включает уровень пользовательских рабочих мест, серверный уровень обработки и хранения данных, а также уровень производственного оборудования, интегрированного в выделенный сегмент внутренней сети. Изоляция данного сегмента от корпоративной и внешней сетевой инфраструктуры позволяет повысить информационную безопасность, снизить вероятность несанкционированного доступа и обеспечить стабильность обмена данными в условиях производственных нагрузок. Реализация механизмов аутентификации и авторизации пользователей обеспечивает регламентированный доступ к программам управления в соответствии с их должностными функциями.

Внедрение предложенной системы обеспечивает существенное сокращение времени передачи и внедрения управляющих программ, минимизацию непродуктивных перемещений технологического персонала и снижение простоев оборудования, связанных с ожиданием актуальных данных. Централизация хранения и управления версиями исключает риск использования устаревших или ошибочных программ, повышает дисциплину ведения технологической информации и формирует основу для дальнейшей цифровой трансформации производственных процессов. Экономический эффект достигается за счёт роста коэффициента использования оборудования, сокращения организационных потерь и повышения общей производственной эффективности участка. Таким образом, переход к сетевой модели управления программами станков представляет собой обоснованное инженерное решение, направленное на повышение надёжности, управляемости и результативности машиностроительного производства.

#### Список использованных источников

1. Грошев, А. С. Станки с числовым программным управлением : учебное пособие / А. С. Грошев, Д. Г. Левашкин. – Москва : Машиностроение, 2018. – 320 с.
2. Кудрявцев, Е. М. Автоматизация технологических процессов в машиностроении : учебник / Е. М. Кудрявцев. – Москва : Академия, 2019. – 368 с.
3. Сулов, А. Г. Информационные технологии в машиностроительном производстве : учебное пособие / А. Г. Сулов, В. В. Барышников. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 284 с.
4. Гостев, В. И. Промышленные вычислительные сети и системы : учебное пособие / В. И. Гостев. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2021. – 312 с.

## МАЗМУНЫ

### РАДИОЭЛЕКТРОНДЫҚ БАЙЛАНЫС ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ ЦИФРЛЫҚ ЖӘНЕ ЗИЯТКЕРЛІК ТЕХНОЛОГИЯЛАР

|                                                                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Aikenuly A.</b> Digital and intelligent technologies in radioelectronic communication systems .....                                                                        | 2  |
| <b>Абдрахманов А.Н.</b> Интеллектуальные системы мониторинга и управления телекоммуникационными сетями на основе ии.....                                                      | 4  |
| <b>Айкенулы А.</b> Адаптивные антенные комплексы как фактор энергоэффективности и спектральной гибкости сетей 5g/6g .....                                                     | 6  |
| <b>Айтқалиев Ә.Р.</b> Ғимараттар мен құрылыстардың техникалық жағдайын бақылайтын мониторинг сұрақтарын талдау .....                                                          | 8  |
| <b>Айтмұхамбет А.А.</b> Arduino платформасы негізінде өрт сөндіруші роботты жобалау.....                                                                                      | 10 |
| <b>Анисимова А.С.</b> Программная реализация инженерного калькулятора на языке python для обработки экспериментальных данных .....                                            | 12 |
| <b>Арданбекқызы Г., Маликова Д.Ж., Балтабаева Ә.Б.</b> 5G желісі негізіндегі іот енгізу тиімділігін бағалау.....                                                              | 14 |
| <b>Бисейтов Д.Б.</b> Разработка системы автоматического управления для конусной дробилки с функцией обнаружения недробимых объектов.....                                      | 16 |
| <b>Гарифуллинова Д.Н.</b> Сымсыз телекоммуникациялық технологияларға негізделген құрылыс алаңдарының интеллектуалды бақылау жүйелеріне шолу .....                             | 18 |
| <b>Гарифуллинова Д.Н.</b> Құрылыс нысандарының техникалық жай-күйін қашықтан мониторингтеу жүйелеріндегі сымсыз телекоммуникациялық технологияларды салыстырмалы талдау ..... | 20 |
| <b>Елисеев Д.Д.</b> Современные методы цифровой обработки сигналов в радиоэлектронике и телекоммуникациях .....                                                               | 22 |
| <b>Журавлев И.В., Гоголев Д.В.</b> Разработка электронного регулятора температуры.....                                                                                        | 24 |
| <b>Журавлев М. Н.</b> Спутниковая связь нового поколения ( direct-to-cell).....                                                                                               | 26 |
| <b>Зейноллин А.Т.</b> Имитационное воспроизведение кибератак в компьютерных сетях .....                                                                                       | 28 |
| <b>Каденов Е.Е.</b> Arduino платформасы негізінде робот-паукты жобалау .....                                                                                                  | 30 |
| <b>Кайдар Н.А., Лаврентьев А.Н., Жаксылық Д.И.</b> Оценка параметров помех технологии lte .....                                                                               | 32 |



