ISSN 1609-1825 (Print)
ISSN 2710-3382 (Online)

УНИВЕРСИТЕТ ЕҢБЕКТЕРІ

ТРУДЫ УНИВЕРСИТЕТА

№2
2026



- Машиностроение. Металлургия
- Геотехнологии. Безопасность жизнедеятельности
- Строительство. Транспорт
- Педагогика высшей школы. Экономика
- Энергетика. Автоматика. ИКТ



республикалық журналы

республиканский журнал

УНИВЕРСИТЕТ ЕҢБЕКТЕРІ

ТРУДЫ УНИВЕРСИТЕТА

2 (103) 2026

2000 жылдан бастап шығарылады
Мерзімділігі жылына 4 рет

Издается с 2000 года
Периодичность 4 раза в год

Журнал Қазақстан Республикасы Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің жанындағы Ақпарат комитетінде тіркелген (қайта есепке алу куәлігі № KZ63VPY00044097 15.12.2021 ж.)

Журнал зарегистрирован в Комитете информации при Министерстве информации и общественного развития Республики Казахстан (свидетельство о перерегистрации № KZ63VPY00044097 от 15.12.2021 г.)

МЕНШІК ИЕСІ
«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Қарағанды қаласы)

СОБСТВЕННИК
Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда)

Главный редактор
Ю.Н. Пак
академик НАН ВШК, КазНАЕН, д-р техн. наук, профессор

Редакционный совет

Сагинтаева С.С. *ректор НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», академик НАН ВШК, д-р экон. наук, канд. физ.-мат. наук, проф. (председатель) (Казахстан)*

Куликов В.Ю. *проф. кафедры металлургии и новых материалов НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», академик МАИН, канд. техн. наук (зам. главного редактора) (Казахстан)*

Сагадиева К.К. *руководитель Редакционно-издательского центра НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (и.о. ответственного секретаря) (Казахстан)*

Ахметов Б.С. *проф. кафедры информатики и информатизации образования Казахского национального педагогического университета имени Абая, академик НИА, МАИН, д-р техн. наук (Казахстан)*

Бирюков В.В. *проф. кафедры экономики и менеджмента предприятия НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», д-р экон. наук (Казахстан)*

Варгула Л. *PhD, ассоциированный проф. Познанского технологического университета (Польша)*

Выжва С.А. *директор института геологии Киевского национального университета имени Т. Шевченко, д-р геол.-мин. наук, проф. (Украина)*

Демин В.Ф. *проф. кафедры разработки месторождений полезных ископаемых НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», д-р техн. наук (Казахстан)*

Жанбаев Р.А. *эксперт по устойчивому развитию городов и внедрению цифровых и зеленых технологий, канд. экон. наук, РОО «Национальная инженерная академия РК» (Казахстан)*

Жетесова Г.С. *проф. кафедры технологического оборудования, машиностроения и стандартизации НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», академик КазНАЕН, д-р техн. наук, проф. (Казахстан)*

Жетписбаева Б.А. *проректор по стратегическому развитию НАО «Карагандинский национальный исследовательский университет имени академика Е.А. Букетова», д-р пед. наук, проф. (Казахстан)*

Ибатов М.К. *советник ректора НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», академик КазНАЕН, НИА РК, иностранный член Академии горных наук РФ, д-р техн. наук, проф. (Казахстан)*

Ибраев М.К. *декан химического факультета НАО «Карагандинский национальный исследовательский университет имени академика Е.А. Букетова», д-р хим. наук (Казахстан)*

Исагулов А.З. *руководитель аппарата НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», академик МАИН, КазНАЕН, НАН ВШК, д-р техн. наук, проф. (Казахстан)*

Кадыров А.С. *проф. кафедры транспортной техники и логистических систем НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», д-р техн. наук (Казахстан)*

Каталинич Б. *проф. Венского университета технологий, д-р техн. наук, President IAE-CEB, Professor, Dr.sc., Dr.mult.h.c., Prof.h.c., President of DAAAM International (Австрия)*

Коликов К.С. *зав. кафедрой горнопромышленной экологии Национального исследовательского технологического университета МИСиС, д-р техн. наук (Россия)*

Кошебаева Г.К. *проф. кафедры экономики и менеджмента предприятия НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», д-р экон. наук (Казахстан)*

Кропачев П.А. *доцент кафедры строительных материалов и технологий НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», канд. техн. наук, ассоц. проф. (Казахстан)*

Мехтиев А.Д. *проректор по науке и инновациям НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», канд. техн. наук, ассоц. проф. (Казахстан)*

Нугужинов Ж.С. *директор КазМИРР, советник Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), д-р техн. наук, проф. (Казахстан)*

Окишев К.Ю. *проф. кафедры термообработки и физики металлов ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», д-р физ.-мат. наук (Россия)*

Портнов В.С. *проф. кафедры геологии и разведки месторождений полезных ископаемых НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», академик МАИН, иностранный член Академии горных наук РФ, д-р техн. наук (Казахстан)*

Сахапов Р.Л. *зав. кафедрой дорожно-строительных машин Казанского государственного архитектурно-строительного университета, д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Тошов Ж.Б. *проф. Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова, д-р техн. наук (Узбекистан)*

Шеров К.Т. *проф. кафедры технологических машин и оборудования НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», д-р техн. наук (Казахстан)*



Машиностроение. Металлургия

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_3 УДК 622.647.2:621.774:621.983

Совершенствование конструкции торцевой зоны обечаек роликов ленточных конвейеров

КАЛИЕВ Бакытжан Заутбекович, *к.т.н., зав. кафедрой, b.kaliyev@satbayev.university,*
****АХМЕТЖАНОВ Нариман Бауыржанович,*** *докторант, anb2721@mail.ru,*
Satbayev University, Алматы, Казахстан,

**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Рассмотрены конструктивно-технологические особенности формирования торцевой зоны обечаек роликов ленточных конвейеров. Показано, что традиционные сварные и неформованные трубные обечайки характеризуются повышенной концентрацией напряжений и сниженной эксплуатационной надежностью. Предложено конструктивное решение торца обечайки, основанное на применении горячего ротационного формования трубной заготовки. Разработана технологическая схема формирования завальцованного торца с замкнутым радиусным профилем без применения сварных соединений. Установлено, что предложенное решение обеспечивает снижение концентрации напряжений в зоне торца и повышение ресурса роликов ленточных конвейеров. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и модернизации роликов, эксплуатируемых в условиях горнорудных предприятий.*

Ключевые слова: *ленточный конвейер, ролик, обечайка, трубная заготовка, завальцовка торца, горячее ротационное формование, надежность.*

Введение

Ленточные конвейеры являются одним из наиболее распространённых видов транспортирующего оборудования на горнорудных предприятиях. Надёжность их работы в значительной степени определяется эксплуатационными характеристиками роликов, на долю которых приходится значительная часть затрат на техническое обслуживание и ремонт. При этом торцевая зона обечайки является одним из наиболее нагруженных элементов конструкции, где часто наблюдаются разрушения, связанные с усталостным износом и концентрацией напряжений.

В практике изготовления элементов роликов ленточных конвейеров формирование посадочных мест под подшипники в торцах трубных заготовок традиционно осуществляется с применением сварных соединений, механической обработки либо комбинированных технологий.

Однако указанные методы обладают рядом существенных недостатков: наличием зон концентрации напряжений в сварных швах, снижением усталостной прочности изделия, увеличением трудоёмкости и себестоимости изготовления, а также ухудшением эксплуатационной надёжности роликов в условиях повышенной запылённости и влажности.

В связи с этим актуальной является разработка технологии, обеспечивающей формирование посадочного места под подшипник непосредственно в торце трубной заготовки без применения сварных операций.

В связи с этим актуальной является задача совершенствования конструкции и технологии изготовления торцевой зоны обечаек роликов ленточных конвейеров.

Цель работы – повышение надёжности и ресурса роликов ленточных конвейеров за счёт совершенствования конструкции и технологии формирования торцевой зоны обечаек.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи:

- анализ существующих конструктивных решений торцевой зоны обечаек роликов;
- исследование влияния формы торца обечайки на напряжённое состояние конструкции;
- разработка технологии формирования завальцованного торца трубной заготовки;
- сравнительная оценка предлагаемого решения с традиционными конструкциями.

Методология исследования

Предлагаемое конструктивно-технологическое решение

В работе предлагается конструктивно-технологическое решение торцевой зоны обечайки ролика, основанное на применении горячего ротационного формования трубной заготовки [1, 2, 6-8]. Сущность метода заключается в локальном нагреве торцевого участка трубы с последующим пластическим формоизменением при вращении заготовки. Исходная заготовка: трубная заготовка: сталь Ст3, 09Г2С, 20, 35 (типично для роликов конвейеров); наружный диаметр D; толщина стенки s_0.

Как показано на рисунке 1, в процессе формования осуществляется последовательная осадка и подгиб кромки трубы с образованием замкнутого радиусного профиля [3, 4]. Применение калибрующего дорна позволяет обеспечить требуемую геометрию внутренней посадочной поверхности.

Формирование завальцованного торца обеспечивает плавный переход от цилиндрической части обечайки к торцевой зоне, что снижает концентрацию напряжений и повышает жёсткость конструкции.

Технология формирования завальцованного торца

Трубчатой заготовке (рисунок 1, а), зажатой в цанговом патроне обкатной машины, сообщают вращение с частотой 357 об/мин. Конец вращающейся трубчатой заготовки нагревают в индукторе ТВЧ (2400 Гц) до 1100-1200°С. После равномерного нагрева индуктор отводят из технологической зоны, а обкаточным инструментом, который установлен на столе поперечного суппорта, формируют коническую переходную зону (рисунок 1, б) и посадочное место под подшипник качения (рисунок 1, в). Далее, после охлаждения зоны под посадочное место подшипника (горловины) и повторного нагрева только переходного конического участка, участок под посадочное место (горловину) продавливают внутрь, воздействуя в осевом направлении свободно вращающимся пуансоном (рисунок 1, г).

В результате получаем на конце трубчатой заготовки вывернутую внутрь цилиндрическую горловину (рисунок 1, д,е), внутренний диаметр которой равен диаметру оправки (наружному диаметру подшипника).

Результаты и обсуждение

Разработанный технологический процесс выворота заготовки при обкатке применим при изготовлении корпуса безвкладышной конструкции ролика ленточного конвейера.

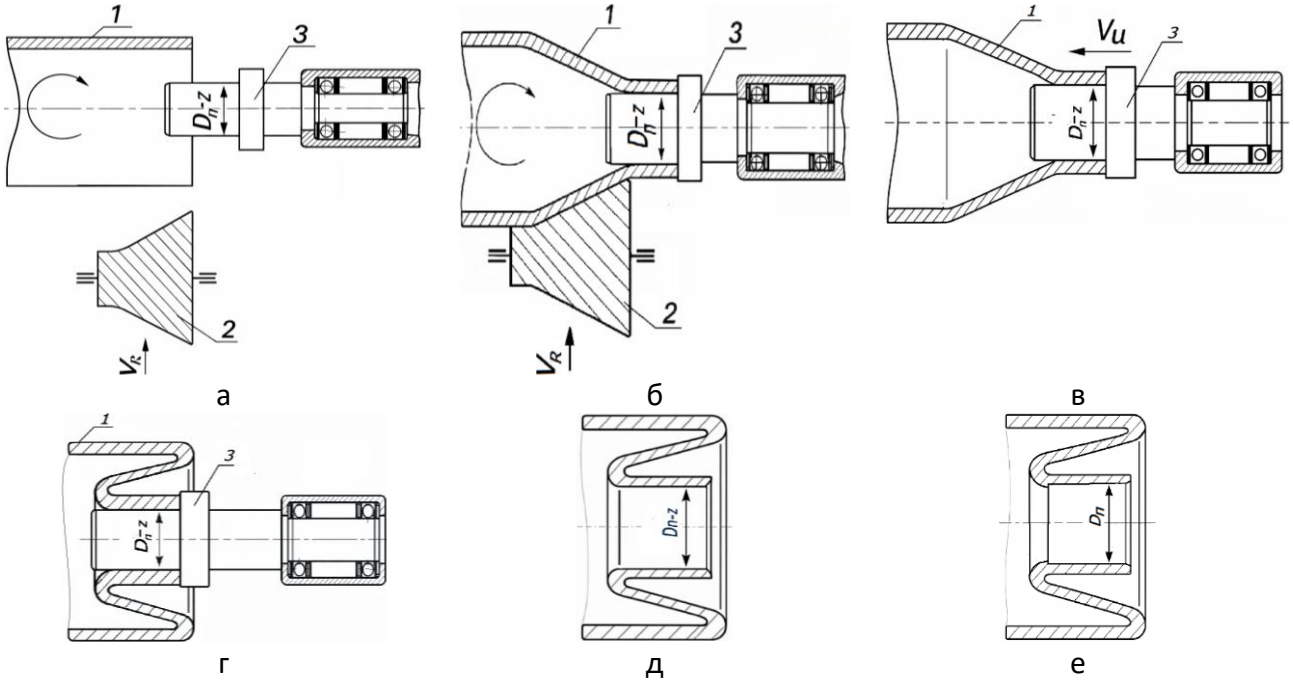
Для стойкого течения процесса выворота и получения достаточных геометрических параметров получаемой заготовки корпуса ролика ленточного конвейера необходим незначительный набор металла в вывернутой и переходной заготовки корпуса ролика, что несколько повышает металлоемкость изделия в целом.

Получаемая уже на первых этапах толщина металла обеспечивает достаточную величину припуска под последующую механическую обработку внутренней цилиндрической поверхности горловины для роликов всех типоразмеров.

Условие устойчивости процесса формования

Для обеспечения устойчивого формования без потери устойчивости стенки трубы должно выполняться условие:

$$\frac{s/d}{(s/d)_{кр}} \geq 1.2 - 1.5,$$



Dп – диаметр подшипника ролика; z – припуск на механическую обработку; Dп – z – диаметр дорна с учетом припуска на последующую механическую обработку посадочной поверхности; VR – радиальная подача; Vu – осевая подача; 1 – заготовка трубы; 2 – обкаточный ролик; 3 – дорн

Рисунок 1 – Схема формирования завальцованного торца трубной заготовки методом горячего ротационного формования

где $(s/d)_{кр}$ – критическое значение отношения толщины стенки к диаметру, определяемое экспериментально или расчётным путём;

s – толщина стенки трубной заготовки, мм;

d – наружный (или средний, что должно быть отдельно оговорено в методике расчёта) диаметр трубы в зоне деформации, мм;

Нарушение данного условия приводит к образованию складок или локальной потере устойчивости в зоне деформации.

Связь параметров процесса с геометрией посадочного места

Окончательный диаметр посадочного места d_p определяется как функция технологических параметров:

$$d_p = (\vartheta_u, \omega, \sigma_T, S_o, \mu),$$

где ϑ_u – осевая подача формующего ролика (инструмента), мм/об или мм/с;

ω – угловая скорость вращения трубной заготовки, рад/с;

σ_T – предел текучести материала заготовки при температуре формования, МПа;

μ – коэффициент трения в зоне контакта «инструмент-заготовка».

При этом:

- увеличение осевой подачи vu приводит к росту интенсивности осевой деформации и, как следствие, к уменьшению диаметра формируемого участка за счёт более выраженного перераспределения металла;
- увеличение угловой скорости вращения заготовки ω способствует повышению равномерности деформации по окружности, однако вызывает рост контактных напряжений;
- увеличение предела текучести σ_T снижает степень формоизменения и может приводить к увеличению конечного диаметра d_p;
- увеличение исходной толщины стенки s_0 повышает сопротивление радиальному обжатию;
- рост коэффициента трения μ увеличивает силовые нагрузки в зоне контакта и влияет на характер течения металла.

Таким образом, увеличение осевой подачи ϑ_u и угловой скорости вращения ω способствует интенсификации процесса формования, однако требует оптимизации с точки зрения силовых нагрузок, точности получаемого диаметра d_p и устойчивости пластической деформации в зоне посадочного места.

Применение горячего ротационного формования позволяет получить цельную обечайку с завальцованным торцом без применения сварных соединений, что существенно повышает эксплуатационные характеристики роликов.

Выводы

1. Проанализированы существующие конструкции торцевой зоны обечаек роликов ленточных конвейеров и выявлены их основные недостатки.

2. Разработано конструктивно-технологическое решение торца обечайки, основанное на горячем ротационном формовании трубной заготовки.

3. Показано, что формирование завальцованного торца позволяет снизить концентрацию напряжений и повысить надёжность роликов.

4. Предложенное решение может быть использовано при проектировании и модернизации роликов ленточных конвейеров горнорудных предприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулик А.Н. Имитационное моделирование и повышение точности геометрических характеристик горловин относительно малого диаметра, полученных ротационной обкаткой / А.Н. Кулик, А.Е. Боленков. – М.: Машиностроение, 1999. – С. 323-328.
2. Могильный Н.И. Ротационная вытяжка оболочковых деталей на станках / Н. И. Могильный. – М.: Машиностроение, 1983. – 190 с.
3. Пат. № 426154. Швеция, МКИ B21 D51/10,51/16. Способ получения горловины на конце трубчатой заготовки.
4. Грабовский Л., Мольнар В., Федорко Г. Снижение вибраций роликов ленточного конвейера путем структурной оптимизации // Машины. – 2023. – Т. 11, № 12. – Статья 1070.
5. Чжэн Ц., Лю Ч., Ван Ю. Процессы формования труб: последние достижения и проблемы // Журнал передовых производственных наук и технологий. – 2024. – Том 5, № 1. – С. 1-15.
6. Ли Ф., Чен С., Чжан С. Исследование нового процесса активного формования трубчатых компонентов с использованием контрроликов // Журнал технологий обработки материалов. – 2024. – Том. 325. – Статья 118208.
7. Дин С., У Ю., Чжао Х. Влияние процессов холодной прокатки на точность размеров и распределение толщины труб // Металлы. – 2024. – Том 14. № 11. – Статья 1297.
8. Кулиновский П., Каша П. Эксплуатационные проблемы и долговечность роликов ленточных конвейеров в горнодобывающей промышленности // Архивы горных наук. – 2016. – Том 61, № 3. – С. 567-582.