|                                                                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Калкенов Ж.К.</b> Методы повышения энергоэффективности базовых станций мобильной связи .....                                                                         | 34 |
| <b>Касимова Д.А.</b> Разработка системы мониторинга шаровой загрузки в шаровых мельницах с использованием технологии digital twin .....                                 | 36 |
| <b>Кобасов Р.А.</b> Применение методов искусственного интеллекта для прогнозирования технического состояния сооружений .....                                            | 38 |
| <b>Конюшак П.А., Егібай У.А.</b> Исследование механизмов динамической маршрутизации и обеспечения qos в цифровой ip-сети.....                                           | 40 |
| <b>Корбит А.В.</b> Исследование программно-определяемых радиосистем на базе usrp b210 с использованием gpu radio .....                                                  | 42 |
| <b>Крачов Д.А.</b> «Демонстрация fm-передачи аудиосигнала на малой дальности».....                                                                                      | 44 |
| <b>Ляхович А.В., Гусейнов З.В.</b> Применение нейронных сетей для распознавания типов модуляции в автоматизированных системах радиомониторинга.....                     | 46 |
| <b>Ляхович А.В., Гусейнов З.В.</b> Системы контроля дефектов в кабельной промышленности: обзор данных .....                                                             | 48 |
| <b>Мадиев М.У.</b> Использование AI для программы оптимизаций маршрутизаций интернета.....                                                                              | 50 |
| <b>Малышева Т. В.</b> Основы управления и построения компьютерных сетей в условиях цифровой трансформации .....                                                         | 52 |
| <b>Мейірбекқызы Г.</b> 5G желісі негізінде іот енгізу тиімділігі.....                                                                                                   | 54 |
| <b>Мейірбекқызы Г.</b> Бордың жартылай өткізгіш кремний сапасына әсері ...                                                                                              | 56 |
| <b>Павлов М. Ю.</b> Применение sdn и nfв в беспроводных сетях связи .....                                                                                               | 57 |
| <b>Пернебек Е.Е., Құдайберген Ж.Ж.</b> Радиоэлектрондық байланыс жүйелеріндегі цифрлық және зияткерлік технологияларды оқытуға арналған элективті курс әдістемесі ..... | 59 |
| <b>Санаубаров А.</b> Аналоговая обработка гитарного сигнала: разработка педали fuzz .....                                                                               | 61 |
| <b>Серғазиева М.</b> Ір-телефония технологияларын зерттеу .....                                                                                                         | 63 |
| <b>Сәрсембиева А.М., Әбдіғали Л.Ә.</b> Интернет заттар (іот) және оның радиоқатынастар жүйесінің эволюциясына әсері.....                                                | 65 |
| <b>Тілепбек Ә.</b> Электрондық байланыс жүйелеріндегі цифрлық сигналдарды өндеу әдістері.....                                                                           | 67 |

|                                                                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Тлеубаев С.Б., Қасым Д.Б.</b> Жасанды интеллекттің білім саласына оң және теріс әсерлері .....                                                  | 69 |
| <b>Толеген Д.С.</b> Передача энергии в радиоэлектронных системах связи на основе электромагнитной индукции .....                                   | 71 |
| <b>Федосеенко С.В., Молокова А.В.</b> Шум в электронных цепях и роль цифровых и интеллектуальных технологий в радиоэлектронных системах связи..... | 73 |
| <b>Шалғынбай А.</b> Сандық теледидар жүйелеріндегі бейнеқысу стандарттарының тиімділігі .....                                                      | 75 |
| <b>Шалғынбай А,Тілепбек Ә.</b> Электротермиядағы кремний тығыздығы.....                                                                            | 77 |
| <b>Шалғынбай А,Тілепбек Ә.</b> Телекоммуникация саласындағы радиолокация .....                                                                     | 78 |
| <b>Шандер В.И.</b> Шум в радиотехнических системах и способы его снижения .....                                                                    | 80 |
| <b>Шынали Е.Б., Әділжан А.Ж.</b> Жасанды интеллекттің жоғары білім жүйесіне әсері: ұмтылыс па, әлде тоқырау ма? .....                              | 82 |

## ЦИФРЛЫҚ ЭКОНОМИКА ЖАҒДАЙЫНДАҒЫ ТАУ-КЕН МЕТАЛЛУРГИЯ КЕШЕНІН ДАМУДЫҢ ҚАЗІРГІ ЗАМАНҒЫ СЫН-ТЕГЕУРІНДЕРІ МЕН ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ТРЕНДТЕРІ

|                                                                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Itsikova K., N. Tseshkovskiy</b> Environmental assessment: necessity and prospects (example of methane exploration) .....                             | 85 |
| <b>Абилдабек Е.Ш., Байжұман Д.Б.</b> Қазақстан тау- кен өндірісін цифрландыру .....                                                                      | 86 |
| <b>Абильдина А.М., Цешковский Н.М.</b> Эффективное управление коммунальными отходами и углеродный след .....                                             | 88 |
| <b>Абишев Д.А.</b> Жерасты кеніштердегі қолжетімсіз және қауіпті камераларда лазерлік сканерлеу әдісін қолдану.....                                      | 90 |
| <b>Акимбаева З.А., Маратқызы Д.</b> Исследование влияния горных работ на окружающую среду.....                                                           | 92 |
| <b>Акимбаева М.Р., Нурбиева К.Б.</b> Цифрлық экономиканың тау-кен кешеніне ықпалы: геотехнологиялық мониторинг және жасанды интеллект интеграциясы ..... | 94 |
| <b>Алишер Г.А.</b> Сандық аэрофототүсірілім технологиясы және оның математикалық негіздері .....                                                         | 96 |

|                                                                                                                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Алмасұлы Т.Е., Ақылбайұлы А.Ж.</b> Тау-кен саласын цифрландырудың артықшылықтары мен негізгі бағыттары .....                                                 | 98  |
| <b>Амангелді Ж., Мұстафин Д.</b> Шахта өндірісінде деректерді талдау арқылы жұмысты басқару .....                                                               | 100 |
| <b>Амиртаев А.Н., Михеев В.С.</b> Предиктивный нейросетевой мониторинг операторов нефтегазового комплекса .....                                                 | 102 |
| <b>Арсенұлы М., Ефремова К.А.</b> Влияние метеорологических факторов на рассеивание выбросов птицеводческих предприятий.....                                    | 104 |
| <b>Асенбаев С.С.</b> Применение искусственного интеллекта и bid data в горнодобывающей промышленности .....                                                     | 106 |
| <b>Асенбаев С.С.</b> Карьер жағдауларының тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін бұрғылап- жару жұмыстарының параметрлерін оңтайландыру .....                         | 108 |
| <b>Асенбаев С.С.</b> Применение и моделирование в программе datamine при открытой разработке .....                                                              | 110 |
| <b>Асенбаев С.С.</b> Эффективность применения экскаватора hitachi ex3600e-6 в условиях горных разработок.....                                                   | 112 |
| <b>Атаев А.Н.</b> Исследование проявлений горного давления в подготовительных горных выработках и разработка технология повышения устойчивости их контуров..... | 114 |
| <b>Ахметов А.А., Манасұлы А.</b> Тау-кен өнеркәсібінде тиімділік пен тұрақты дамуды арттырудағы автоматтандыру мен жасанды интеллекттің рөлі ....               | 116 |
| <b>Бағдатқызы Ж.А., Шынатбай А.</b> Цифрлық трансформация жағдайындағы тау-кен кешенінің дамуы.....                                                             | 118 |
| <b>Бейсенбеков Н.А.</b> Модуль деформации как характеристика жесткости материала.....                                                                           | 120 |
| <b>Бейсенбинов Д. Б.</b> Қаражанбас мұнай кен орнын игеруіне инновациялық технологияны енгізу.....                                                              | 122 |
| <b>Бекеш М.Н.</b> Язык it-коммуникации в горном деле .....                                                                                                      | 124 |
| <b>Бименов Д.Б., Тысымбаев Р.К.</b> Цифровой рудник: инновационные подходы к разработке месторождений полезных ископаемых .....                                 | 126 |
| <b>Бөде Ж.Ж.</b> Autocad бағдарламасында университет аумағының жер бедерін цифрландыру және талдау.....                                                         | 128 |
| <b>Галяткин Т.Д.</b> Современные методы лазерного сканирования в инженерной геодезии.....                                                                       | 130 |

|                                                                                                                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Гончарова А.В., Васильев А.Д.</b> Использование спутниковых gnss-технологий в строительной геодезии и способы повышения устойчивости сигнала.....               | 132 |
| <b>Джашибекова А.Н.</b> Электрохимический прорыв в ГМК .....                                                                                                       | 134 |
| <b>Дичковская А.А., Калмагамбетов Э.Т.</b> Современные проблемы и пути технологического решения вопросов обводнения скважин и снижения продуктивности пластов..... | 136 |
| <b>Дурнев Р.А.</b> Оценка параметров деформационных процессов в эксплуатационных выработках.....                                                                   | 138 |
| <b>Егоров Д.В., Прискалов М.А.</b> Цифровизация буровзрывных работ на основе технологий 3d-моделирования и анализа дробления горной массы.....                     | 140 |
| <b>Елубаев М.А., Омаров И.Т.</b> Способы повышения нефтеотдачи пласта в условиях узеньского месторождения.....                                                     | 142 |
| <b>Ережеева А.А., Сагимбаева Ш.Н.</b> Тау-кен өндірісі әсерінен бұзылған жерлерді рекультивациялаудың инновациялық тәсілдері .....                                 | 144 |
| <b>Ермек А., Бакишев А.</b> Тау-кен саласындағы «smart mining» технологиялары .....                                                                                | 146 |
| <b>Есенбекұлы Е.М., Мақсатұлы Ә.Ғ.</b> Автоматтандырылған және роботтандырылған кен өндіру жүйелері.....                                                           | 147 |
| <b>Жәукен А.С., Омарова А.</b> Тау-кен кешеніне үлкен деректер (big data) мен жасанды интеллектті қолданудың экономикалық әсері мен перспективалары .....          | 149 |
| <b>Жуматай А.С., Саматов Н.Б.</b> Цифрлық экономика жағдайында тау-металлургиялық кешеннің дамуы мен заманауи технологиялық трендтер.....                          | 151 |
| <b>Жылқыбай Э.Ә.</b> Теодолит деректерін өндеуде жасанды интеллект негізіндегі шешімдер .....                                                                      | 153 |
| <b>Зарубаев Е.Д.</b> «Ақылды кеніш» (smart mining) жүйесін қалыптастыру.....                                                                                       | 155 |
| <b>Инсебаев Г.Т.</b> Анализ системы управления охраной труда на угольном разрезе как основа для цифровой трансформации .....                                       | 157 |
| <b>Кайратов.А.К.</b> Тау-кен өндірісіндегі роботтандыру және адам өмірін қорғау.....                                                                               | 159 |
| <b>Кайратов.А.К., Серік А.Е</b> Тау-кен ісінде өндірістік қауіпсіздікті арттырудағы цифрлық технологиялардың рөлі .....                                            | 161 |