Таспалы конвейер роликті қабықшаларының соңғы аймағының конструкциясын жетілдіру

КАЛИЕВ Бакытжан Заутбекович, *т.ғ.к., кафедра меңгерушісі, b.kaliyev@satbayev.university,*
****АХМЕТЖАНОВ Нариман Бауыржанович,*** *докторант, anb2721@mail.ru, Satbayev University, Алматы, Қазақстан,*
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Таспалы конвейер роликтерінің обечайкаларының шеткі аймағын қалыптастырудың конструктивтік-технологиялық ерекшеліктері қарастырылған. Дәстүрлі дәнекерленген және қалыпталмаған құбырлы обечайкаларда кернеулердің шоғырлануы жоғары болып, пайдалану сенімділігі төмендейтіні көрсетілген. Құбыр дайындамасын ыстық ротациялық қалыптау әдісін қолдануға негізделген обечайка торцының конструктивтік шешімі*

ұсынылған. Дәнекерлеусіз тұйық радиусты профиль қалыптастыратын завальцаланған торецті алу технологиялық схемасы әзірленген. Ұсынылған шешім торец аймағындағы кернеулердің шоғырлануын азайтып, таспалы конвейер роликтерінің қызмет ету мерзімін арттыратыны анықталған. Алынған нәтижелерді тау-кен өнеркәсібі кәсіпорындарында пайдаланылатын роликтерді жобалау және жетілдіру кезінде қолдануға болады.

Кілт сөздер: *таспалы конвейер, ролик, обечайка, құбыр дайындамасы, торецті завальцовкалау, ыстық ротациялық қалыптау, сенімділік.*

Improving the Design of the End Zone of Belt Conveyor Roller Shells

KALIYEV Bakytzhan, *Cand. of Tech. Sc., Head of Department, b.kaliyev@satbayev.university,*
****AKHMETZHANOV Nariman,*** *Doctoral Student, anb2721@mail.ru,*
Satbayev University, Almaty, Kazakhstan,

**corresponding author.*

Abstract. *The design and technological features of forming the end zone of conveyor roller shells are considered. It is shown that conventional welded and non-formed tubular shells are characterized by increased stress concentration and reduced operational reliability. A design solution for the shell end based on hot rotary forming of a tubular blank is proposed. A technological scheme for forming a flanged end with a closed radius profile without welding is developed. It is established that the proposed solution reduces stress concentration in the end zone and increases the service life of belt conveyor rollers. The obtained results can be used in the design and modernization of rollers operated in mining enterprises.*

Keywords: *belt conveyor, roller, shell, tubular blank, end flanging, hot rotary forming, reliability.*

REFERENCES

1. Kulik A.N. Simulation Modeling and Improving the Accuracy of Geometric Characteristics of Necks of Relatively Small Diameter Obtained by Rotational Rolling / A.N. Kulik, A.E. Bolenkov. – Moscow: Mashinostroenie, 1999. – Pp. 323-328.
2. Mogilny N.I. Rotational Drawing of Shell Parts on Machine Tools / N. I. Mogilny. – Moscow: Mashinostroenie, 1983. – 190 p.
3. Patent No. 426154. Sweden, MKI B21 D51/10,51/16. Method for Obtaining a Neck at the End of a Tubular Workpiece.
4. Grabovsky L., Molnar V., Fedorko G. Reducing Vibration of Belt Conveyor Rollers by Structural Optimization // Machines. – 2023. – Vol. 11, No. 12. – Article 1070.
5. Zheng Q., Liu Q., Wang Yu. Tube Forming Processes: Recent Achievements and Challenges // Journal of Advanced Manufacturing Sciences and Technologies. – 2024. – Vol. 5, No. 1. – Pp. 1-15.
6. Li F., Chen S., Zhang S. Study on a New Process of Active Forming of Tubular Components Using Control Rollers // Journal of Materials Processing Technologies. – 2024. – Vol. 325. – Article 118208.
7. Ding S., Wu Yu., Zhao H. Effect of Cold Rolling Processes on Dimensional Accuracy and Thickness Distribution of Tubes // Metals. – 2024. – Vol. 14. No. 11. – Article 1297.
8. Kulinovsky P., Kasha P. Operational problems and durability of belt conveyor rollers in the mining industry // Archives of Mining Sciences. – 2016. – Vol. 61, No. 3. – Pp. 567-582.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_8 УДК 622.765

Исследование вещественного состава лежалых хвостов обогащения

[1]**САБИРОВА Ляйла Бахтияровна,** *к.т.н., ассоциированный профессор, l.sabirova@satbayev.university,*
[2]***ТУСУПБЕКОВА Таншолпан Шугайбековна,** *докторант, начальник лаборатории, tansholpan_87.09@mail.ru,*
[1]**МАМБЕТАЛИЕВА Алима Рахматуллаевна,** *PhD, ассоциированный профессор, a.mambetaliyeva@satbayev.university,*
[2]**МАКАШЕВА Гулдана Какимовна,** *докторант, ведущий научный сотрудник, mguldanka@mail.ru,*
[1]**ЕЛЕУСИЗ Сапарбек Елеусизулы,** *докторант, Saparik1994@mail.ru,*
[1]Satbayev University, Алматы, Казахстан,
[2]ТОО «КазГидроМедь», Караганда, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Представлены результаты исследования вещественного состава лежалых хвостов флотационного обогащения, рассматриваемых в качестве потенциального техногенного сырья. Проведены химический, фазовый, оптико-минералогический и гранулометрический анализы с использованием методов ICP-MS, микроскопических исследований и ситового анализа. Установлено, что хвосты характеризуются содержанием меди 0,17%, серебра 1,19 г/т и серы 1,03%, при этом медь представлена как в сульфидной, так и в окисленной формах. Минералогическими исследованиями выявлено преобладание тонко- и ультратонковкрапленного характера минерализации с размером зерен медьсодержащих минералов преимущественно менее 30 мкм. Показано, что распределение меди по классам крупности носит равномерный характер и пропорционально выходам фракций. Полученные результаты могут быть использованы для обоснования рационального направления переработки лежалых хвостов и выбора эффективных технологических схем извлечения меди и сопутствующих компонентов.*

Ключевые слова: *медь, серебро, гранулометрический анализ, минералогический анализ, химический анализ, флотация, техногенное сырье, лежалые хвосты.*

Введение

В условиях истощения запасов легкообогатимых руд и усложнения горно-геологических условий разработки возрастает роль техногенных минеральных образований как дополнительного источника минерального сырья, а их переработка рассматривается как одно из приоритетных направлений повышения ресурсной эффективности горно-металлургической отрасли [1-6].

Промышленными предприятиями Республики Казахстан ежегодно образуется порядка 1 млрд тонн отходов, при этом суммарные накопления техногенных образований к 2025 году достигли около 31,6 млрд тонн. Существенную часть данного объёма – до 70% – составляют техногенные минеральные образования, включая лежалые хвосты обогащения, в которых сохраняются остаточные содержания цветных и благородных металлов, не извлечённых при применении традиционных технологических схем переработки [7-8].

В 2025 году в Республике Казахстан начаты работы по паспортизации порядка 55 млрд тонн отходов, содержащих полезные ископаемые, что свидетельствует о формировании системного подхода к оценке ресурсного потенциала техногенных объектов и созданию условий для их промышленного освоения. Данные меры отражают возросший интерес государства и промышленных компаний к переработке лежалых хвостов как потенциального техногенного сырья [9-10].

Накопление лежалых хвостов обогащения сопровождается как потерями ценных компонентов, так и ростом техногенной нагрузки на окружающую среду. В этой связи переработка техногенных минеральных

образований приобретает не только экономическое, но и экологическое значение, соответствуя принципам рационального недропользования и циклической экономики [1-5].

Эффективное вовлечение лежалых хвостов обогащения в повторный хозяйственный оборот возможно лишь при наличии детальной информации о вещественном составе материала, формах нахождения полезных компонентов, степени их раскрытия, а также гранулометрических и физико-механических характеристиках. Исходя из этого, целью настоящей работы является изучение вещественного состава пробы лежалых хвостов обогащения для обоснования рационального направления их дальнейшей переработки.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования была использована проба лежалых хвостов, полученных после флотации.

Вещественный состав и физические свойства пробы исследовали с использованием комплекса аналитических методов. Общий элементный состав определяли методом ICP-MS. Формы нахождения меди определяли методом последовательного химического фазового анализа (селективного растворения), основанного на поэтапном извлечении меди из различных минеральных форм с последующим определением содержания Cu в растворах методом ICP-MS. Минералогический анализ выполняли в отражённом свете на полированных аншлифах с применением микроскопа OLYMPUS BX-53, видеокамеры SIMAGIS XS-3CU и программного обеспечения Mineral C7 (SIAMS). Индентификация минералов осуществлялась по совокупности оптических признаков (отражательная способность, цвет, анизотропия), размеры зерен определяли автоматическими средствами программного обеспечения. Гранулометрический состав устанавливали методом ситового анализа. Плотность хвостов измеряли пикнометрическим методом, насыпную плотность – взвешиванием в сосуде известного объёма.

Отбор проб осуществляли в соответствии со стандартными методиками, обеспечивающими репрезентативность и сохранение свойств исходной технологической пробы.

Результаты и обсуждение

В таблице 1 приведены результаты химического анализа исходной пробы.

Результаты формы нахождения меди в хвостах приведены в таблице 2. Относительное меди по формам рассчитывали как отношение содержание меди в данной форме к общему содержанию меди в пробе.

Ниже представлены результаты оптико-минералогического исследования пробы лежалых хвостов. Установлен минеральный состав рудной и нерудной части материала, морфология и размерность зерен, особенности ассоциаций минералов и техногенных продуктов переработки.

- Проба включает значительную долю нерудной составляющей (~80%) и техногенных шлаков (~10%);
- Рудный комплекс представлен магнетитом, пиритом и халькопиритом, остальные минералы встречаются эпизодически;
- Магнетит образует разнообразные морфологические типы, включая дендритные и мартитизированные формы;

Таблица 1 – Химический состав

Компонент	Массовая доля, %	Компонент	Массовая доля, %
Медь, %	0,17	Теллур, %	0,0003
Серебро, г/т	1,19	Оксид кремния, %	58,06
Золото, г/т	< п.о.	Оксид алюминия, %	17,47
Цинк, %	0,28	Оксид кальция, %	4,82
Свинец, %	0,09	Оксид магния, %	1,34
Железо, %	5,37	Оксид калия, %	2,89
Сера, %	1,03	Селен, %	< п.о
Сера сульфидная, %	1,00	Олово, %	< п.о
Мышьяк, %	0,015	Висмут, %	< п.о
Сурьма, %	0,003	Кадмий, %	0,0001
Молибден, %	0,005		

* < п.о. – ниже предела обнаружения

Таблица 2 – Форма нахождения меди в пробе

Форма нахождения металла	Содержание Cu, % (абс.)	Распределение Cu, % (отн.)
Cu сульфидных минералов, в т.ч.:	0,078	45,88
Cu вторичных сульфидов	0,026	15,29
Cu первичных сульфидов	0,052	30,59
Cu окисленных минералов	0,092	54,12
в т.ч. хризоколла	0,029	17,06
Итого Cu общая	0,170	100,0

- Медьсодержащие минералы отмечены как свободные зерна, так и бинарных сростках в виде тонкодисперсных включений <1–10 мкм.

Определены структурные разновидности пирита и медьсодержащих минералов.

Пирит – наблюдается в виде тонких зёрен и их агрегатов как в свободном виде, так и в виде включений в обломках нерудного материала. Размерность пиритовых зерен изменяется от 1 до 130 мкм (рисунок 2 а, б, в).

Халькопирит – самый распространённый сульфид меди исследуемой пробы.

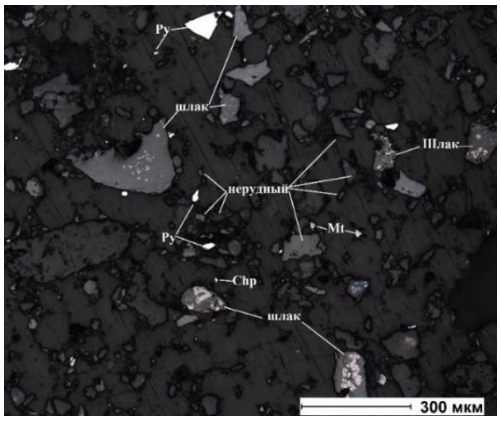
Зёрна халькопирита чаще всего встречаются в сростках с нерудной составляющей и в раскрытом состоянии, участками в ассоциации с пиритом (см. рисунки 3а, б, в), магнетитом (см. рисунок 2г), сфалеритом и борнитом. Преимущественный (средний) размер зерен халькопирита характеризуется ультратонкими (1-10 мкм) и тонкими (10-30 мкм) участками, относительно более крупными (40-60-120 мкм) размерами.

Борнит, ковеллин, халькозин встречаются очень редко. Преимущественный размер зерен минералов составляет от менее 1 до 80 мкм.

В таблице 3 приведены данные по рудным минералам пробы.

Результаты гранулометрического состава пробы лежалых хвостов с распределением по классам крупности представлены в таблице 4.

По данным ситового анализа содержание меди составило 0,17%, серебра – 1,19 г/т и серы – 1,03%. Наибольший выход 46,21% имеет класс -0,045+0 мм. Содержание готового класса по -0,071 мм составляет 63,58%. Содержание меди по классам крупности -0,1+0,045 мм изменяется в пределах исходного содержания, и только в классах -1+0,071 повышается до 0,23%. Содержание серебра с уменьшением класса крупности снижается с 1,42 г/т до 1,04 г/т в классе -0,045+0 мм. Распределение меди по классам крупности прямопропорционально выходам класса, что свидетельствует о тонковкрапленном и относительно равномерном характере минерализации.

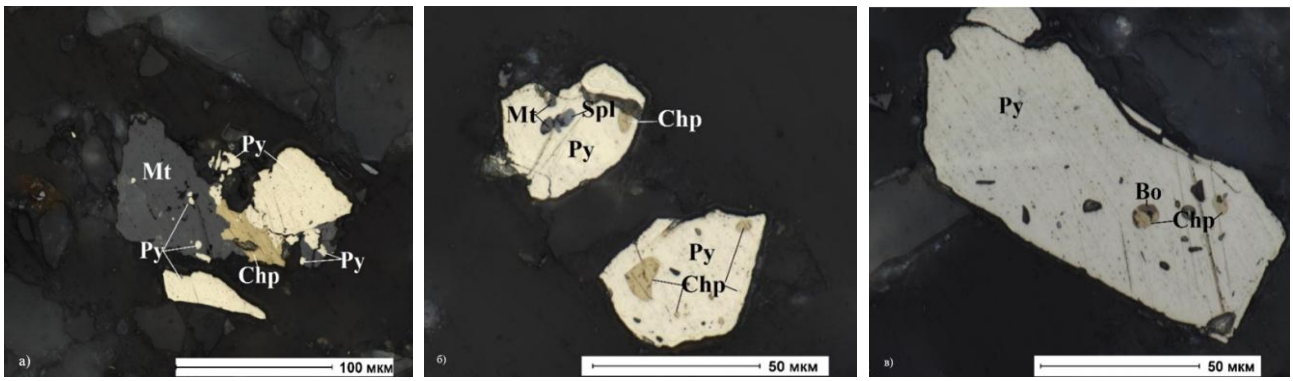


Mt – магнетит, Chp – халькопирит, Py – пирит

Рисунок 1 – Общий вид исследуемого материала в минералогическом препарате. Увеличение ×100. Отраженный свет, николи II

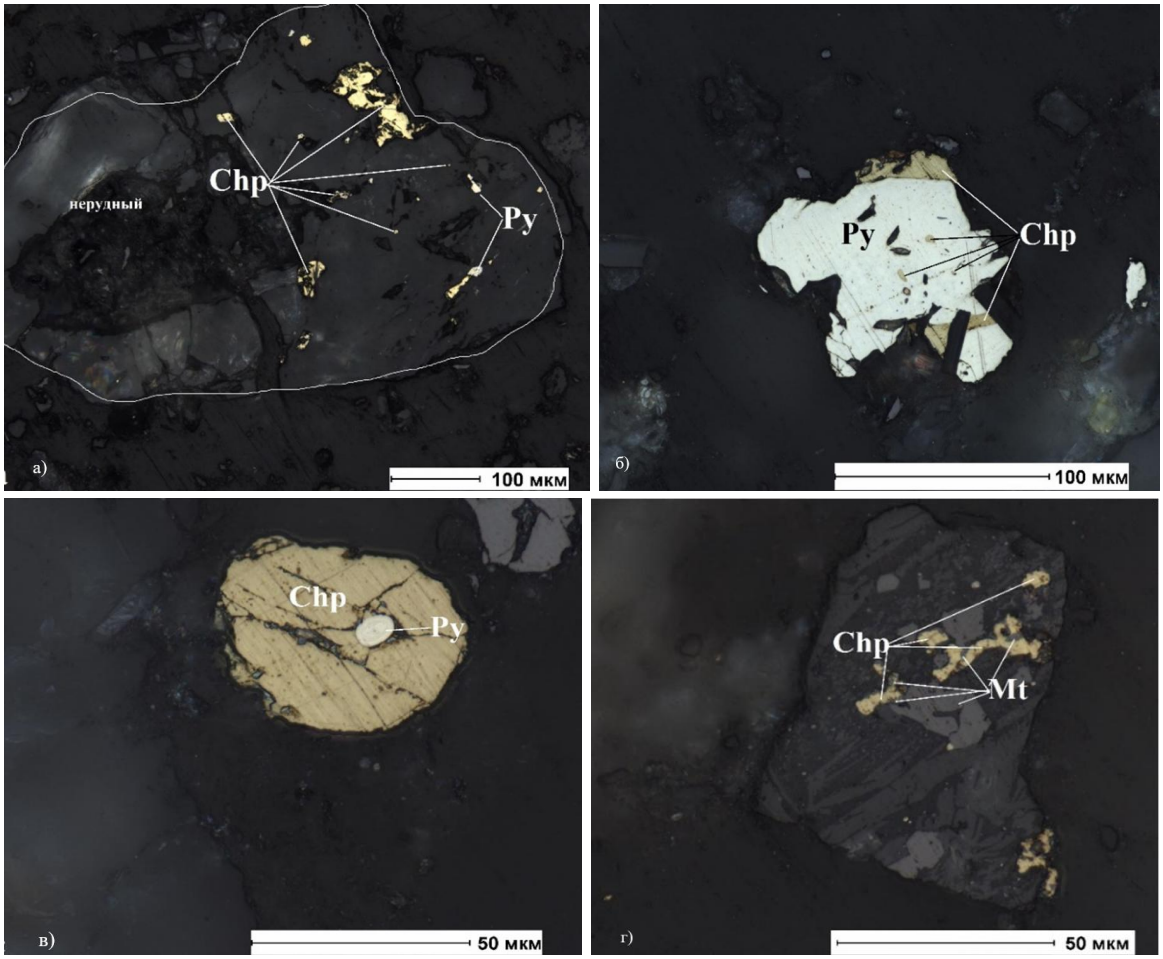
Заключение

В результате выполненных исследований установлено, что лежалые хвосты флотационного обогащения характеризуются низким, но промышленно значимым содержанием меди (0,17%), серебра (1,19 г/т) и серы (1,03%), что указывает на потенциальную возможность их вовлечения в повторную переработку. Фазовый анализ показал, что медь в исследуемой пробе представлена как в сульфидной форме (46,16%), так и в окисленных минералах (53,84%), при этом существенная доля меди связана с хризоколлой и вторичными сульфидами, что необходимо учитывать при выборе технологии извлечения. Оптико-минералогическими исследованиями установлено, что основными рудными минералами хвостов являются магнетит, пирит и халькопирит, при преобладании