|                                                                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Карсанова Л.М.</b> Влияние предприятия по очистке канализационных сточных вод на состояние окружающей среды.....                                      | 163 |
| <b>Кәмел С.Е.</b> Геодезия және картография саласында жасанды интеллектті қолдану .....                                                                  | 165 |
| <b>Кобякова А.М.</b> Применение цифровых технологий в инженерно-геодезических изысканиях .....                                                           | 167 |
| <b>Коллер В.И., Чапак В.В.</b> Использование цифровых технологий для снижения экологической нагрузки горных предприятий.....                             | 169 |
| <b>Кормилицына Д.С.</b> Роль цифровых технологий в изучении земной поверхности .....                                                                     | 171 |
| <b>Кумаров Е., Мизам А.</b> Шахта өндірісінде деректерді талдау арқылы қауіпсіздікті басқару .....                                                       | 173 |
| <b>Қайни Е.А., Өзбек А.Ж.</b> Smart mine технологиясын қолдану тәжірибесі және оны қазақстан тау-кен өндірісінде енгізу перспективалары .....            | 175 |
| <b>Қуаныш А.Д., Момынтай Б.Ұ.</b> Тау-кен кешенінде метан газын қауіпсіз басқару жолдары .....                                                           | 177 |
| <b>Манасұлы А., Ахметов А.А.</b> Тау-кен өнеркәсібінде тиімділік пен тұрақты дамуды арттырудағы автоматтандыру мен жасанды интеллекттің рөлі ....        | 179 |
| <b>Мейрам М.Б., Ширимбаев А.К.</b> Современное горное производство активно использует автоматизацию цифровые технологии и дистанционное управление ..... | 181 |
| <b>Мейрханов Е.Н.</b> Ғарыштық геодезияның дамуында gnss технологияларының ролі .....                                                                    | 183 |
| <b>Мелихова З. В.</b> Развитие цифровой аэрофотосъемки и ее использование в современном мире .....                                                       | 185 |
| <b>Нускабеков Ж.С.</b> Актуальные аспекты шихтования серосодержащих медных концентратов при автогенной плавке .....                                      | 187 |
| <b>Нұртаза Д.А.</b> Жер асты кеніштерінде дрондарды қолданудың тиімділігі.....                                                                           | 189 |
| <b>Осыко И.А.</b> Логистика расчёта трубопроводов тепловых сетей в условиях цифровизации горно-металлургического комплекса .....                         | 191 |
| <b>Рымбаев А.С.</b> «Современные вызовы и технологические тренды развития горного комплекса в условиях цифровой экономики» .....                         | 193 |
| <b>Сагандага Ж.</b> Специфика языковой репрезентации технической информации в текстах искусственного интеллекта и разработка                             |     |

|                                                                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| рекомендаций по дегазации угольных пластов с ростом глубины их разработки .....                                                                | 195 |
| <b>Сағынтай Ж.Ұ.</b> Балқаш көлі жағалауының геоэкологиялық мониторингі .....                                                                  | 197 |
| <b>Садвахасов А.М.</b> Современные вызовы и технологические тренды развития горно-металлургического комплекса в условиях цифровой экономики... | 199 |
| <b>Садық Ж.О.</b> Профессиональная терминология горных инженеров и особенности производственной коммуникации .....                             | 201 |
| <b>Садық Ж.О.</b> Природный водород в шахтах мира: современное состояние исследований .....                                                    | 203 |
| <b>Саметов А.А.</b> Жер асты кеніштерінде дрондар мен роботтарды қолданудың цифрлық басқару жүйесі.....                                        | 205 |
| <b>Сардарова Д.Б.</b> Экологические вызовы и концепция «зеленого горного дела».....                                                            | 207 |
| <b>Сафиулина Д.Д., Картушинский Д.Д.</b> Автоматизация горных пород...                                                                         | 209 |
| <b>Серікбай М.Т.</b> Цифровое моделирование пожарной обстановки на угольных шахтах как инструмент повышения промышленной безопасности .....    | 211 |
| <b>Серікбай М.Т.</b> Прогнозирование пожарных рисков на угольных шахтах на основе анализа геологических и газодинамических данных.....         | 213 |
| <b>Советов Д.Д.</b> Цифрлық экономика жағдайында тау-кен өндірісін цифрландырудың өзекті мәселелері.....                                       | 215 |
| <b>Сугурбекова Т.Д., Амангельды Ж.Е.</b> Smart energy: цифровые технологии и их применение в геодезии и топографии.....                        | 216 |
| <b>Тажмұханбет Т.Е., Бағысбай Б.Е.</b> Цифрлық экономиканың тау-кен кешеніне ықпалы: трансформация және жаңа мүмкіндіктер .....                | 218 |
| <b>Талғат Н., Орзалы Ә.Б.</b> Шахталарда метан мен көмір шаңы жарылыстарын болдырмау мәселесі .....                                            | 220 |
| <b>Терновский А.А.</b> Применение теории прочности мора для исследования деформирования дисперсных материалов.....                             | 222 |
| <b>Тохметова А.Б.</b> Цифровизация геодезического мониторинга карьеров как фактор повышения промышленной безопасности и эффективности гмк.     | 224 |
| <b>Төлеген Қ.Б.</b> Тау-кен өндірісінде нейрожелілер арқылы кен сапасын нақты уақытта болжау жүйесі .....                                      | 226 |

|                                                                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Төлепбергенова С.Ә., Уйсинбаева А.Е.</b> Тау-кен кешеніндегі киберқауіпсіздік және деректерді қорғау мәселелері.....  | 228 |
| <b>Төлеубай Б., Жанат З. С.</b> Цифрлық кеніш және маркшейдерлік іс: заманауи технологиялар мен даму бағыттары.....      | 230 |
| <b>Хасмамедов А.А.</b> Инновационные технологии и устойчивое развитие горного комплекса в эпоху цифровой экономики. .... | 232 |
| <b>Чиркин.С.С., Гамм.В.А.</b> Использование big data в управлении горным производством .....                             | 233 |
| <b>Шайхисламов Ж.А., Накенов Д.Е.</b> «Цифрлық жобалау негізі:тау-кен саласындағы autocad қолдану тәжірибесі» .....      | 235 |
| <b>Юсупова П.А.</b> Проблемы распределения ответственности при авариях бпла в ходе цифровой-аэрофотосъемки.....          | 237 |

### **ЦИФРЛАНДЫРУ ДӘУІРІНДЕГІ ГЕОЛОГИЯ: ДЕРЕКТЕР, МОДЕЛЬДЕР, БОЛЖАМДАР**

|                                                                                                                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Akimov V.A.</b> Digital transformation of geological sciences: data integration and predictive modeling.....                                                               | 240 |
| <b>Bas. D.L</b> Artificial intelligence and machine learning in geology .....                                                                                                 | 242 |
| <b>Belaya A.K.</b> Digitization of earth surface monitoring based on uavs using artificial intelligence methods .....                                                         | 244 |
| <b>Belyakov M.</b> 3d modeling of mineral deposits in the era of geological digitalization.....                                                                               | 246 |
| <b>Dauit M.Y.</b> Geology in the digital era: data, models, and forecasts .....                                                                                               | 248 |
| <b>Gaidaeva A.A.</b> Geoinformation systems and sustainable subsoil management: analytics, integration, and strategic decisions .....                                         | 250 |
| <b>Isakov A.A.</b> Cognitive geology and predictive modeling: the transformation of mineral exploration in the digital age.....                                               | 252 |
| <b>Konstantin D.A.</b> Geology in the era of digitalization: data, models, and forecasts .....                                                                                | 254 |
| <b>Kryachko S.K.</b> Digital approaches to natural hazard forecasting: data integration, modeling, and predictive analytics.....                                              | 256 |
| <b>Melikhova Z. V.</b> Problems of training specialists in the field of digital aerial photography in the context of the digitalization of geological and geodetic work ..... | 258 |
| <b>Vasilenko V.A.</b> Seismics and neural networks: how algorithms read the earth .....                                                                                       | 260 |