Py – пирит, Chp – халькопирит, Mt – магнетит, Spl – сфалерит, Bo – борнит

**Рисунок 2 – Основные ассоциации пирита.
Увеличение × 500/1000. Отраженный свет, николи II**



Chp – халькопирит, Py – пирит, Mt – магнетит

**Рисунок 3 – Основные формы нахождения и ассоциации халькопирита.
Увеличение 500/1000. Отраженный свет, николи II**

тонко- и ультратонковкрапленного характера минерализации с размером зерен меди преимущественно менее 30 мкм. Гранулометрический анализ показал, что наибольший выход (46,21%) приходится на класс крупности -0,045+0 мм, при этом распреде-

Таблица 3 – Рудные минералы пробы

Минерал	Содержание	Размеры	Формы	Ассоциации
Магнетит	частый	<1-150 мкм	идиоморфный, скелетный, мартитизация	халькопирит, пирит, борнит, шлак
Пирит	частый	1-130 мкм	идиоморфный, гипидиоморфный	халькопирит, магнетит
Халькопирит	частый	1-120 мкм	точечные, овальные	магнетит, пирит, сфалерит, шлак
Гематит	редкий	1-70 мкм	тонкодисперсный	магнетит (замещение)
Пирротин	очень редкий	1-100 мкм	неправильные	магнетит, шлак
Сфалерит	очень редкий	<1-30 мкм	изометричный, овальный	халькопирит, галенит, шлак
Галенит	крайне редкий	<1-3 мкм	включения	халькопирит, сфалерит, шлак
Борнит	очень редкий	<1-20 мкм	мелкие включения	халькопирит, ковеллин, шлак
Ковеллин	очень редкий	до 80 мкм	пластинчатые, каемочные	медные сульфиды, шлак
Халькозин	крайне редкий	<1-5 мкм	точечные	магнетит, шлак

Таблица 4 – Результаты гранулометрического состава исходной пробы

Класс крупности, мм	Выход, %	Содержание, %, г/т*			Распределение, %		
		Cu	Ag*	S	Cu	Ag	S
-0,5+0,2	10,15	0,19	1,42	1,10	11,41	12,08	10,79
-0,2+0,1	21,08	0,15	0,98	0,89	18,73	17,31	18,15
-0,1+0,071	5,19	0,23	1,88	1,55	7,08	8,21	7,82
-0,071+0,045	17,37	0,18	1,50	1,04	18,19	21,87	17,57
-0,045+0	46,21	0,16	1,04	1,02	44,59	40,54	45,67
Исходная проба	100,0	0,17	1,19	1,03	100,0	100,0	100,0

ление меди по классам крупности пропорционально их выходам, что свидетельствует о равномерном распределении металла в материале. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности дальнейших исследований, направленных на разработку рациональной схемы переработки лежалых хвостов с применением селективных реагентов для повышения извлечения меди и сопутствующих ценных компонентов.

Финансирование: Исследование проведено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках грантового проекта № AP26198169.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sait Kursunoglu. A Review on the Recovery of Critical Metals from Mine and Mineral Processing Tailings: Recent Advances. Journal of Sustainable Metallurgy (2025) 11:2023-2050.
2. Carlos Cacciuttolo and Edison Atencio. Past, Present, and Future of Copper Mine Tailings Governance in

Chile (1905-2022): A Review in One of the Leading Mining Countries in the World. Int. J. Environ. Res. Public Health 2022, 19, 13060.
3. Marco Antonio Cotrina-Teatino, Jairo Jhonatan Marquina-Araujo, John Anthony Avalos-Murga, Fabricio Leonardo Carrion-Villacorta. Flotation of mine tailings: A bibliometric analysis and systematic literature review. Journal of Environmental Chemical Engineering. Volume 13, Issue 2, April 2025, 116136
4. Alaa Abbadi, G´abor Mucsi. A review on complex utilization of mine tailings: Recovery of rare earth elements and residue valorization. Journal of Environmental Chemical Engineering. 2024. №12. 2213-3437 с.
5. Mariana Lemos, Teresa Valente и др. Geochemistry and mineralogy of auriferous tailings depositsand their potential for reuse in Nova Lima Region, Brazil. Scientific Reports. 2023. №13. 4339-4345 с.
6. Elizabeth A. Holley1, Lukas Fahle, Aaron Malone и др. Reprocessing Mine Tailings to Recover Metals: State of Practice and Knowledge Gaps. SSRN. 2024. 1-50 с.
7. Мамбеталиева А.Р., Сагатбек С., Мугинов А.О., Жәкен Б. Исследование технологии флотационного обогащения углесодержащих лежалых хвостов с применением реагента-депрессора // Горный журнал Казахстана. 2025. №7. С. 61-66.
8. Дрючкова О.А., Мамяченков С.В., Асанов Д.А., Быков Р.А., Кожаканова М.Б. Разработка технологии переработки тонковкрапленных упорных лежалых хвостов обогащения медно-цинковых руд // Вестник Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева. 2020. С. 22-27.
9. Россамахина Н.С. Способы переработки поступающих и лежалых хвостов медно-цинковой обогатительной фабрики. Современные проблемы экологии и природопользования. Пенза, 2023. С. 93-97.
10. Туребекова К.С., Каткеева Г.Л., Оскембеков И.М., Султангазиев Р.Б. Коллективная флотация обескремненного техногенного баритового сырья // Горный журнал Казахстана. 2022. № 12. С. 46-50.

Байыту өндірісінің ұзақ уақыт сақталған қалдықтарының заттық құрамын зерттеу

[1]САБИРОВА Ляйла Бахтияровна, *т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, l.sabirova@satbayev.university,*
[2]*ТУСУПБЕКОВА Таншолпан Шугайбековна, *докторант, зертхана басшысы, tansholpan_87.09@mail.ru,*
[1]МАМБЕТАЛИЕВА Алима Рахматуллаевна, *PhD, қауымдастырылған профессор, a.mambetaliyeva@satbayev.university,*
[2]МАКАШЕВА Гулдана Какимовна, *докторант, жетекші ғылыми қызметкер, mguldanka@mail.ru,*
[1]ЕЛЕУСИЗ Сапарбек Елеусизулы, *докторант, Saparik1994@mail.ru,*
[1]Satbayev University, Алматы, Қазақстан,
[2]«КазГидроМедь» ЖШС, Қарағанды, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Техногендік шикізат ретінде қарастырылатын байыту өндірісінің флотациялық қалдықтарының заттық құрамын зерттеу нәтижелері келтірілген. Зерттеу барысында ICP-MS әдісін қолдана отырып химиялық, фазалық, оптико-минералогиялық және гранулометриялық талдаулар жүргізілді. Қалдықтардағы мыстың мөлшері 0,17%, күмістің мөлшері 1,19 г/т және күкірттің мөлшері 1,03% екені анықталды, бұл ретте мыс сульфидті және тотыққан минералдық формаларда кездеседі. Минералогиялық зерттеулер мысқұрамды минералдардың көлемі негізінен 30 мкм-ден кіші болатын ұсақ және ультраұсақ минералдану басым екенін көрсетті. Мыстың ірілік көлемдері бойынша таралуы фракциялардың шығымына пропорционал екені анықталды. Алынған нәтижелер қалдықтарды қайта өңдеудің ұтымды бағытын негіздеуге және мысты әрі ілеспе компоненттерді тиімді өндірудің технологиялық сызбаларын таңдауға мүмкіндік береді.*

Кілт сөздер: *мыс, күміс, гранулометриялық талдау, химиялық талдау, минералогиялық талдау, флотация, техногендік шикізат, қалдықтар.*

Study of the Material Composition of Aged Mineral Processing Tailings

[1]***SABIROVA Lyaila,*** *PhD, Associate Professor, l.sabirova@satbayev.university,*
[2]****TUSSUPBEKOVA Tansholpan,*** *Doctoral Student, Head of Laboratory, tansholpan_87.09@mail.ru,*
[1]***MAMBETALIYEVA Alima,*** *PhD, Associate Professor, a.mambetaliyeva@satbayev.university,*
[2]***MAKASHEVA Guldana,*** *Doctoral Student, Leading Researcher, mguldanka@mail.ru,*
[1]***YELEUSSIZ Saparbek,*** *Doctoral Student, Saparik1994@mail.ru,*
[1]Satbayev University, Almaty, Kazakhstan,
[2]«KazGidroMed» LLP, Karaganda, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *The results of a study on the material composition of stored flotation tailings considered as potential technogenic raw materials , are presented. Chemical, phase, optical mineralogical, and particle size analyses were carried out using ICP-MS, microscopic examination, and sieve analysis. The tailings were found to contain 0.17% copper, 1.19 g/t silver, and 1.03% sulfur, with copper occurring in both sulfide and oxidized mineral forms. Mineralogical studies revealed a predominantly fine and ultrafine dissemination of copper-bearing minerals, with grain sizes mainly below 30 μm. The distribution of copper across particle size classes was shown to be proportional to the mass yield of the fractions, indicating a relatively uniform mineralization. The obtained results can be used to substantiate rational processing approaches for stored tailings and to select effective technological schemes for copper and associated metal recovery.*

Keywords: *copper, silver, particle size analysis, mineralogical analysis, chemical analysis, flotation, technogenic raw materials, old tailings.*

REFERENCES

1. Sait Kursunoglu. A Review on the Recovery of Critical Metals from Mine and Mineral Processing Tailings: Recent Advances. Journal of Sustainable Metallurgy (2025) 11:2023-2050.
2. Carlos Cacciuttolo and Edison Atencio. Past, Present, and Future of Copper Mine Tailings Governance in Chile (1905-2022): A Review in One of the Leading Mining Countries in the World. Int. J. Environ. Res. Public Health 2022, 19, 13060.
3. Marco Antonio Cotrina-Teatino, Jairo Jhonatan Marquina-Araujo, John Anthony Avalos-Murga, Fabricio Leonardo Carrion-Villacorta. Flotation of mine tailings: A bibliometric analysis and systematic literature review. Journal of Environmental Chemical Engineering. Volume 13, Issue 2, April 2025, 116136.
4. Alaa Abbadi, G´abor Mucsi. A review on complex utilization of mine tailings: Recovery of rare earth elements and residue valorization. // Journal of Environmental Chemical Engineering. 2024. №12. Pp. 2213-3437
5. Mariana Lemos, Teresa Valente и др. Geochemistry and mineralogy of auriferous tailings depositsand their potential for reuse in Nova Lima Region, Brazil // Scientific Reports. 2023. №13. Pp. 4339-4345.
6. Elizabeth A. Holley1, Lukas Fahle, Aaron Malone и др. Reprocessing Mine Tailings to Recover Metals: State of Practice and Knowledge Gaps // SSRN. 2024. Pp. 1-50.
7. Mambetaliyeva A.R., Sagatbek S., Muginov A.O., Zhəken B. Issledovanie tehnologii flotacionnogo obogashhenija uglesoderzhashhih lezhalyh hvostov s primeneniem reagenta-depressora // Gornyj zhurnal Kazahstana. 2025. №7. Pp. 61-66.
8. Drjuchkova O.A., Mamjachenkov S.V., Asanov D.A., Bykov R.A., Kozhakanova M.B. Razrabotka tehnologii pererabotki tonkovkraplennyh upornyh lezhalyh hvostov obogashhenija medno-cinkovyh rud // Vestnik Vostochno-Kazahstanskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta im. D.Serikbaeva. 2020. Pp. 22-27.
9. Rossamahina N.S. Sposoby pererabotki postupajushhih i lezhalyh hvostov medno-cinkovoj obogatitel'noj fabriki. Sovremennye problemy jekologii i prirodopol'zovanija. Penza, 2023. Pp. 93-97.
10. Turebekova K.S., Katkeeva G.L., Oskembekov I.M., Sultangaziev R.B. Kollektivnaja flotacija obeskremnennogo tehnogennogo baritovogo syr'ja // Gornyj zhurnal Kazahstana. 2022. №12. Pp. 46-50.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_15 ӘОЖ 669.168

Хромат шламдарындағы экологиялық қауіпті алтывалентті хромды қалпына келтіру балқыту әдісімен бейтараптандыру

[1]**КИМ Александр Сергеевич,** *т.ғ.д., бас ғылыми қызметкер, Boron_213@mail.ru,*
[1]**АКБЕРДИН Александр Абдуллович,** *т.ғ.д., зертхана меңгерушісі, akberdin_38@mail.ru,*
[2]***СУЛТАНГАЗИЕВ Руслан Бауыржанович,** *PhD, доцент, sulrus83@mail.ru,*
[1]**ОРЛОВ Алексей Сергеевич,** *PhD, аға ғылыми қызметкер, wolftailer@mail.ru,*
[1]Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты, Қарағанды, Қазақстан,
[2]Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Хроматты шламдарды қалпына келтіру балқыту әдістері арқылы өңдеу технологиясын әзірлеуге бағытталған зерттеу нәтижелері ұсынылған. Процестің негізгі мақсаты – хром қосылыстарды металдық күйге айналдыру. Қалпына келтіру балқыту хром оксидтерін тиімді түрде қалпына келтіруге мүмкіндік беретіні анықталды. Тәжірибелік балқытулар хромның металдық фазаға дерлік толық қалпына келу мүмкіндігін көрсетті. Өңдеу нәтижесінде алынған оксидтік бөлік құрылыс қиыршығы ретінде пайдалануға ұсынылады. Процестің технологиялық тиімділігін арттыру мақсатында хроматты шламдарды алдын ала окускалау ұсынылады. Электрбалқытуға арналған окускалау әдісі ретінде битум қолдану арқылы брикеттеу ұсынылады.*

Кілт сөздер: *хромат шламы, алтывалентті хром, модельдеу, тотықсыздандыру.*

Кіріспе

Хром қосылыстарын өндіруге маманданған кәсіпорындардың негізгі қалдығы – натрий хроматының Na_2CrO_4 тұздарын алу кезінде түзілетін хромат шламдары болып табылады. Соңғысы барлық тауарлық хром тұздарын алуға пайдаланылатын жартылай өнім болып саналады. Қазіргі уақытта химия зауыттарында миллиондаған тонна жоғары уытты шламдар жинақталған, олар қоршаған ортаға аса улы алты валентті хромның түсу көзі болып табылады. Бүкіл әлемде кең көлемде жүргізіліп жатқан зерттеулерге қарамастан, бүгінгі күнге дейін шламдарды қайта өңдеудің өнеркәсіпте қолданылатын технологиялары жоқ. Химиялық залалсыздандырудан кейінгі қалдықтардың негізгі бөлігі шламсақтағыштарда көмуге жатады.

Қазақстанда хромқұрамды қалдықтармен ластану бойынша ең күрделі жағдай Ақтөбе қаласында орын алған, мұнда Ақтөбе хром қосылыстары зауыты (АХҚЗ) және Ақтөбе ферроқорытпа зауыты (АФЗ) жұмыс істейді, олардың жиналған шламдарының құрамында ауаға, топыраққа, жерасты суларына енетін Cr(VI) бар. Қалада медицина мамандары қоршаған ортадағы Cr(VI) концентрациясы мен халықтың аурушаңдығы, сондай-ақ, туу көрсеткіші мен нәресте өлімі арасында тығыз байланысты анықтаған. Қаладағы туу көрсеткіші облыс бойынша орташа деңгейден едәуір төмен, ал өлім-жітім деңгейі жоғары [1-4]. Бұл хромит кендерін қайта өңдеу кәсіпорындарының үйінділерінде үнемі түзілетін және жинақталатын осы қауіпті қосылысты бейтараптандыру бойынша шаралар қабылдау қажеттігін көрсетеді.