|                                                                                                                                                                                    |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Vasiliev A.A.</b> Information technology and digital transformation in earth sciences.....                                                                                      | 262 |
| <b>Yusupova P.A.</b> Development of digital platforms in the mining and metallurgical complex .....                                                                                | 264 |
| <b>Zaruckaya V.N.</b> Gis and geoanalytics: predicting natural risks.....                                                                                                          | 266 |
| <b>Адилова А.Д.</b> Применение gps/gnss в геодезии .....                                                                                                                           | 268 |
| <b>Аманжол Д.</b> Пайдалы қазбалар кен орындарын болжауда жасанды интеллекті қолдану.....                                                                                          | 270 |
| <b>Ашрапов Р. М.</b> Исследование и обоснование рациональных параметров контурного взрывания для формирования проектного профиля бортов карьера на месторождении «пустынное» ..... | 272 |
| <b>Баисова А.Е., Каиров Б.Т.</b> ГАЗ және спутниктік технологияларды қолдана отырып, деформацияларды кеңістіктік-уақыттық талдау.....                                              | 274 |
| <b>Баисова А.Е.</b> Жер ресурстары жай-күйінің мониторингі үшін аэроғарыштық суреттерді қолдану.....                                                                               | 276 |
| <b>Безверхов М.М., Сейтжан Т.Б.</b> Цифровой двойник месторождения как инструмент управления разработкой в реальном времени.....                                                   | 278 |
| <b>Булгаков И., Буйко М.</b> Инновационное развитие в горной промышленности.....                                                                                                   | 280 |
| <b>Едилбаева Н.Б.</b> Каспий маңы ойпаты аумағындағы төрттік шөгінділерді зерттеудің стратиграфиялық әдісін қолдану .....                                                          | 282 |
| <b>Ергалиева К.А</b> Основные причины возникновения бытовых пожаров и меры их предупреждения .....                                                                                 | 284 |
| <b>Ермек А.</b> Геологиялық деректер мен цифрлық модельдер арқылы мұнай өндіруді оңтайландыру .....                                                                                | 285 |
| <b>Ертаева Д.М.</b> Геологиялық қималарды құруды автоматтандыру .....                                                                                                              | 287 |
| <b>Исабаева С.С.</b> Влияние вулканических и поствулканических процессов на флювиальный рельеф.....                                                                                | 289 |
| <b>Исаев Ә.</b> Информациялық технологияларды минералды-шикізат ресурстарын басқаруда қолдану .....                                                                                | 291 |
| <b>Ізбасқан Ә.Д.</b> Интеллектуалды талдау әдістері арқылы тау жыныстарының жарықшақтылығын бағалау .....                                                                          | 293 |
| <b>Кавун Д.</b> Физико-механические свойства горных пород угленосного разреза.....                                                                                                 | 295 |



|                                                                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Кенжебаев Ж.Ж.</b> Үлкен деректер негізінде геологиялық тәуекелділікті болжау .....                                                                | 297 |
| <b>Керімбек Н.Р.</b> Цифровая трансформация геологоразведочных работ .....                                                                            | 299 |
| <b>Кошекova А.А.</b> Сейсмикалық деректерді өңдеуде сандық және математикалық модельдеу әдістерін қолдану .....                                       | 301 |
| <b>Қызыр А.</b> Геологиялық барлауда ұшқышсыз технологияларды қолдану .....                                                                           | 303 |
| <b>Ланина В. С., Аубакирова К. К.</b> Использование искусственного интеллекта в сейсморазведке .....                                                  | 305 |
| <b>Малкина О.Д.</b> Современные методы спутниковой геодезии для мониторинга деформаций земной поверхности.....                                        | 307 |
| <b>Нигматуллова А.М.</b> Генетические особенности и минеральный состав медно-никелевого оруденения северного улытау .....                             | 309 |
| <b>Омаров Д.О.</b> Исследование состояния самонагревания и самовозгарание угля на основе анализа состава индикаторных газов рудничной атмосферы ..... | 311 |
| <b>Омарова А.</b> Полимерлі су айдау технологиясы арқылы қабаттың мұнайбергіштігін арттыру тиімділігі .....                                           | 313 |
| <b>Оралбекова Т.Б.</b> Математиканың маркшейдерлік іске қолданатын әдісі .....                                                                        | 315 |
| <b>Пак Д.В.</b> Применение искусственного интеллекта при контроле за техническим состоянием скважин.....                                              | 317 |
| <b>Рымбеков Т.Е.</b> Применение высшей математики и искусственного интеллекта в нефтегазовой промышленности.....                                      | 319 |
| <b>Салкимбаева Л. Н.</b> Геолого-геофизические закономерности формирования текущей и остаточной нефтегазонасыщенности продуктивных коллекторов.....   | 321 |
| <b>Сейтжанова Ж.Қ.</b> Использование цифровых технологий и ии в современной геологии .....                                                            | 323 |
| <b>Серік А.Б.</b> Үлкен деректерді талдауды геологияда қолдану .....                                                                                  | 325 |
| <b>Серікова А. Б.</b> Цифрлық экономика жағдайында мәңгі мұзды аймақтардағы тау-кен кәсіпорындарында маркшейдерлік жұмыстарды ұйымдастыру ..          | 327 |
| <b>Серікұлы Н.</b> Пайдалы қазбалар қорларын бағалаудағы цифрлық әдістер .....                                                                        | 329 |