Қазіргі уақытта АХҚЗ-да жыл сайын 200 мың тоннадан астам хромат шламдары түзіледі. Сондықтан оларды кәдеге жарату мәселесі Қазақстан үшін күрделі міндет болып табылады. Хромат шламдарын қайта өңдеудің барлық қолданыстағы әдістері энергияны көп қажет етеді және көбінесе іске асыруы күрделі әрі уақыт жағынан ұзаққа созылатын үдерістер болып табылады. Үйінділерден хром қосылыстарын бөліп алуға бағытталған шламдарды қайта өңдеудің негізгі тәсілдерін химиялық, ферменттік-микробиологиялық, биологиялық, термиялық және т.б. деп бөлуге болады. Біз бұл жұмыста термиялық әдісті қарастырдық, оған хром оксидтерін металдық күйге ауыстыра отырып, хромат шламын тотықсыздандыру балқытуы арқылы құрамы бойынша көміртекті феррохромға жақын хром мен темір қорытпасын алу жа-

тады. Хромат шламдарын темір кендерін агломерациялау кезінде флюс ретінде пайдалану тәжірибесінен белгілі болғандай, алты валентті хромды Cr_2O_3-ке дейін тотықсыздандырғаннан кейін салқындау барысында алты валентті хромның қайта түзілуімен бірге қайта тотығу орын алады. Бұл үрдістің алдын алу үшін салқындату кезінде арнайы шаралар қажет. Хромат шламдарын электр пешінде қайта балқыту кезінде металл пеш ваннасында, пеш түбінде жиналып, қождан бөлек шығарылады. Залалсыздандырылған қож балқымасы құрылыс материалы ретінде пайдаланылуы мүмкін.

Шламды қайта өңдеу үрдістерінің тиімділігін арттыру үшін оны базальт негізіндегі жылуоқшаулағыш материал немесе қожтасты құю өндірісінің қолданыстағы технологиялық желілерінде шихтаның құрамдас бөлігі ретінде пайдалану да ұсынылады.

Осы жұмыс хромат шламдарын тотықсыздандыру балқыту әдісімен қайта өңдеудің тиімді технологиясын әзірлеуге арналған. Зерттеу нысаны хромат өндірісі шламдарын залалсыздандыру және қайта өңдеу технологиясы болып табылады.

Зерттеу әдістемесі

Зерттеу нысаны ретінде біз шлам үйінділерінде жинақталған доломитті шламдарды және ағымдағы өндірістің доломитсіз шламдарын таңдадық. Кокс көміртегін пайдалана отырып қайта балқыту процесі TEPPA термодинамикалық кешенін қолдану арқылы модельденді.

Модельдеу нәтижелерін эксперименттік тексеру және тотықсыздандыру балқыту процесінің технологиялық параметрлерін пысықтау Тамман типті көмірлі қыздырғышы бар зертханалық жоғары температуралы кедергі пешінде жүзеге асырылды. Шлам мен балқыту өнімдерінің тұтқырлығын зерттеу молибден жабдықтарын пайдалана отырып, электрвибрациялық вискозиметрде жүргізілді. Қондырғының бақылау-өлшеу бөлігі ВР-5/20 вольфрам-ренийлі терможұбынан тұрды, оның алундты қаптамадағы ыстық дәнекерленген ұшы тигель түбіне жеткізілді. Балқыманың тұтқырлығы толық кристалдануға дейінгі сұйық аққыш күй температурасынан бастап, минутына 1-5°С жылдамдықпен үздіксіз салқындату кезінде өлшенді. Кристалдану температурасы тұтқырлық политермаларын жартылай логарифмдік өңдеу әдісімен анықталды

Зерттеу нәтижесі

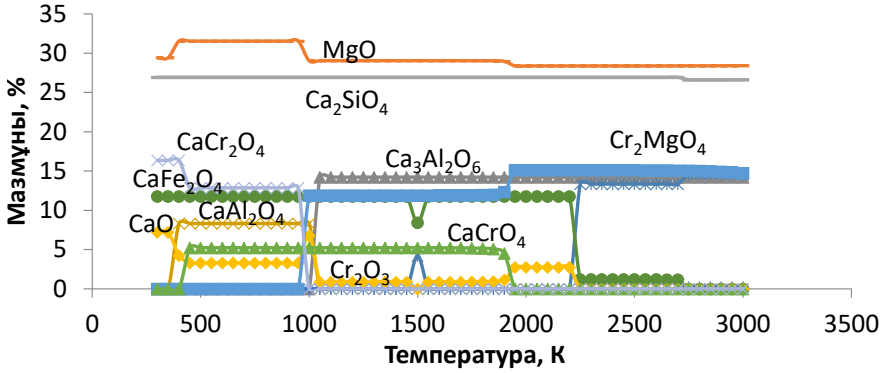
Натрий хроматын өндірудің доломитті шламы. Шлам сынамасы шлам тұндырғыштан алынды. Хромат шламы қара түсті жұқа дисперсті ұнтақ болып табылады. Тәжірибелік сынаманың химиялық құрамы (масс.%): 9,4 SiO_2, 5,37 Al_2O_3, 8,72 Fe_2O_3, 32,31 CaO, 31,54 MgO, 9,39 Cr_2O_3, 3,35 CrO_3. Бастапқыда бейтарап газ (аргон) атмосферасында 300-2500К температура аралығында қыздыру кезінде фазалық құрамның өзгеруі бағаланды (1-сурет).

Бұл деректер шламның құрамындағы экологиялық қауіпті үш валентті және алты валентті хром қосылыстарын бейтар аптандыру мақсатында шламды тотықсыздандыру балқытуының шарттарын анықтау үшін қажет.

Алты валентті хром $CaCrO_4$ құрамында 450К температурада-ақ анықталады және өнімдерін пештен шығару температурасына (1900-2100 К) дейін сақталады. Бұл оны бейтараптандыру үшін тікелей балқыту пешінің өзінде шаралар қабылдау қажеттігін білдіреді.

Бұрын түзілген (300К кезінде) кальций хромиті $CaCr_2O_4$-тің шихта компоненттерімен өзара әрекеттесуі бос Cr_2O_3-тің болуына әкеледі. Ол да экологиялық қауіп төндіреді және бейтараптандырылуы тиіс.

Бастапқы шлам құрамында кальций оксиді (CaO) сияқты күшті негіздің көп мөлшері



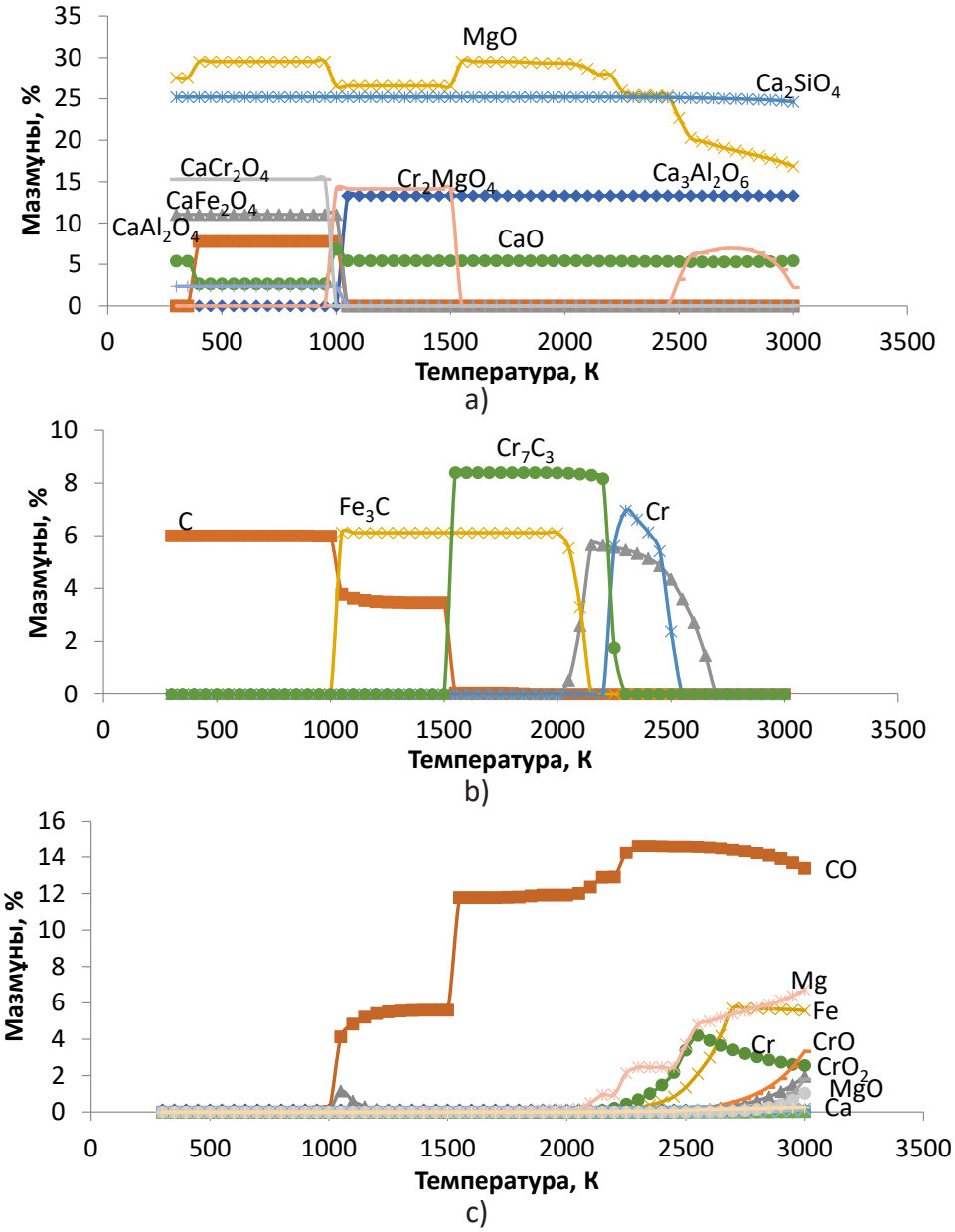
1-сурет – АХҚЗ шламының бейтарап атмосферада қыздырылған кездегі фазалық құрамының өзгеру динамикасы

(24%) бар, сондықтан ол қосылыстардың ең көп мөлшерін түзеді. Оның күшті қышқылдық оксид SiO_2-пен өзара әрекеттесуі жоғары балқитын кальций ортосиликаты Ca_2SiO_2 түзілуіне, гематитпен (Fe_2O_3) – екі кальций ферритінің: $CaFe_2O_4$ және $Ca_2Fe_2O_5$ түзілуіне, ал глиноземмен – монокальций алюминатының ($CaAl_2O_4$) және үшкальций алюминатының ($Ca_3Al_2O_6$) түзілуіне әкеледі.

Аталған реакциялар өткеннен кейін бос қышқылдық немесе амфотерлі оксидтердің болмауы жүйеде бос магний оксидінің MgO көп мөлшерде болуын шарттайды.

Оксидтік фазалардың сандық мәндерінің және олардың өмір сүру температуралық диапазонының болуы шламды карботермиялық қайта өңдеудің технологиялық процесін бағалауға мүмкіндік береді (2-сурет).

Шламнан түзілетін қож ферроқорытпаларды кен-термиялық пештен шығарудың әдеттегі температурасы 1900-2100К кезінде хромның ешқандай қосылыстарын қамтымайды (2,а-сурет). Олар металға ауыстырылған. Соңғысы фазалық құрам бойынша Cr_7C_3 хром карбидтері мен Fe_3C темір карбидтерінен құралған жоғары көміртекті феррохром болып табылады (2,б-сурет). Қож құрамында жоғары балқитын MgO (3105К), Ca_2SiO_4 (2403К), $Ca_3Al_2O_6$ (1808К), CaO (2888К) бар екеніне назар аудару қажет және оны пештен шығару кезінде қиындықтар туындауы мүмкін. Процестің газ фазасы (2,в-сурет) іс



2-сурет – Хромат шламын тотықсыздандыру балқыту кезінде металдың (а), қождың (b) және газдың (c) фазалық құрамының қалыптасу динамикасы

жүзінде толықтай CO-дан тұрады, ол элементтердің көміртекпен тотықсызданууының өнімі болып табылады. Газда аз мөлшерде Mg, Cr, CaO булары анықталады.

Тәжірибелік шламдардың тұтқырлығы мен балқу температурасын анықтау бойынша алдын ала жүргізілген тәжірибелер олардың балқу температурасы 1770-1800°C және одан жоғары екенін көрсетті. Осыған байланысты, оксидтік жүйелердің физика-химиясы саласындағы өз тәжірибемізге сүйене отырып [5], біз шлам мен балқыту өнімдерінің балқу температурасын және тұтқырлығын төмендету үшін құрамында бор бар флюстерді, олардың құрамында 1-1,5% B_2O_3 болуын қамтамасыз ететін мөлшерде енгізуді ұсындық. Бұл шламның кристалдану басталу температурасын 1570-1590°C-қа дейін, ал қождікін 1600-1620°C-қа дейін төмендетуді қамтамасыз етті. Қождың тұтқырлығы 5 пуаздан төмен болуы 1700°C және одан жоғары температурада қамтамасыз етіледі, бұл электрлік балқыту кезінде толықтай қолжетімді.

Тәжірибелік балқытулар термодинамикалық модельдеу нәтижелерін растады. Тәжірибелер Тамман пешінде жүргізіледі. Тәжірибе шарттары: температура 1650°C, ұстау уақыты 15 минут, көміртек шығыны хром мен темір оксидтерін толық тотықсыздандыру есебімен алынды. Алынған балқыту өнімдері (қож және металл) химиялық әдіспен талданды. Қожда алты валентті хром анықталған жоқ. Қождың құрамында (масс.%): 40,4 CaO, 6,7 Al_2O_3.

1,1 B_2O_3, 38,7 MgO, 1,5 Cr_2O_3 болды. Балқытудың осы жағдайларында темір толық тотықсызданды, ал Cr_2O_3-тің қалдық мөлшері 1,5% құрады. Алынған металдың құрамында (масс.%): 50,43 Fe, 41,67 Cr, 5,95 C және 1,95 Si болды.

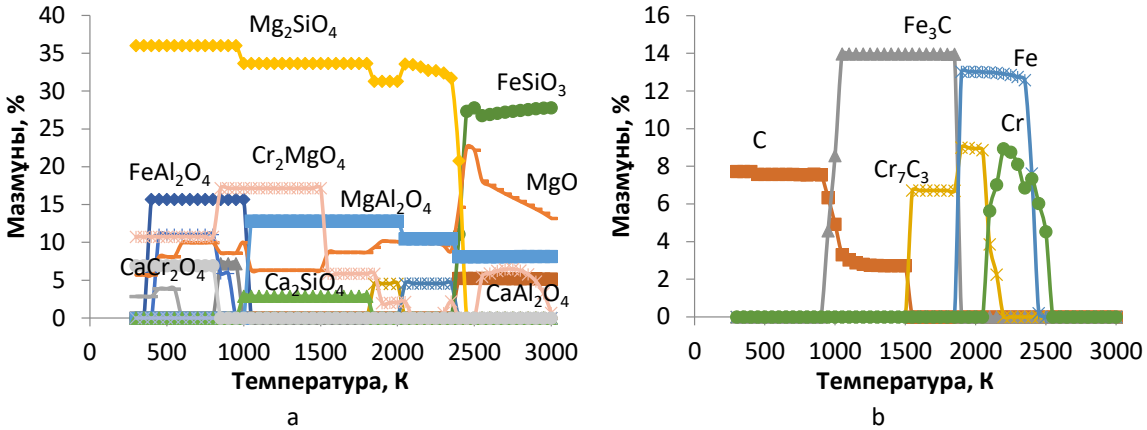
Натрий хроматын өндірудің доломитсіз шламы.

Көптеген жылдар бұрын АХҚЗ хроматтар өндірісінің доломитсіз технологиясына [6] көшті, инертті қоспа ретінде өзінің шламын пайдаланды, бұл процестің көрсеткіштерін едәуір жақсартты. Бұл жағдайда шлам құрамы кальций оксидінің төмен мөлшерімен ерекшеленеді және құрамында (масс.%): 12,2 Cr_2O_3, 1,5 CrO_3, 18,33 Fe_2O_3, 15,13 SiO_2, 9,05 Al_2O_3, 1,84 CaO және 32,31 MgO болады. Коксикті пайдалана отырып шламды тотықсыздандыра қайта балқытудың термодинамикалық модельдеу нәтижелері 3-суретте көрсетілген.

Бұл шламды карботермиялық қайта балқыту кезінде қожда алты валентті хром қосылыстары пештен балқыту өнімдерін шығарған кездегі температурада анықталмайды (3,а-сурет). Үш валентті хромды қамтитын кальций хромиті $CaCr_2O_4$ 800K температурада жоғалып кетеді, ал 1000K кезінде түзілген магнийлі хромит Cr_2MgO_4 1500 K-қа дейін сақталады (3,а-сурет). Осы себептен, осы шлам үшін балқыту өнімдерінің температурасын кемінде 1500K деңгейінде ұстау қажет. Түзілетін металл темір (Fe_3C) және хром (Cr_7C_3) карбидтерінен құралған.

Жоғарыда көрсетілген әдістемеге сәйкес жүргізілген тәжірибелік балқытулар доломитсіз шламдарды хром оксидтерінен залалсыздандыру бойынша термодинамикалық модельдеу нәтижелерін растады.

Сонымен қатар, анықталғандай, доломитсіз шламдар және тотықсыздандыру балқытуынан кейінгі қождар жоғары балқу температурасымен ерекшеленеді, олардың абсолюттік мәндері доломитті шламдарға жақын. Сондықтан балқыту кезінде бастапқы материалдар мен балқыту өнімдерінің балқу температурасын төмендету үшін бор-



3-сурет – Доломитсіз хромат шламын тотықсыздандыра балқыту кезінде қождың (a) және металдың (b) фазалық құрамының түзілу динамикасы

лы флюстың шығынын алғашқы балқытулар сериясындағыдай орнаттық, бұл балқыту режимін қалыпты жүргізуді қамтамасыз етті. Қождың химиялық талдауы темір мен хром оксидтерінің іс жүзінде толық тотықсыздданғанын көрсетті. Қож MgO-ның жоғары мөлшерімен ерекшеленді және құрамында (масс.%): 25,5 SiO_2, 15,25 Al_2O_3, 3,18 CaO, 54,46 MgO және 1,5 B_2O_3 болды. 1700°C және одан жоғары температурада оның тұтқырлығы 5 пуаздан төмен болды, бұл балқыту өнімдерін шығарудағы ағып кету талаптарына сәйкес келеді.

Тотықсыздандыру балқыту нәтижесінде құрамында (масс.%): 52,5 Cr, 38,26 Fe, 6,1 C және 2,1 Si бар темір-хром қорытпасы алынды. Алынған қорытпа құрам бойынша көміртекті феррохромға жақын болып келеді.

Қорытынды

Осылайша, хромат шламдарындағы экологиялық қауіпті алты валентті хромды металлургиялық кокс көмегімен тотықсыздандыру балқыту арқылы қауіпсіз металдық формаға ауыстыру ұсынылады, бұл процесс қосымша мөлшерде хром мен темірді өндіріске қайтаруға мүмкіндік береді. Балқыту барысында түзілетін қож құрылыс индустриясында пайдаланылуы мүмкін.

Дамытылған технология экологиялық қауіпсіз болып табылады және хромит кендерін қайта өңдейтін кәсіпорындардың өндірістік циклдеріне енгізуге ұсынылады.

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырады (Грант, № AP23488320).

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Гасик М.И., Лякишев Н.П., Емлин Б.И. Теория и технология производства ферросплавов: Учебник для вузов. М.: Металургия, 1988. 784 с.
2. Makhambetov Y., Zhakan A., Zhunusov A. и др. Resource-efficient smelting technology for FeCrMnSi ferroalloy production from technogenic wastes in an ore-thermal furnace // Metals. – 2025. – Vol. 15, No. 12. – Article No. 1318.
3. Левков Л.Я., Шурыгин Д.А., Дуб В.С., Клочай В.В., Корзун Е.Л. Исследование степени окисления хрома в оксидно-фторидных шлаках, применяемых при электрошлаковом переплаве // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2018. Том 6. № 12. С. 948-956.
4. Jahanshahi S., Sun S., Zhang L. Recent developments in physicochemical characterisation and modelling of ferroalloy slag systems // 10th Int. Ferroalloys Congress INFACON. SouthAfrica. February. 2004. Pp. 316-332.
5. Akberdin A.A., Konurov U., Saitov R.I., Esenzhulov A.B. Recycling of Highly-Basic Slags of Metflurgical Manufacturing // Proceedings of the eighth international symposium on environmental issues and waste management in energy and mineral production – Swemp 2004. – Pp. 639-640.
6. Черчинцев В.Д., Нефедова Е.В., Козлов А.С. Экологические аспекты внедрения ресурсосберегающей бездоломитной технологии производства монохромата натрия на Новотроицком заводе хромовых соединений // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2013. Т. 14. №1. С. 124-129.

Нейтрализация экологически опасного шестивалентного хрома хроматных шламов методом восстановительной плавки

[1]КИМ Александр Сергеевич, *д.т.н., главный научный сотрудник, Boron_213@mail.ru,*
[1]АКБЕРДИН Александр Абдуллович, *д.т.н., зав. лабораторией, akberdin_38@mail.ru,*
[2]*СУЛТАНГАЗИЕВ Руслан Бауыржанович, *PhD, доцент, sulrus83@mail.ru,*
[1]ОРЛОВ Алексей Сергеевич, *PhD, старший научный сотрудник, wolftailer@mail.ru,*
[1]Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева, Караганда, Казахстан,
[2]Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Представлены результаты исследования, направленного на разработку технологии переработки хроматных шламов методами восстановительной плавки. Основ-*

ной целью процесса является перевод соединений хрома в металлическое состояние. Установлено, что восстановительная плавка обеспечивает эффективное восстановление оксидов хрома. Экспериментальные плавки показали возможность практически полного восстановления хрома до металлической фазы. Полученная оксидная часть продуктов переработки рекомендована к использованию в качестве строительного щебня. Для повышения технологичности процесса переработки предложено предварительное окускование хроматных шламов. В качестве способа окускования для электроплавки рекомендовано брикетирование с использованием битума.

Ключевые слова: *хроматный шлам, шестивалентный хром, моделирование, восстановление.*

Neutralization of Environmentally Hazardous Hexavalent Chromium in Chromate Sludge by the Method of Reductive Smelting

[1]KIM Alexander, *Dr. of Tech. Sc., Chief Researcher, Boron_213@mail.ru,*
[1]AKBERDIN Alexander, *Dr. of Tech. Sc., Head of Laboratory, akberdin_38@mail.ru,*
[2]*SULTANGAZIYEV Ruslan, *PhD, Associate Professor, sulrus83@mail.ru,*
[1]ORLOV Alexey, *PhD, Senior Researcher, wolftailer@mail.ru,*
[1]Zh. Abishev Chemical-Metallurgical Institute, Karaganda, Kazakhstan,
[2]Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *The results of research aimed at developing a technology for processing chromate sludge using reduction smelting methods are presented. The main objective of the process is to convert chromium compounds into a metallic state. It was established that reduction smelting provides effective reduction of chromium oxides. Experimental smelting demonstrated the possibility of almost complete reduction of chromium to the metallic phase. The resulting oxide part of the processed products is recommended for use as construction aggregate. To improve the technological efficiency of sludge processing, preliminary agglomeration of chromate sludge is proposed. Briquetting with the use of bitumen is recommended as an agglomeration method for electric smelting.*

Keywords: *chromate sludge, hexavalent chromium, modeling, reduction.*

REFERENCES

1. Gasik M.I., Ljakishev N.P., Emlin B.I. Teorija i tehnologija proizvodstva ferrosplavov: Uchebnik dlja vuzov. M.: Metalurgija, 1988. 784 p.
2. Makhambetov Y., Zhakan A., Zhunusov A. и др. Resource-efficient smelting technology for FeCrMnSi ferroalloy production from technogenic wastes in an ore-thermal furnace // Metals. – 2025. – Vol. 15, No. 12. – Article No. 1318.
3. Levkov L.Ja., Shurygin D.A., Dub V.S., Klochaj V.V., Korzun E.L. Issledovanie stepeni okislenija hroma v oksidno-ftoridnyh shlakah, primenjaemyh pri jelektroshlakovom pereplave // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Chernaja metallurgija, 2018, Tom 6, № 12, pp. 948-956.
4. Jahanshahi S., Sun S., Zhang L. Recent developments in physicochemical characterisation and modelling of ferroalloy slag systems. 10th Int. Ferroalloys Congress INFACON, South Africa, February 2004, pp. 316-332.
5. Akberdin A.A., Konurov U., Saitov R.I., Esenzhulov A.B. Recycling of Highly-Basic Slags of Metflurgical Manufacturing. Proceedings of the Eighth International Symposium on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production – SWEMP 2004, pp. 639-640.
6. Cherchincev V.D., Nefedova E.V., Kozlov A.S. Jekologicheskie aspekty vnedrenija resursosberegajushhej bezdolomitnoj tehnologii proizvodstva monohromata natrija na Novotroickom zavode hromovyh soedinenij // Vestnik MGTU im. G.I. Nosova, 2013, t. 14, №1, pp. 124-129.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_21 ӘОЖ 621.791.755

Аддитивті синтез арқылы алынған металл керамикалық материалдардағы анизотропия

***АНДРЕЯЩЕНКО Виолетта Александровна,** PhD, ИБСЗ меңгерушісі,
v.andreyachshenko@ktu.edu.kz,
МАЛАШКЕВИЧУТЕ-БРИЙАН Елена Иозасовна, аға оқытушы,
e.malashkevichute@ktu.edu.kz,
Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
*автор-корреспондент.

Аңдатпа. *Көлденең балқыту электродының көмегімен аддитивті синтез арқылы алынған $Al_{60}Fe_{30}Si_{10}$ металл керамикалық қорытпасының микроқұрылымының анизотропиясы мен механикалық қасиеттері зерттеледі. Жүргізілген микроскопиялық және механикалық сынақтардың нәтижесінде материалдың құрылымы қатаю процесінде жылу бөлу жағдайларына байланысты айқын бағытқа ие екендігі анықталды. Интерметаллидті фазалардың морфологиясы мен кеуектілігі жылу ағынының бағытына тікелей тәуелді екендігі көрсетілген, бұл беріктік сипаттамаларының айтарлықтай анизотропиясын тудырады. Сығымдау кезіндегі деформация диаграммалары микроқұрылымдық гетерогенділіктің механикалық қасиеттерге әсерін растайтын бойлық және көлденең бағытта материалдың әртүрлі сипатын көрсетеді. Қорытпаны алу құрамын және/немесе технологиясын оңтайландыру құрылымның біртектілігін арттыру және анизотропияны төмендету мақсатында кристалдану және салқындату кезеңдерінде фазалық компоненттердің пайда болуы мен өсу механизмдерін басқаруға бағытталуы керек екендігі анықталды.*

Кілт сөздер: *металлокерамика, анизотропия, Al-Fe-Si қорытпасы, интерметаллидтер, микроқұрылым, механикалық қасиеттер, жылу әкету, кеуектілік.*

Кіріспе

Металлокерамикалық материалдарды аддитивті технологиялар арқылы өндіру күрделі пішінді, ерекше қасиеттері бар бұйымдарды алуға жаңа мүмкіндіктер ашады және олар дәстүрлі қорытпалардан айтарлықтай ерекшеленеді. Перспективалы материалдардың ішінде алюминий негізіндегі (Al-Fe-Si) металлокерамикалық қорытпалар ерекше қызығушылық тудырады, себебі олар төмен тығыздықты жоғары беріктікпен және термотұрақтылықпен үйлестіреді. Бұл қасиеттер интерметаллидтік фазалардың түзілуі арқылы қамтамасыз етіледі.

Аддитивті өндіріс технологияларының негізгі ерекшеліктерінің бірі – қабаттап қалыптастыру және жылулық әсерлер нәтижесінде пайда болатын механикалық және физикалық қасиеттердің анизотропиясы. Кристалдану кезінде әртүрлі морфологиясы мен дисперстілігі бар, бағытталуы әртүрлі құрылымдық аймақтар түзіледі, бұл жылу әкетудің біркелкі болмауымен байланысты [5]. Мұндай құрылымдық біртексіздік материал көлемінің әртүрлі бағыттарында беріктік сипаттамаларының айырмашылығына әкеледі [6].

Зерттеулер көрсеткендей, аддитивті әдіспен алынған алюминий қорытпаларында үлгінің қалыптасу бағытына қатысты орналасуы оның механикалық қасиеттеріне әсер етеді. Қабат бағытына перпендикуляр жазықтықта беріктік пен қаттылық жоғары болады, бұл дәндердің морфологиясымен және ақаулардың аз болуымен түсіндіріледі [7]. Ұқсас құбылыстар титан және никель қорытпаларында да байқалады [8].

Материалды беру жылдамдығы, энергия тығыздығы және сканерлеу стратегиясы сияқты процесс параметрлерінің микроқұрылымды қалыптастыруға, ақаулардың таралуына және механикалық қасиеттердің анизотропиясына тікелей әсер ететін қалдық кернеулерге әсері ерекше маңызды. Сонымен, осы параметрлерді оңтайландыру кеуектілікті және толық емес балқу ақауларын азайтуға мүмкіндік береді, осылайша бағыттар арасындағы беріктік пен икемділік айырмашылықтарын азайтады [9, 10].

Металдар мен қорытпалардағы анизотропия туралы кең зерттеулерге қарамастан, металларалық фазалардың әсері және олардың

Al-Fe-Si жүйелерінде қалыптасу ерекшеліктері туралы мәселе жеткілікті түрде зерттелмеген. Металл-керамикалық қорытпалардың технологиялық параметрлері, микроқұрылымы және қасиеттері арасындағы байланысты түсіну анизотропияны басқару және өнімнің пайдалану сенімділігін арттыру үшін өте маңызды. Зерттеудің мақсаты-микроқұрылым ерекшеліктері мен механикалық қасиеттерінде пайда болған кезде синтездеудің бір сатысында аддитивті әдіспен синтездеу арқылы алынған металл-керамикалық материалдардағы анизотропияны зерттеу.

Зерттеу материалы мен әдістері

$Al_{60}Fe_{30}Si_{10}$ металл керамикалық материалдарының синтезі көлденең балқитын электродпен балқыту арқылы аддитивті әдіспен жүзеге асырылды (1-сурет). Қорытпаны алу үшін бастапқы компоненттер ретінде: болат электрод ретінде Ст3 маркалы көміртекті болат; алюминий деформацияланатын қорытпа АД31 – алюминийдің негізгі көзі ретінде қызмет ететін табақ материалы түрінде; сондай-ақ, легірлеуді қамтамасыз ететін ұнтақ кремний пайдаланылды. Дайындаманы қалыптастыру келесідей жүзеге асырылды: болаттан жасалған металл төсенішке 150×30×2 мм алюминий жолақтары төселді, кремний ұнтағын фракциясы 63 мкм-ге дейін дымқыл әдіспен алдын ала жағып берді. Төрт алюминий жолағы бар осылайша жасалған пакеттер бөлме температурасында 20-24 сағат бойы кептірілді.

Кептірілген пакеттер қалыңдығы шамамен 1 мм болатын АН-348 (жентектелген) ағын қабатымен біркелкі жабылған. Жоғарыда болат жолақ (150×20×2 мм) орналастырылды, ол барлық компоненттердің доғалық балқуын жүзеге асыру үшін қажетті электрод қызметін атқарды. Композиция толығымен қалыңдығы 25-30 мм болатын қосымша ағын қабатымен жабылған. Электрод РБ-301 типті балласт реостатына қосылған ұстағышқа бекітілді. Балқу процесі доғаны көмір электродымен тұтату арқылы басталды.

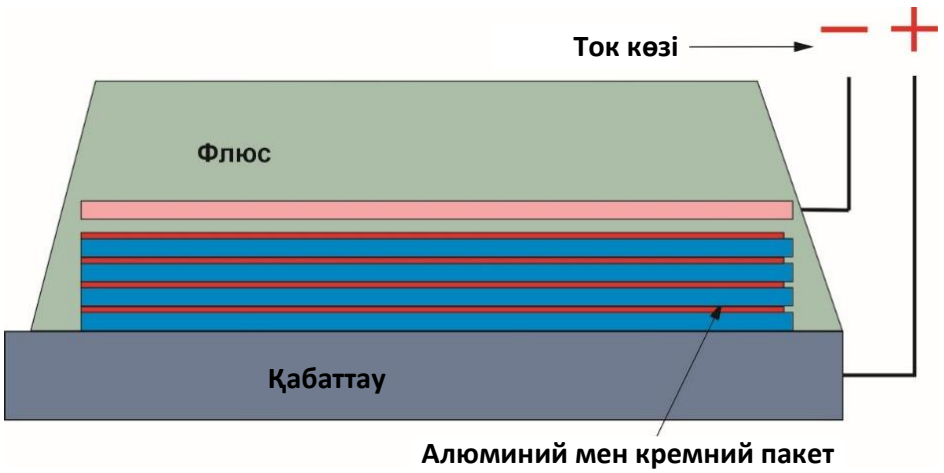
Бұл жағдайда болат электродтың, алюминий қабаттарының және кремний ұнтағының, сондай-ақ, қорғаныс флюс қабатының бір мезгілде балқуы орын алды.

Алынған құймалар микроқұрылымында да, механикалық қасиеттерінде де мүмкін болатын анотропияны анықтау үшін «қалай алынған» күйінде зерттелді. Осы мақсатта алынған құймалардан үлгілер жылу қабылдағыштың негізгі бағыты бойымен, сондай-ақ, оған қалыпты түрде кесілді (2-сурет).

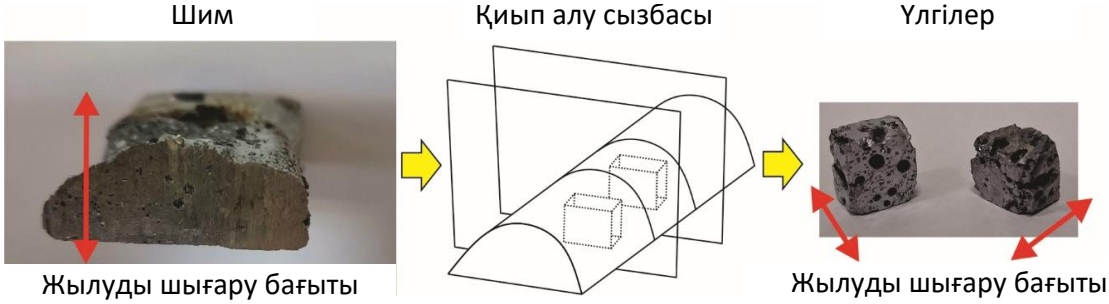
Микрошлифтерді дайындау стандартты процедура бойынша жүргізілді: тегістеу, механикалық және жұқа жылтырату. Микроқұрылымды зерттеу ALTAMY оптикалық микроскопының көмегімен жүргізілді. Механикалық қасиеттерді бағалау 10×10×15 мм призмалық үлгілерді қысу сынақтары арқылы жүргізілді. Механикалық сынақтар INSTRON әмбебап сынақ машинасында жүргізілді.

Алынған нәтижелер және оларды талқылау

Алюминий, кремний және болат балқитын электрод қабаттарының өзара әрекеттесу ерекшеліктерінің нәтижесінде құрылымдық компоненттер морфологиясының жоғары бағдарлануы байқалады. Металл көлемінде жоғары салқындату жылдамдығының нәтижесінде жоғары кеуектілік пайда болады. Жылу қабылдағыштың бағыты құймадағы тесіктер мен бос орындардың бағытын құрайды. Зерттеу кезінде морфология арасындағы тік бөлікте-жылу бөлу бағытына параллель-бойлық қимада және көлденең қимада-әдетте жылу бөлу бағытына-көлденең қимада сәйкестік жасау туралы шешім қабылданды. Балқытудың аддитивті техно-



1-сурет – Синтезге арналған пакетті қалыптастыру схемасы



2-сурет – Синтезден кейінгі құйма, темплетті кесу схемасы және зерттеуге арналған үлгілер

логиясы арқылы алынған металл-керамикалық қорытпаның микроқұрылымы микроскопта 100-400х жоғарылауымен зерттелді. Микроқұрылымды бағалау бойлық және көлденең қималарда өлшемі 10х10 мм микрошлифтерде жүргізілді.