|                                                                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Сметов Д.Е.</b> Информационные технологии в управлении минерально-сырьевыми ресурсами.....                                                | 331 |
| <b>Тайкенов Е.М.</b> Атасу pb-zn-барит кендерінің таралуы және түзілу шарттары .....                                                         | 333 |
| <b>Тайкенов Е.М.</b> Шлиховой анализ как инструмент поисков россыпных и коренных месторождений золота .....                                  | 335 |
| <b>Таукенова С.А., Амангелдіқызы А.</b> Заячье титан-циркониевая россыпь: геологическое строение и вещественный состав .....                 | 337 |
| <b>Тилек Р.</b> Геологиялық-геофизикалық ақпаратты өндеуді автоматтандыру .....                                                              | 339 |
| <b>Тинишტიкова А.Н.</b> Геологияны цифрландыру жағдайында мәңгі мұзды аймақта маркшейдерлік бақылау жүргізудің заманауи тәсілдері .....      | 341 |
| <b>Толеуханова Э.Д., Рысбар Н.Ж.</b> Применение высшей математики в геологии и разведке полезных ископаемых .....                            | 343 |
| <b>Төкен А.Қ.</b> Перспективы развития искусственного интеллекта геологии и геофизики .....                                                  | 345 |
| <b>Уйсинбаева А.</b> Физика-химиялық әдістер арқылы мұнай беруді арттыру .....                                                               | 347 |
| <b>Шпрингер Б.Д.</b> Первый в центральной азии цифровой двойник недр: как превратить геологические архивы в инструмент прогнозирования ..... | 349 |
| <b>МАШИНА ЖАСАУДАҒЫ ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖӘНЕ<br/>ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ШЕШІМДЕР</b>                                                               |     |
| <b>Айдосұлы С.</b> Методы измерения точности 3d - печатных деталей .....                                                                     | 352 |
| <b>Аллаяров И.С.</b> Анализ требований, материалов и дефектов при восстановлении штоков методом газодинамического напыления.....             | 354 |
| <b>Алмагамбет Ш.Н., Алмағамбет М.Н.</b> Жұмыс бетін қалпына келтіру арқылы араластырғыш дөңгелегінің қызмет ету мерзімін ұлғайту .....       | 356 |
| <b>Алпысбай Н.Ж.</b> Цифровая трансформация и машиностроительное производство.....                                                           | 357 |
| <b>Аманбек Н.Т.</b> Повышение эффективности и качества ремонта тяговых электродвигателей.....                                                | 359 |
| <b>Аронов А.Р.</b> Разработка оптимального метода определения параметров лазерной сварки для тонкостенных конструкций.....                   | 360 |
| <b>Аширов.А.С.</b> Цифровые технологии и интеллектуальные решения в современном машиностроении .....                                         | 362 |

|                                                                                                                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Бойко С.Б.</b> Комплексный анализ состояния рычажно-шарнирного механизма системы тормоза подъемной установки .....                                                                            | 364 |
| <b>Бурляев В.Л., Исмаилов Д.З.</b> Интеллектуальные системы управления гидромолота для разрушения горных пород .....                                                                             | 366 |
| <b>Валанчус Д.А.</b> Технологические особенности применения плазменной и лазерной сварки в машиностроении.....                                                                                   | 368 |
| <b>Величко Е.В.</b> «Мэйкер» ЖШС өндірістік жарақатты талдау бойынша шаралар әзірлеу .....                                                                                                       | 370 |
| <b>Витуль К.А.</b> Цифровизация логистической деятельности: современные тренды и перспективы .....                                                                                               | 372 |
| <b>Герасимов А.С.</b> Комплексный анализ существующих методов технического обслуживания погрузочной техники caterpillar .....                                                                    | 374 |
| <b>Ерболұлы А.</b> Заманауи машинажасаудағы инновациялық технологиялар .....                                                                                                                     | 376 |
| <b>Есен А.</b> Машина жасаудағы бөлшектердің сапасын автоматты бақылау үшін компьютерлік көруді қолдану .....                                                                                    | 378 |
| <b>Жакишев У.М.</b> Разработка унифицированной технологической оснастки для обработки корпусных деталей .....                                                                                    | 380 |
| <b>Жаксыбай Б.А.</b> Машинажасаудағы аддитивті технологиялардың ерекшеліктері.....                                                                                                               | 382 |
| <b>Жарылқасын Б.С.</b> Машина жасау өндірісінде жасанды интеллектті қолдану .....                                                                                                                | 384 |
| <b>Закиров Н.С.</b> Применение компьютерных технологий при исследовании аэродинамических характеристик шахтных осевых вентиляторов .....                                                         | 386 |
| <b>Захаров Д.А.</b> Стандартизация и унификация при проектировании технологической оснастки .....                                                                                                | 388 |
| <b>Иванов Г. А.</b> Применение цифровых двойников для оптимизации процессов механической обработки в машиностроении .....                                                                        | 390 |
| <b>Ізтілеу А.Д.</b> Фурье теоремасының инженерлік есептердегі рөлі.....                                                                                                                          | 392 |
| <b>Кожахметова И.Е.</b> Анализ и оценка рисков инвестиционного проекта по организации участка гибки труб.....                                                                                    | 394 |
| <b>Козич Д.П., Сироцкая Е.В.</b> Разработка конструкций и составов композиционных материалов для элементов экопарковок и малых архитектурных форм с применением сквозных cad/cae-технологий..... | 396 |