Үлгінің көлденең қимасында визуалды бақылау кезінде жеткілікті үлкен өлшем бар, дөңгелек пішінді айқын терең тесіктер бар, олар бойлық қимада қарқынды жылу тарату бағытында ұзартылған лапель тәрізді көрінеді (2-сурет). Синтез процесінде балқытылатын шихтаның өзара әрекеттесуі оның компоненттері мен балқитын электрод арасында ғана емес, сонымен қатар, оны еріту кезінде ағынның құрамдас бөліктері ішінара араласып, металдың сұйық ваннасына түседі. Зерттеу барысында негізінен кремний диоксиді мен марганец оксидінен тұратын агломерленген ағын қолданылды. Флюсті жентектеу технологиясының ерекшеліктерін ескере отырып, кремний диоксиді белсенділікке ие. Доғалық жану кезінде шихталық материалдармен араласа отырып, флюс балқыманы кремниймен байытады. Бұл ретте синтез процесінің жоғары жылдамдықта жүруіне байланысты газдар балқыма бетінен толық шығып үлгермейді, соның нәтижесінде кеуектіліктің жоғары деңгейде түзілуіне әкеледі.

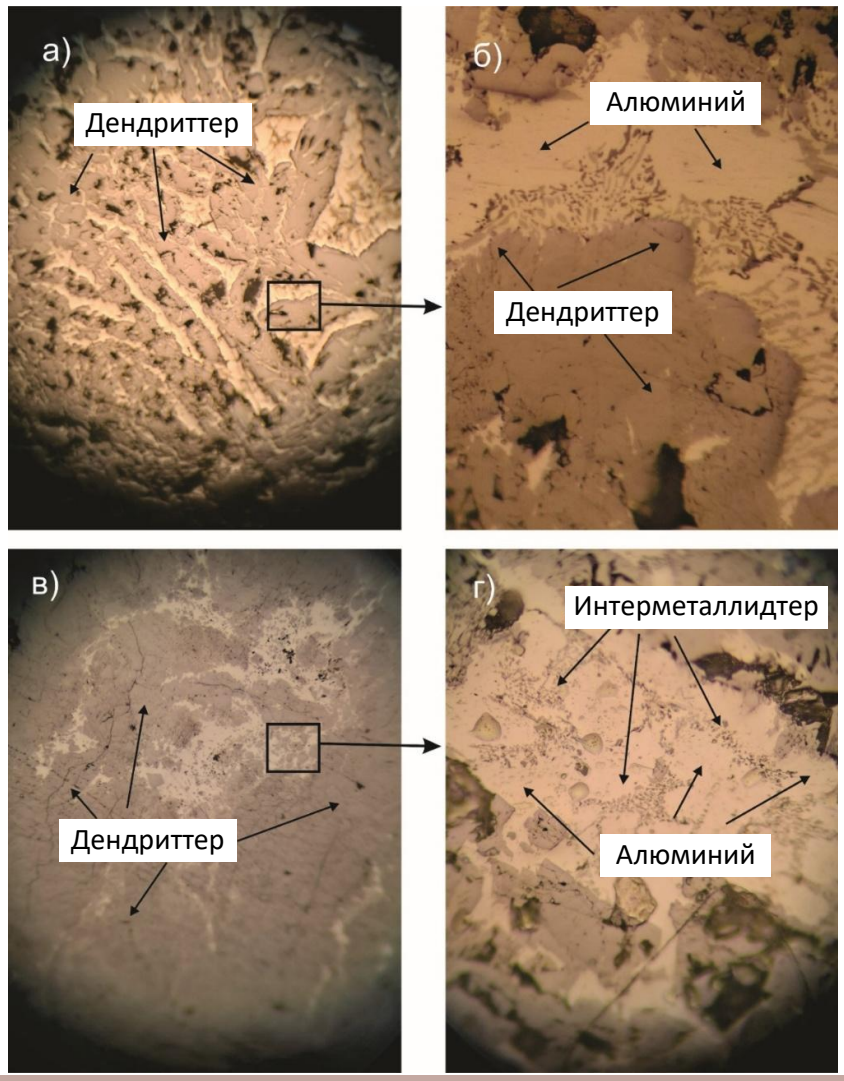
Қорытпаның құрамына сүйене отырып, негізінен металлидті фазалар мен алюминий түзіледі. Әр түрлі жазықтықтағы металлидті қорытпадағы фазалардың құрылымын, орналасуын және таралу сипатын қарастырамыз.

Көлденең қимада (3-сурет) микрошлифтің барлық дерлік ауданы бағдардың айқын бағытымен ерекшеленетін металлид аралық фазалармен (сұр аймақ) орналасқан. Олардың ұзартылған морфологиясы жылу тарату бағытымен сәйкес келеді, бұл қатаю кезінде бағытталған температура градиентін көрсетеді, бұл технологиялық процестің ерекшеліктерімен байланысты. Үлгінің орталық бөлігінде, сол көлденең қимада, эвтектикалық сипаттағы металлидті қосындылардың ұсақ қиылыстары бар алюминийдің жеңіл фазасы байқалады. Мұндай фазалар, әдетте, құрамдағы немесе салқындату жылдамдығындағы жергілікті ауытқулар нәтижесінде пайда болады және эвтектикалық немесе перитектикалық құрылымдардың пайда болуының бастапқы кезеңін көрсетуі мүмкін. Алюминийдің кристалдануы балқыманың қатты аса салқындауы кезінде ең соңында жүретіндіктен, ол интерметаллидтік қосындылардан іс жүзінде таза болып табылады.

Кристалдану аяқталған кезде балқу темірдің де, кремнийдің де қатты сарқылуы болып табылады, ол металлидтік фазалардың түзілуіне толығымен жұмсалады.

За,б-суретте көлденең қимада қорытпаның микроқұрылымы көрсетілген. Бұл суретте нақты шекаралары бар фазалар бар, қаңқа тәрізді морфологиясы бар аймақтар-бұл металлидті фазалар қатты ерітіндіден тікелей пайда болған аймақтар. Интерметаллидтердің дендритті құрылымдарының өсуі бастапқы алюминиймен әрекеттесу кезінде жоғары температуралы интерметаллидті фазалардың фазалық трансформациясы арқылы жүреді. Интерметаллидтер жылу тарату бағытына қарай созылып, көлденең қимада интерметаллидтің көлденең қимасы айқын көрінеді. Мұндай морфология қатаю процесінде температура градиентінің болуын көрсетеді. Айта кету керек, құрылымдардың мұндай бағыты мен құрылымы әртүрлі бағыттардағы қасиеттердің анизотропиясын және қорытпаның механикалық қасиеттеріне, мысалы, беріктікке, икемділікке, термиялық жүктемелерге төзімділікке айтарлықтай әсер ету мүмкіндігін ұсынады.

Зв,г-суретте интерметаллидтік фазалардың егжей-тегжейлі таралуын қарастыруға болатын зерттелетін үлгінің бойлық қимасының суреті көрсетілген. Негізінен бір бағытқа бағытталған ұзартылған дәндердің үлкен блоктары жақсы анықталған, бұл металлидтік фазалар қатайған кезде жылу тарату



3-сурет – х100 (а) және (в) және х400 (б) және (г) үлкейту кезінде үлгінің көлденең (А) және (б) және бойлық қималарындағы қорытпаның микроқұрылымы

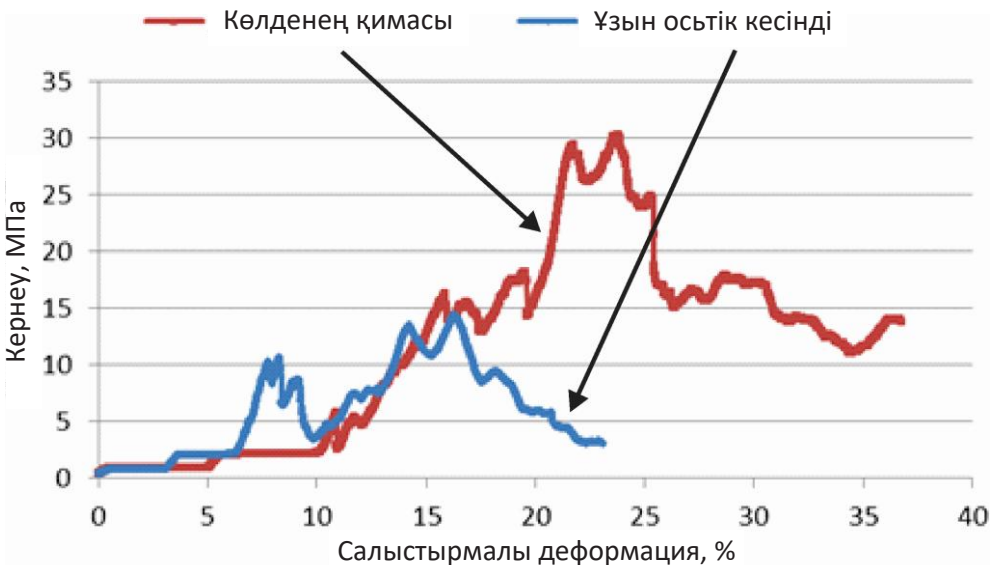
бағыты бойынша фазалардың бағытталған өсуін растайды.

Интерметаллидті фазалар құрылымының морфологиясы ұсақ дисперсті сипатқа ие, интерметаллидті фазалардың өздері ұзартылған құрылымға ие, нақты шекаралары және қаңқа тәрізді морфологиясы бар. Ашық және қараңғы фазалар арасындағы шекаралар нақты көрсетілген, бұл фазалық гетерогенділікті және құрамы/құрылымындағы айырмашылықты көрсетеді. Дендриттік құрылымның бұл бағыты, ең алдымен, қорытпаның кристалдануы мен салқындауы кезінде фазаның пайда болу ерекшеліктерімен байланысты.

Болжам бойынша, микроқұрылымның анизотропиясы бойлық және көлденең қималарда жүктемені қолдану кезінде механикалық қасиеттердің анизотропиясын тудырады (4-сурет).

$Al_{60}Fe_{30}Si_{10}$ қорытпасының сығымдау сынағы кезінде жүктеменің қозғалысқа тәуелділігінің ұсынылған диаграммасында екі тән аққыштық аймағы (кернеу-деформация қисықтарындағы екі көлденең учаске) анық ерекшеленеді, қорытпа өте төмен аққыштық шегімен сипатталады, бұл оның құрылымында көптеген кеуектер мен ақаулардың болуына байланысты болуы мүмкін. Бойлық және көлденең бағытта қысу диаграммасында пластикалық деформация мен материалдың бұзылуының кезеңдік сипатын көрсететін шыңдардың екі тобы бар.

Бойлық және көлденең бағыттардағы қысу кезіндегі материалдың мінез-құлқындағы айырмашылықтар оның микроқұрылымының анизотропиясымен, яғни әртүрлі бағыттардағы материалдың қасиеттерінің айырмашылығымен байланысты. Синтез процесінде ұзартылған кеуектер негізінен жылу тарату бағытына бағытталғандықтан, үлкен кеуектердің айналасындағы кернеу-



4-сурет – Көлденең және бойлық бағытта қорытпаны қысуды сынау диаграммасы

лердің концентрациясы пайда болады, бұл беріктік пен пластикалық сипаттамалардың төмендеуіне әкеледі.

Бойлық бағытта биіктігі шамамен 10 МПа болатын кішігірім шыңдар сериясы байқалады, содан кейін 15 МПа шамасына жететін жұмсақ шыңы бар. Көлденең бағытта шыңдар кернеудің 15 МПа-ға дейін тұрақты өсуін көрсетеді, содан кейін кең шың 30 МПа-ға дейін және біртіндеп төмендейді.

Алғашқы шыңдармен және одан кейінгі қысқа мерзімді төмендеумен жүктеменің күрт өсуі құрылымның пластикалық бөліктерінің, мүмкін эвтектикалық қабаттардың және қалдық алюминий матрицасының ағымына және ішінара бұзылуына сәйкес келеді.

Құлағаннан кейін жоғары шыңдардың пайда болуымен жүктеменің қайта өсуі байқалады. Бұл аймақ деформация процесіне деформация басталғанға дейін деформация кедергісін арттыруды қамтамасыз ететін неғұрлым берік металлидті фазалардың қосылуымен сипатталады.

Бұзылу аймағындағы жүктеменің күрт төмендеуі құрылымдық элементтердің толық бұзылуын және материалдың беріктігін жоғалтуды көрсетеді.

Кернеу-деформация қисықтарының ұсынылған сипаты қорытпа құрылымының гетерогенділігін және неғұрлым пластикалық фазаларда деформацияның басым басталуымен және одан кейін қатты интерметаллидтердің жойылуымен кезеңдік деформация механизмінің болуын растайды. Диаграмманың бұл формасы әртүрлі механикалық фазалық беріктігі бар металлидті қорытпаларға тән.

Жүргізілген зерттеулер негізінде қорытпаны алу, легирлеу және өңдеу технологиясын оңтайландыру кристалдану сипатын өзгертуге, атап айтқанда, фазалық қайта кристалдану ерекшеліктеріне және интерметаллидтік фазалардың өсуіндегі дискреттілікке бағытталуы керек деген қорытынды жасауға болады.

Қорытынды

Жүргізілген зерттеу $Al_{60}Fe_{30}Si_{10}$ металл-керамикалық қорытпасының микроқұрылымы мен анизотропиясының қалыптасуына аддитивті синтез технологиясының айтарлықтай әсерін көрсетті. Интерметаллидті фазалар мен кеуектердің бағыты жылу ағынының бағытына қатаң сәйкес келетіні анықталды, бұл материалдың механикалық қасиеттерінің айқын анизотропиясын анықтайды. Бұл жағдайда төмен аққыштық шегі және деформацияның кезеңдік сипаты үлгілердің құрылымдық гетерогенділігі мен жоғары кеуектілігін көрсетеді. Деформация диаграммаларын талдау жүктеме бағытына байланысты әртүрлі бұзылу механизмдерін көрсетті. Қорытпаның құрамын және/немесе технологиясын оңтайландыру кристалдану және салқындату кезінде фазалық компоненттердің пайда болуы мен өсуін іріктеуге, анизотропияны төмендетуге және нәтижесінде материалдың беріктігі мен пластикалық сипаттамаларын жақсартуға бағытталуы керек. Алынған нәтижелер олардың қасиеттерін мақсатты реттеу мақсатында металл-керамикалық материалдардың құрылымын басқару бойынша әрі қарайғы зерттеулердің ғылыми және қолданбалы маңыздылығын көрсетеді, бұл берілген сипаттамалары бар функционалды бөлшектерді құру перспективаларын ашады.

Осы зерттеу Қазақстан Республикасы Ғы-

лым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің қаржыландыруымен орындалды (Грант № AP19675471) «Al_xFe_ySi жүйесінің композициялық керамикалық материалдарын аддитивті әдісті пайдалана отырып синтездеу технологиясын әзірлеу».

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Новоженин, Н.А., Курнаев Д.А. Сравнение аддитивных и композитных материалов: перспективы прикладного использования // Вестник науки. 3.1 (82). 2025. С. 1100-1107.
2. Andreyachshenko V.A. Evolution of the AA2030 alloy microstructure in the ECAP process, Kovove materialy-metallic materials, 60(2), 2022, 79-87.
3. Andreyachshenko V., Isheva Y., Mazhit A., Imangazinova D. ECAP-treated aluminium alloy AA2030: microstructure and mechanical properties, Materiali in tehnologije, 53 (6), 2019, 805-810.
4. Andreyachshenko V., Bartenev I., Malashkevichute-Brillant Y. Synthesis of an aluminum alloy rich in iron and silicon by surfacing with a consumable electrode, Acta metallurgica slovaca, 30 (3), 2024, 133-136.
5. Krauss, H., et al. Anisotropy and Texture Development in WAAM Manufactured Stainless Steel Additive Manufacturing, 33, 2020, 101086. https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101086
6. Чуканов, А.Н., Коротков, В.А., Яковенко, А.А., Цой, Е.В., Фролов, А.С. Определение коэффициента анизотропии и скорости локальной деформации в аддитивных сплавах // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 3. 2024. С. 224-229.
7. Rath, L., Kallien, Z., Roos, A., Santos, J.F.D., Klusemann, B. Anisotropy and mechanical properties of dissimilar Al additive manufactured structures generated by multi-layer friction surfacing. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 125 (5), 2023, 2091-2102.
8. Bhat, C., Jiang, C.P., Shan Romario, Y., Paral, S.K., Toyserkani, E. Critical review of metal-ceramic composites fabricated through additive manufacturing for extreme condition applications. Mechanics of Advanced Materials and Structures, 32 (10), 2025, 2153-2180.
9. Bandyopadhyay, A., Mirzaali, M.J., Bobbert, F.S., Li, Y., Zadpoor, A.A., Balla, V.K., Bose, S. Additive Manufacturing of Metals and Alloys. In Additive Manufacturing 2025, CRC Press, 48-82.
10. Kar, A., Sharma, A., Kumar, S. A critical review on recent advancements in aluminium-based metal matrix composites. Crystals, 14 (5), 2024, 412.

Анизотропия в металлокерамических материалах, полученных синтезом аддитивным методом

***АНДРЕЯЩЕНКО Виолетта Александровна,** PhD, руководитель ИЛИП, v.andreyachshenko@ktu.edu.kz,*
***МАЛАШКЕВИЧУТЕ-БРИЙАН Елена Иозасовна,** старший преподаватель, e.malashkevichute@ktu.edu.kz,*
Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

***Аннотация.** В работе исследуется анизотропия микроструктуры и механических свойств металлокерамического сплава Al60Fe30Si10, полученного методом аддитивного синтеза с использованием горизонтального плавящегося электрода. В результате проведенных микроскопических и механических испытаний установлено, что структура материала обладает выраженной направленностью, обусловленной условиями теплоотвода в процессе затвердевания. Показано, что морфология интерметаллидных фаз и пористость напрямую зависят от направления теплового потока, что обусловливает значительную анизотропию прочностных характеристик. Диаграммы деформации при сжатии демонстрируют различный характер поведения материала в продольном и поперечном направлениях, подтверждая влияние микроструктурной гетерогенности на механические свойства. Выявлено, что оптимизация состава и/или технологии получения сплава должна быть ориентирована на управление механизмами зарождения и роста фазовых составляющих на этапах кристаллизации и охлаждения с целью повышения однородности структуры и снижения анизотропии.*

Ключевые слова: *металлокерамика, анизотропия, Al-Fe-Si сплав, интерметаллиды, микроструктура, механические свойства, тепловой отвод, пористость.*

Anisotropy in Metal-ceramic Materials Obtained by Additive Synthesis

****ANDREYACHSHENKO Violetta,*** *PhD, Head of TLEP, v.andreyachshenko@ktu.edu.kz,*
MALASHKEVICHUTE-BRILLANT Yelena, *Senior Lecturer, e.malashkevichute@ktu.edu.kz,*
Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *The paper studies the anisotropy of the microstructure and mechanical properties of the Al60Fe30Si10 metal-ceramic alloy obtained by additive synthesis using a horizontal melting electrode. As a result of the microscopic and mechanical tests, it was found that the structure of the material has a pronounced directionality due to the conditions of heat removal during solidification. It is shown that the morphology of the intermetallic phases and porosity directly depend on the direction of the heat flow, which causes significant anisotropy of the strength characteristics. The compression deformation diagrams demonstrate different behavior of the material in the longitudinal and transverse directions, confirming the influence of microstructural heterogeneity on the mechanical properties. It is revealed that optimization of the composition and/or technology for producing the alloy should be focused on controlling the mechanisms of nucleation and growth of phase components at the stages of crystallization and cooling in order to improve the homogeneity of the structure and reduce anisotropy.*

Keywords: *metal ceramics, anisotropy, Al-Fe-Si alloy, intermetallics, microstructure, mechanical properties, heat dissipation, porosity.*

REFERENCES

1. Novozhenin, N.A., Kurnaev D.A. Sravnenie additivnyh i kompozitnyh materialov: perspektivy prikladnogo ispol'zovanija [Comparison of additive and composite materials: prospects for applied use] // Vestnik nauki, 3.1 (82), 2025, pp. 1100-1107.
2. Andreyachshenko V.A. Evolution of the AA2030 alloy microstructure in the ECAP process, Kovove materialy-metallic materials, 60(2), 2022, 79-87.
3. Andreyachshenko V., Isheva Y., Mazhit A., Imangazinova D. ECAP-treated aluminium alloy AA2030: microstructure and mechanical properties, Materiali in tehnologije, 53 (6), 2019, 805-810.
4. Andreyachshenko V., Bartenev I., Malashkevichute-Brillant Y. Synthesis of an aluminum alloy rich in iron and silicon by surfacing with a consumable electrode, Acta metallurgica slovaca, 30 (3), 2024, 133-136.
5. Krauss, H., et al. Anisotropy and Texture Development in WAAM Manufactured Stainless Steel Additive Manufacturing, 33, 2020, 101086. https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101086
6. Chukanov, A.N., Korotkov, V.A., Jakovenko, A.A., Coj, E.V., Frolov, A.S. Opredelenie kojefficienta anizotropii i skorosti lokal'noj deformacii v additivnyh splavah [Determination of the anisotropy coefficient and local strain rate in additive alloys] // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki, 3, 2024, pp. 224-229.
7. Rath, L., Kallien, Z., Roos, A., Santos, J. F. D., Klusemann, B. Anisotropy and mechanical properties of dissimilar Al additive manufactured structures generated by multi-layer friction surfacing. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 125(5), 2023, 2091-2102.
8. Bhat, C., Jiang, C.P., Shan Romario, Y., Paral, S.K., Toyserkani, E. Critical review of metal-ceramic composites fabricated through additive manufacturing for extreme condition applications. Mechanics of Advanced Materials and Structures, 32 (10), 2025, 2153-2180.
9. Bandyopadhyay, A., Mirzaali, M.J., Bobbert, F.S., Li, Y., Zadpoor, A.A., Balla, V.K., Bose, S. Additive Manufacturing of Metals and Alloys. In Additive Manufacturing 2025, CRC Press, 48-82.
10. Kar, A., Sharma, A., Kumar, S. A critical review on recent advancements in aluminium-based metal matrix composites. Crystals, 14 (5), 2024, 412.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_28 ӘОЖ 669.018

Жақсартылған 30ХН2МА болатының қасиеттеріне ферросилиций борымен микролегирлеудің әсері

[1]***ДОСПАЕВ Мурат Мантенович,** т.ғ.д., профессор, manten.mur@mail.ru,*
*[2]**ФИГУРИНЕНЕ Ирина Владиславовна,** х.ғ.к., доцент, electrochimik@mail.ru,*
*[3]**ЖУМАЕВ Ахмаджон Абдувохидович,** PhD, доцент, ahmadjon_jumayev@mail.ru,*
[1]Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты, Қарағанды, Қазақстан,
[2]Қарағанды медицина университеті, Қарағанды, Қазақстан,
[3]Науаи мемлекеттік тау-кен және технологиялық университеті, Науаи, Өзбекстан,
**автор-корреспондент.*

***Аңдатпа.** Зерттеулер жақсартылған 30ХН2МА болатының құрамын ферросилиций борымен микролегирлеу арқылы реттеу мүмкіндігін анықтау мақсатында жүргізілді, бұл оны кейіннен қасиеттері бойынша Hardox болатына ұқсас тозуға төзімді материал ретінде пайдалануға мүмкіндік береді. Негіз ретінде 30ХН2МА болаты қолданылды, ал балқытудың соңғы минуттарында ферросилиций бор қосылды. Ферросилиций борындағы бор мөлшері 0,9%, ал Si құрамы 62% болды. Болатқа күрделі қорытпаны – ферросилиций борын енгізу оны бір мезгілде ішінара тотықсыздандыруға және 0,002-0,003% мөлшерінде бормен микролегирлеуге мүмкіндік берді. 400-450°С температура диапазонында оның қаттылығы, созылу беріктігі және тозуға төзімділігі Hardox 500 болатының ұқсас параметрлеріне жақындайтыны анықталды, бұл оны тозуға төзімді материал ретінде ұсынуға мүмкіндік береді. 30ХН2МА болатының кеңінен қолданылуы, жоғары беріктендірілуі, салыстырмалы түрде жақсы құю қасиеттері, температуралық сынғыштыққа төмен сезімталдығы және бормен микролегирлеуден кейін алынған механикалық қасиеттері ескерілгенде, оны пішінді құймаларды өндіруге арналған тозуға төзімді материал деп санауға болады.*

***Кілт сөздер:** тозуға төзімді болат, соққыға төзімділік, қорытпа, құю, легирлеу, модификациялау, ферробор, құрылым, беріктік, қаттылық.*

Кіріспе

Тозуға төзімді материалдарды әзірлеудегі қазіргі заманғы үрдістердің бірі – жақсартылған болаттар негізінде қорытпалардың құрамын және қасиеттерін жетілдіру болып табылады [1-3]. Бұл үрдіс Hardox болатының (Швеция) ерекше жоғары тозуға төзімділік қасиеттерімен осы нарық сегментінде жетекші орын алуымен байланысты. Ондай жоғары деңгейдегі қасиеттерге, ең алдымен, шикізат материалдарының тазалығы, тең-дестірілген химиялық құрамы және дұрыс термиялық өңдеу арқылы қол жеткізіледі. Алайда, бұл болат өте қымбат және құю үшін тиімсіз, бұл өз кезегінде эталондық стандартқа сәйкес келетін ұқсас қасиеттерге ие болаттарды әзірлеуге ынталандырады.

Шыныққан болаттарды тозуға төзімді материалдар ретінде қолданудың ғылыми негізі Шарпи принципіне сүйенеді. Бұл принципке сәйкес, тозуға төзімді материалдардың құрылымы біркелкі таралған қатты қосындылардан тұруы қажет, ал матрица – жеткілікті берік, қатты, бірақ иілгіш, сфероидты пішінді қосындылармен толықтырылған болуы тиіс. Шыныққан болаттардың құрылымында матрица ретінде легирленген α-ерітінді қызмет етеді, ал қатты қосындылар карбидтер және басқа да мүмкін интерстициальды фазалар болып табылады.

Борқұрамды болаттар металлургияда маңызды орын алады, себебі бордың аз мөлшері болаттың беріктігі мен қаттылығын едәуір арттыра алады, мартенситтік құрылымның түзілуін жеңілдетіп, түйіршік құрылымын ұсақтайды. Бор карбидтік фазаларды тұрақтандырып, болаттың сығымдалуға және соққыға төзімділігін арттырады, суық сынғыштық шегін төмендетіп, иілгіштігін жақсартады және кейінгі жасыту сынғыштығын азайтады. Сонымен қатар, микроқұрылымдық деңгейде фазалар мен кірмелердің біркелкі таралуына ықпал етеді, нәтижесінде материалдың біртектілігі артады.

Алдыңғы зерттеулерде ферросилиций борымен деоксидтелген 30ХН2МА болаты аналог ретінде қарастырылды [4]. Бұл тәжірибелердің нәтижелері көрсеткендей, ферросилиций борымен деоксидтелгеннен кейін 30ХН2МА болатының химиялық құрамы мен механикалық қасиеттері бордың іздік мөлшерін енгізу арқылы Hardox болатының құрамына және қасиеттеріне жақындайтынын көрсетті.

Тағы бір салыстырмалы материал – дизель қозғалтқышының бөлшектерін өндіру үшін қолданылатын және 450 °С дейінгі жоғары температураға төзімді, тозуға төзімді қасиеттері бар 30Х3МФ болаты. Hardox болатымен салыстырғанда, 30Х3МФ болатының құрамында хром мөлшері жоғары, ал бор жоқ. Дегенмен, 30Х3МФ болаты құрамында МеС типті қатты және төзімді карбидтерді түзетін ванадий бар. Сонымен қатар, ванадийдің болуы құрылымды одан әрі нығайтатын түйіршіктердің тазаруына ықпал етеді. Осы әсерлерді ескере отырып, ванадийдің болуымен бордың болмауы белгілі дәрежеде өтеледі деп болжауға болады.

30Х3МФ болатының кемшілігі – оның құрамындағы никель және марганецтің төмен мөлшері, олар қорытпаның қасиеттерін анықтауда маңызды рөл атқарады. Никель карбидтер түзбейді, сондықтан қаттылыққа әсер етпейді, бірақ матрицаның соққыға төзімділігін арттырады және суық сынғыштықтың температуралық шегін ішінара төмендетеді. Марганец цементит типті карбидтерді түзеді, бұл матрицаны нығайтады. Сондықтан болат құрамында никель мен марганецтің белгілі бір мөлшері (сәйкесінше 0,5-0,7% және 1,5-1,7%) болуы өте маңызды, себебі бұл элементтер қорытпа матрицасының механикалық қасиеттерін қалыптастырады.

Hardox болаты, жоғары өнімділік қасиеттерімен сипатталып, шетелде кеңінен танымал болды. Өндірушілер бұл өнімді «барлық тозу түрлеріне – үйкеліс пен соққыға, сырғанау үйкелісіне және деформациялық тозуға өте төзімді» деп сипаттайды. Hardox болаты беріктігі бойынша басқа дәнекерленетін болаттардан асып түседі, ал оның соққыға төзімділігі дәстүрлі құрылымдық болаттармен салыстыруға болады. Болатты өңдеу, майыстыру және дәнекерлеу оңай жүзеге асады.

Зерттеу әдістері мен жабдықтары

Hardox 550 компоненттері мен құрылымдардың тозуын арттыратын қатал жағдайларда жұмыс істейтін тау-кен жабдықтарында қолдануға жарамды. Hardox 550 – орташа қорытпалы құрылымдық болат. Сандық индекс болат пластинаның Бринелл қаттылығын (НВ) көрсетеді. Hardox болатының жақсы теңдестірілген химиялық құрамы және дәлелденген беріктендіру технологиясы өте жоғары сапалы өнім – қанағаттанарлық соққыға төзімділігі және жоғары беріктігі бар тозуға төзімді болат шығарады.

Hardox 550 термиялық өңдеуден кейін оның созылу беріктігі 1700 МПа, ал бұзылуға төзімділігі 1400 МПа құрайды (1-кесте). Салыстыру үшін, 30ХН2МА болатының толық беріктендіруден және шынықтырудан кейінгі созылу беріктігі 1750 МПа болып табылады. Бұл жоғары беріктік өнеркәсіптік қолданудағы болаттар мен қорытпалардың сенімділігін қамтамасыз ету үшін маңызды болып саналады.

Сондай-ақ, Hardox болаты негізінен қаңылтыр металл ретінде өндіріледі және өте қымбат (маркасына байланысты шамамен 1,050-3,800 $/т) екені атап өтуге лайық. Бұл жақсы дәнекерлену және иілгіштік қасиеттеріне қарамастан, оны қолдану ауқымына белгілі бір шектеулер қояды.

Қазақстандағы Hardox ұқсас маркаларға 18ХГНМФР, 14ХГ2САФВ және басқа төмен көміртекті, төмен легирленген болаттар жатады. Ресейлік баламалары жақсы дәнекерлену және жоғары тозуға төзімділік қасиеттеріне ие [5], дегенмен, олар Hardox сәл төмен. Бұл болаттар ауыр жүк көліктерінің платформаларын, экскаватор жиектерін және тау-кен мен металлургиялық жабдықтардың басқа компоненттерін өндіру үшін қолданылады. Көрсетілген болаттардың барлығы қаңылтыр немесе прокат түрінде жеткізілетінін атап өткен жөн.

Бұл болаттар 110Г13Л сияқты жоғары тозуға төзімді қасиеттері бар пішінді құймаларды өндіруде қолданылмайды. Hardox болаты мен оның баламаларының химиялық құрамы 2-кестеде көрсетілген.

1-кесте – Hardox 550 механикалық қасиеттері және максималды химиялық құрамы

Беттің қалыңдығы, мм	Бринелл қаттылығы НВ, бірліктер	-400°С температурада соққы күші KVJ	Беріктік шегі, Н/мм	Созылу беріктігі Rm, N/mm²	С, %	Si, %	Mn, %	P, %	S, %	Cr, %	Ni, %	Mo, %	B, %
10-50	525-575	30	140	1700	0,37	0,50	1,30	0,020	0,010	1,40	1,40	0,60	0,004

2-кесте – Hardox 500 болаты мен оның баламаларының химиялық құрамы мен қасиеттері

Элемент, % үлгі	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	B	V	$\sigma_{0,2}$, МПа	МПа
Hardox 500	0,27-0,35	0,7	1,6	0,6	0,025	0,025	1	0,6	0,003-0,004	-	1300	1550
18ХГНМФР	0,16-0,2	0,17-0,37	1,2-1,5	0,5-0,8	0,015	0,02	0,7-1	0,2-0,35	0,001-0,005	-		1050
14ХГ2САФ	0,12-0,18	0,4-0,7	1,4-1,9	≤0.3	≤0.02	≤0.035	0.5-0.8	-	-	0.04-0.08		
30ХН2МА	0,28	0,22	0,5	1,55	0,025	0,025	0,8	0,2	-		1300	1400

Авторлар жақсартылған орташа қорытпалы болат маркасы 30ХН2МА құрамымен және қасиеттерімен Hardox болатымен салыстырғанда ұқсас деп санайды. Бұл болаттың Hardox салыстырғанда негізгі айырмашылығы – бордың болмауы. Белгілі болғандай, бордың беріктік пен қаттылыққа оң әсері дән шекараларында бордың бөлінуімен көрінеді, бұл дәннің өсуін тежеп, ұсақ түйіршікті құрылымды қалыптастырады [6, 7]. Сондықтан, Hardox болатымен аналогия жасаған жағдайда, аналогта бордың болуы міндетті шарт болып табылады.

Осы зерттеудің мақсаты – жақсартылған 30ХН2МА болатының құрамын кейінгі Hardox болатымен салыстыруға болатын тозуға төзімді материал ретінде пайдалану үшін ферросилиций борымен микролегирлеу арқылы реттеу мүмкіндігін анықтау болды.

Айта кету керек, ферросиликобордың ферроборға қарағанда артықшылығы – болатпен бордың игерілу дәрежесінің жоғары болуында. Бұл ферросиликобор құрамындағы кремнийдің белсенді элемент болуымен түсіндіріледі, ол бор арқылы микролегирлеу әсерін күшейтеді.

Тозуға төзімділік Taber Abraser 352G (АҚШ) құрылғысында анықталды. Соңғы тозуға төзімділік үлгінің абразивті қарсы денемен жанасуда 10 000 айналым жасағаннан кейін бағаланды. Тозуға төзімділік бастапқы массаға қатысты салмақ жоғалту пайызы арқылы анықталды. Осыған сәйкес үлгілердің абразивтік тозуға, яғни үйкелуге төзімділігі бойынша сынақтар жүргізілді.

Сығылу кезіндегі беріктік шегі Instron-100 (Ұлыбритания) құрылғысында анықталды.

Балқыту жақсартылған сумен салқындату жүйесі бар жаңартылған УИП-25 пешінде жүргізілді; балқыма салмағы 3,2 кг болды. Негізгі болат – 30ХН2МА, ал балқытудың соңғы минуттарында ферросилиций бор қосылды. Ферросилиций борындағы бор мөлшері 0,9%, ал Si құрамы 62% болды. Тотықсыздандырғыш массасы 80% бордың ассимиляция жылдамдығына негізделіп есептелді.

Балқу аяқталғаннан кейін пилоттық балқымадағы бор мөлшері спектрофотометриялық әдіспен талданды. Талдау үш үлгіде жүргізілді; балқымадағы бордың орташа мөлшері 0,0028% құрады. Балқыма толық салқындағаннан кейін үлгілер термиялық өңдеуге дайындалды: 860 °С температурада қатайту, кейін 550 °С, 500 °С, 450 °С және 400 °С температурада шынықтыру жүргізілді.