|                                                                                                                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Корнеев К.В.</b> Цифровые технологии и интеллектуальные решения в модернизации узлов станочного оборудования с использованием аддитивных технологий и композиционных материалов ..... | 398 |
| <b>Кубеев А.Е.</b> Повышение эффективности работы тормозной системы шахтного самосвала druk-15 в условиях тоо «Kaztechpro».....                                                          | 400 |
| <b>Кубеев А.Е.</b> Анализ технических характеристик и конструктивных особенностей шахтного самосвала druk-15 .....                                                                       | 402 |
| <b>Кудайбергенова А.Б.</b> Многокритериальная оценка эффективности smart-решений логистических процессов транспортной инфраструктуры города караганды .....                              | 404 |
| <b>Кузнецов А.Д., Нурмаганбетова А.С.</b> Экологическая оценка техногенного воздействия автосборочных предприятий (на примере Карагандинского региона) .....                             | 406 |
| <b>Кунанбаева А.</b> Өндірістік автоматтандыру және роботтандыру жүйелері .....                                                                                                          | 408 |
| <b>Куница В.А.</b> Исследование микротвердости износостойких покрытий на основе соединений тіс для уплотнительных пластин компактора .....                                               | 410 |
| <b>Манатбек Ш. Е.</b> Жасанды интеллект жүйелерінің сапасын бағалау: енгізу ерекшеліктері және нормативтік базасы.....                                                                   | 412 |
| <b>Мінуарбек П.Б.</b> Машина жасау саласындағы экологиялық таза технологиялар .....                                                                                                      | 414 |
| <b>Мустафаев А.М.</b> Технологические особенности сварки износостойких высокопрочных сталей hardox .....                                                                                 | 416 |
| <b>Назаров Р.С.</b> Внедрение іot-технологий для повышения эффективности производственного процесса в машиностроении .....                                                               | 417 |
| <b>Нжамбаев А.Т.</b> Влияние режимов резания на износ режущего инструмента при механической обработке конструкционных сталей .....                                                       | 419 |
| <b>Нұрланұлы Қ.</b> Машина жасау кезінде cad/cam/cae жүйелерін қолдану ерекшеліктері.....                                                                                                | 421 |
| <b>Оралбек Б.</b> Машинажасау кәсіпорындарының бәсекеге қабілеттілігін арттырудың заманауи тетіктері .....                                                                               | 423 |
| <b>Сансызбай Д.Қ.</b> Основы аддитивных технологий и их место в современном машиностроении.....                                                                                          | 425 |
| <b>Сафарьян А.В.</b> Цифровые технологии и интеллектуальные решения в задачах оптимизации управления манипуляционными системами.....                                                     | 427 |

|                                                                                                                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Седов Н.С.</b> Влияние скорости 3d печати на точность деталей.....                                                                                              | 429 |
| <b>Серикбаев И.Е.</b> Разработка и исследование композиционных материалов для изготовления элементов оборудования с использованием аддитивных технологий .....     | 431 |
| <b>Темірхан.Ш.Ә.</b> Цифровые технологии и интеллектуальные решения в современном машиностроении.....                                                              | 433 |
| <b>Толеуханов М.Б.</b> Совершенствование конструкции корпуса гидравлического насоса с целью повышения ремонтпригодности и ресурса работы.....                      | 435 |
| <b>Төлеген А.</b> Машина жасаудағы сапаны басқару жүйелері .....                                                                                                   | 437 |
| <b>Тулеева А.А.</b> Оптимизация параметров качества машиностроительной продукции через внедрение стандартов iso 9001 .....                                         | 439 |
| <b>Уразов Т.К.</b> Исследование комбинированной технологии механической обработки стали 110Г13л с применением цифровых технологий и интеллектуальных решений ..... | 440 |
| <b>Хмыско А. В.</b> Разработка смазочного материала с новым ингибитором коррозии .....                                                                             | 442 |
| <b>Шевченко Е.Е.</b> Лазерные виброметры .....                                                                                                                     | 444 |
| <b>Ющенко М. Л.</b> Организация системы удаленной передачи и оперативной корректировки программ управления для станков с числовым программным управлением.....     | 445 |

*Ғылыми басылым*

**Ә. Ермаковтың 135 жылдығына арналған  
«жастар ғылымының инновациялық және  
цифрлық технологиялардың дамуына  
қосқан үлесі»**

**атты Республикалық студенттік  
ғылыми конференциясы**

**ЕҢБЕКТЕРІ**

**I Бөлім**

**(2-3 сәуір 2026 ж.)**

Пішімі 60x90/16. Көлемі 19,5 бас.пар. Таралымы 1 дана.

Келісімді баға

ҚарТУ баспасы, 100027, Қарағанды қ., Н. Назарбаев даңғылы, 56