Зерттеу нәтижелері

Термиялық өңдеуден кейін үлгілер беріктікке, қаттылыққа және тозуға төзімділікке тексерілді. Сынақ нәтижелері 3-кестеде келтірілген. Дәстүрлі әдіспен тотықсыздандырылған түпнұсқа 30ХН2МА болаты эталон ретінде пайдаланылды.

1 және 2-суреттерде 30ХН2МА болатының (стандартты) және ферросилиций борымен микроқорытпаланған болаттың қаттылығы мен тозуға төзімділігі шынықтыру температурасына байланысты көрсетілген.

Айта кету керек, 30ХН2МА болатының қасиеттерінің өзгеруі тек термиялық өңдеу режимін өзгерту арқылы емес, сонымен қатар, құрамын өзгерту арқылы жүзеге асырылатыны белгілі. Күрделі қорытпаны – ферросилиций борын енгізу болатты бір мезгілде ішкі тотықсыздандыруға және 0,002-0,003% концентрациясында бормен микроқорытпалауға мүмкіндік береді.

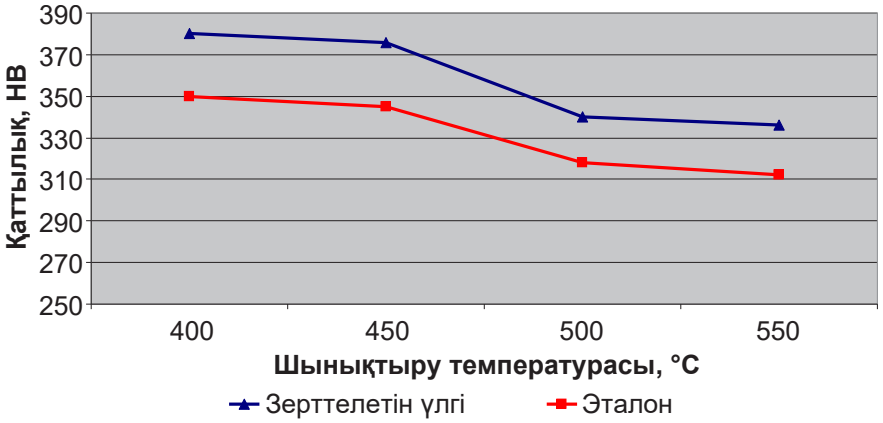
Құрамның бұл өзгерісі жақсартылған 30ХН2МА болатының химиялық талдау деректерімен расталғандай, Hardox болатының құрамына жақындататынын көрсетеді (4-кесте).

Ұсынылған микрокұрылымда (3-сурет) бейметалдық кірмелердің сипатының, олардың өлшемі мен пішінінің өзгеруі анық байқалады. Ферросиликобор арқылы тотықсыздандырылған үлгілердегі бейметалдық кірмелер анағұрлым домалақ пішінді, ұсақ және көру алаңы бойынша жеткілікті түрде біркелкі таралған.

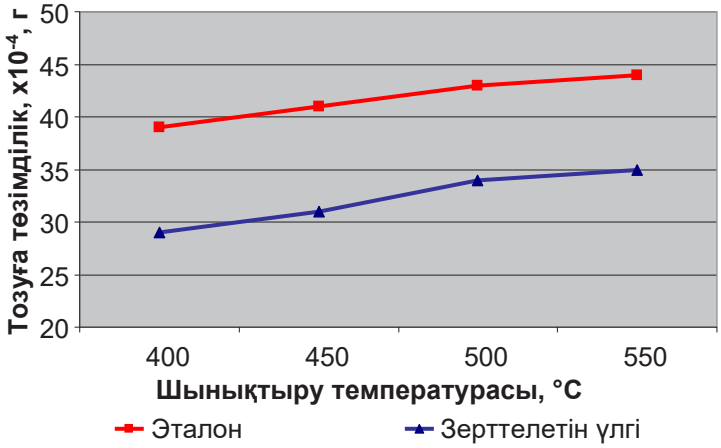
Болаттың және тотықсыздандырғыштың

3-кесте – Ферросилиций борымен қорытылған 30ХН2МА болаттың механикалық қасиеттері

№	Үлгі	НВ	Беріктік шегі, МПа	Тозуға төзімділік, х10^{-4}, г
1	Hardox 500 болаты	425	1250	26
2	110Г13Л	220	980	29
3	30ХН2МА эталон	350	1200	39
4	30ХН2МА қатайту + шынықтыру 400	380	1400	29
5	30ХН2МА қатайту + шынықтыру 400	376	1380	31
6	30ХН2МА қатайту + шынықтыру 400	340	1260	34
7	30ХН2МА қатайту + шынықтыру 400	336	1240	35



1-сурет – Ферросилиций борымен микроқорытпадан кейін 30ХН2МА болатының қаттылығының шынықтыру температурасына тәуелділігі



2-сурет – Ферросилиций борымен микроқорытпадан кейін 30ХН2МА болатының тозуға төзімділігінің шынықтыру температурасына тәуелділігі

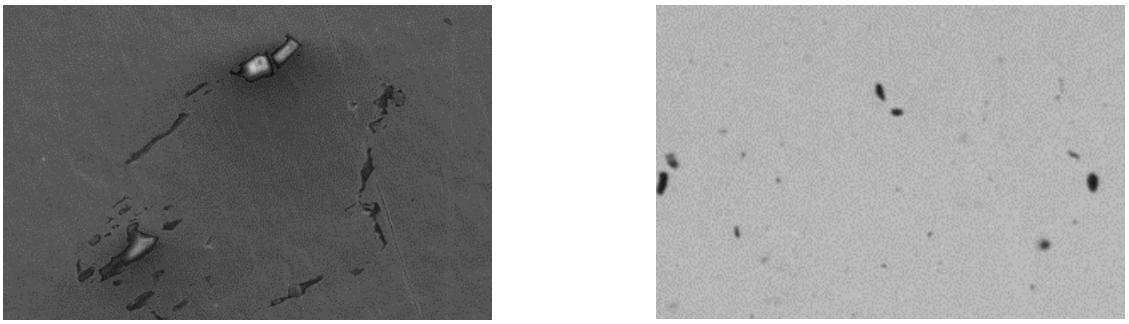
химиялық құрамын ескере отырып, кірмелердің бір бөлігі ерімейтін бор мен молибден оксидтері түрінде ұсынылған деп пайымдауға болады. Кірмелердің екінші бөлігі Fe_3C, MoC, B_4C типті карбидтік табиғатқа ие ену фазалары болып табылады.

Нәтижелерді талдау

Графиктерден (1, 2-суреттер) және 3-кестедегі деректерден көрініп тұрғандай, ферросилиций борын қолдану 30ХН2МА бо-

4-кесте – Ферросилиций борымен тотықсыздандырғаннан кейінгі 30ХН2МА болаттың химиялық құрамы

№	Элемент, % үлгі	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	B
1	Hardox 500	0,27-0,35	0,7	1,6	0,6	0,025	0,025	1	0,6	0,003-0,004
2	30ХН2МА (МЕСТ бойынша)	0,28	0,22	0,5	1,55	0,025	0,025	0,8	0,2	-
3	30ХН2МА, ферросиликобормен тотықсыздандырылған	0,31	0,51	0,52	1,2	0,026	0,025	0,85	0,2	0,0028
4	30ХН2МА, ферросиликобормен тотықсыздандырылған (өндірістік сынама)	0,33	0,60	1,0	1,2	0,023	0,025	0,95	0,2	0,0032



а ә

а – эталон; ә – ферросиликобормен тотықсыздандырылған 30ХН2МА болаты

3-сурет – 30ХН2МА болаттағы металл емес қосындылар

латының механикалық қасиеттеріне оң әсер етеді. Шыңдау температурасына қарамастан, құрамында бор бар болаттың қаттылығы, беріктігі және тозуға төзімділігі жоғарырақ болады.

400-450 °С шыңдау температурасында оның қаттылығы, созылу беріктігі және тозуға төзімділігі Hardox 500 болатының көрсеткіштеріне жақындайды, бұл оны тозуға төзімді материал ретінде ұсынуға мүмкіндік береді.

4-кестедегі деректер тек бор мөлшерінің ғана емес, сондай-ақ, болаттағы кремний мөлшерінің де артқанын көрсетеді. Бұл жағдайды деоксидизатордағы кремний мөлшерінің жоғары болуымен түсіндіруге болады.

Сынақтар көрсеткендей, қаттылық пен тозуға төзімділікті сақтай отырып немесе аздап арттыра отырып, ұсынылған қорытпаның соққыға төзімділігі 15-20% жоғарылайды, бұл тозу мен соққы жүктемелеріне ұшырайтын өнімдердің қызмет ету мерзімін ұзартуға мүмкіндік береді.

Шыныққан болаттарды тозуға төзімді материалдар ретінде қолданудың ғылыми негізі Шарпи принципіне сүйенеді. Бұл принципке сәйкес, тозуға төзімді материалдардың құрылымы біркелкі таралған қатты қосындылардан тұруы тиіс, ал матрица – жеткілікті берік, қатты, бірақ иілгіш, сфероидты пішінді қосындылармен толықтырылған болуы қажет.

Шыныққан болаттарда легирленген α-ерітінді матрица ретінде қызмет етеді, ал қатты қосындылар карбидтер және басқа да мүмкін болатын аралық фазалар болып табылады.

Алынған микрокұрылым (3-сурет) Шарпи принципіне толық сәйкес келеді: жеткілікті берік әрі тұтқыр матрица – легирленген α-қатты ерітінді. Бұл ретте никель қосымша тұтқырлық беріп, суық сынғыштық шегін төмендетеді, ал молибден болаттың кейінгі жасыту сынғыштығына бейімділігін азайтады. Қатты және жеткілікті түрде ұсақ кірмелер матрица бойымен біркелкі таралған.

Жүргізілген эксперимент нәтижелері ферросиликобор арқылы тотықсыздандырудың ұсақ түйіршікті құрылымның қалыптасуына оң әсер ететінін көрсетеді, ал 30ХН2МА болаты осы ферроқорытпамен тотықсыздандырылғаннан кейін өз қасиеттері бойынша Hardox 500 болатына жақындайды.

Қорытынды

Осылайша, тәжірибелер Hardox болатының химиялық аналогы ретінде төмен борлы ферросилиций борымен микроқорытпаланған 30ХН2МА болатын материалды қолдануды орындылығын көрсетті.

Төмен борлы ферросилиций борымен тотықсыздандырғаннан кейін жақсартылған 30ХН2МА болаты Hardox болатының механикалық қасиеттеріне ұқсас, бұл оны тозуға төзімді материал ретінде пайдалануға мүмкіндік береді.

30ХН2МА болаты, қолданылған ресейлік Hardox баламалары сияқты, баға тұрғысынан өте қолжетімді емес, ең алдымен оның молибден және никель қорытпаларының болуы себебінен. Дегенмен, кеңінен қолданылуы, жоғары беріктендірілуі, салыстырмалы түрде жақсы құю қасиеттері, температуралық сынғыштыққа төмен сезімталдығы және бор микроқорытпасынан кейін алынған механикалық қасиеттері ескерілгенде, оны пішінді құймаларды – тау-кен және металлургиялық жабдықтардың компоненттерін, мысалы, диірмен төсемдері, суспензия сорғысының компоненттері және т.б. – өндіруге арналған тозуға төзімді материал деп санауға болады.

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің Ғылым комитетінің BR 24993020 гранты аясында «Синергетикалық балқыту әсерлері арқылы біртекті құрылымы бар күрделі қорытпалы болаттарды өндіру технологиясын әзірлеу және енгізу» тақырыбы бойынша жүргізілді.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Новая высокопрочная свариваемая износостойкая сталь с временным сопротивлением не менее 1050 Н/мм^2 // Металлург. 2005. № 1. С. 51-54.
2. Duzcukohfu H. Effect of boron addition on Mechanical properties of 60SiCr7Steel // Int. J. of Materials, Mechanic and Manufactory. V 3. № 2. 2015.
3. Жучков В.И., Заякин О.В., Леонтьев Л.И. и др. Физико-химические характеристики, получение и применение борсодержащих сплавов // Изв. вузов. Черная металлургия. 2017. № 7. С. 348-354.
4. Степанов А.И., Бабенко А.А., Сычев А.В. и др. Отработка технологии микролегирования стали бором с использованием ферросиликобора // Металлург. 2014. № 7. С. 50-52.
5. Лякишев Н.П., Плинер Ю.П., Лаппо С.И. Борсодержащие стали и сплавы. М.: Металлургия, 1986. – 383 с.
6. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Металлургия, 2001, 382 с.
7. Куликов В.Ю., Квон Св.С., Исагулов А.З., Аринова С.К. Study of the structure and phase composition of a quasi-high-entropy alloy of the Cr-Mn-Ni-Fe-Co-Nb system // CIS Iron and Steel Review, М.: Изд-во «Руда и металлы». – Vol. 29 (2025), № 2. Pp. 43-49. DOI: https://doi.org/10.17580/cisisr.2025.01.08

Влияние микролегирования ферросиликобором на свойства улучшаемой стали 30ХН2МА

[1]*ДОСПАЕВ Мурат Мантенович, *д.т.н., профессор, manten.mur@mail.ru,*
[2]ФИГУРИНЕНЕ Ирина Владиславовна, *к.х.н., доцент, electrochimik@mail.ru,*
[3]ЖУМАЕВ Ахмаджон Абдувохидович, *PhD, доцент, ahmadjon_jumayev@mail.ru,*
[1]Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева, Караганда, Казахстан,
[2]Карагандинский медицинский университет, Караганда, Казахстан,
[3]Навоийский государственный горный и технологический университет, Навои, Узбекистан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Проведены исследования по определению возможности корректировки состава улучшаемой стали 30ХН2МА путем микролегирования ферросиликобором с целью ее последующего использования как износостойкого материала, сравнимого по свойствам со сталью Hardox. За основу использовалась сталь 30ХН2МА, на последних минутах плавки вводили ферросиликобор, содержание бора в ферросиликоборе 0,9%; содержание Si – 62%. Введение в сталь комплексного сплава – ферросиликобора позволяет одновременно частично раскислить сталь и провести микролегирование бором в количестве*

0,002-0,003%. Определено, что при температуре отпуска в интервале 400-450°С ее твердость, предел прочности и износостойкость приближаются к аналогичным параметрам стали Hardox 500, что позволяет ее рекомендовать в качестве износостойкого материала. Учитывая широкое распространение стали 30ХН2МА, высокую прокаливаемость, достаточно хорошие литейные свойства, низкую склонность к отпускной хрупкости и приобретаемые механические свойства после микролегирования бором, ее можно рассматривать, как износостойкий материал для получения фасонных отливок.

Ключевые слова: *износостойкая сталь, ударопрочность, сплав, литьё, отливка, легирование, модифицирование, ферробор, структура, прочность, твердость.*

Effect of Microalloying with Ferrosilicon Boron on the Properties of Improved 30XH2MA Steel

[1]*DOSPAEV Murat, *Dr. of Tech. Sc., Professor, manten.mur@mail.ru,*
[2]FIGURINENE Irina, *Cand. of Chem. Sc., Associate Professor, electrochimik@mail.ru,*
[3]ZHUMAEV Ahmadjon, *PhD, Associate Professor, ahmadjon_jumayev@mail.ru,*
[1]Zh. Abishev Chemical-Metallurgical Institute, Karaganda, Kazakhstan,
[2]Karaganda Medical University, Karaganda, Kazakhstan,
[3]Navoi State Mining and Technological University, Navoi, Uzbekistan,
**corresponding author.*

Abstract. *The study was conducted to evaluate the possibility of adjusting the composition of the improved 30XH2MA steel through microalloying with ferrosilicon boron, enabling its subsequent use as a wear-resistant material with properties comparable to Hardox steel. 30XH2MA steel served as the base material, and ferrosilicon boron was added during the final minutes of melting. The boron content in the ferrosilicon boron was 0.9%, and the silicon content was 62%. Incorporation of this complex alloy allowed the steel to be simultaneously partially deoxidized and microalloyed with boron at a concentration of 0.002-0.003%. It was determined that, at a tempering temperature range of 400-450°C, its hardness, tensile strength, and wear resistance approach the corresponding parameters of Hardox 500 steel, supporting its recommendation as a wear-resistant material. Considering the widespread use of 30XH2MA steel, its high hardenability, relatively good casting properties, low sensitivity to temper brittleness, and enhanced mechanical properties after boron microalloying, it can be considered a suitable wear-resistant material for the production of shaped castings.*

Keywords: *wear-resistant steel, impact resistance, alloy, casting, alloying, modification, ferroboron, structure, strength, hardness.*

REFERENCES

1. Novaya vysokoprochnaya svarivaemaya iznosostoykaya stal' s vremennym soprotivleniem ne menee 1050 N/mm² // Metallurg, 2005, № 1, pp. 51-54.
2. Duzcukohfu H. Effect of boron addition on mechanical properties of 60SiCr7 steel // Int. J. of Materials, Mechanic and Manufactory, Vol. 3, № 2, 2015.
3. Zhuchkov V.I., Zayakin O.V., Leontyev L.I. et al. Fiziko-khimicheskie kharakteristiki, poluchenie i primenenie borsoderzhashchikh splavov // Izv. Vuzov. Chernaya Metallurgiya, 2017, № 7, pp. 348-354.
4. Stepanov A.I., Babenko A.A., Sychev A.V. et al. Otrabotka tekhnologii mikrolegerovaniya stali borom s ispol'zovaniem ferrosilikobora // Metallurg, 2014, № 7, pp. 50-52.
5. Lyakishev N.P., Pliner Yu.P., Lappo S.I. Borsoderzhashchie stali i splavy. Moscow: Metallurgiya, 1986, 383 p.
6. Gulyaev A.P. Metallovedenie. Moscow: Metallurgiya, 2001, 382 p.
7. Kulikov V.Yu., Kvon S.V., Isagulov A.Z., Arinova S.K. Study of the structure and phase composition of a quasi-high-entropy alloy of the Cr-Mn-Ni-Fe-Co-Nb system // CIS Iron and Steel Review, Moscow: Izdatel'stvo «Ruda i Metally», Vol. 29 (2025), № 2, pp. 43-49. DOI: https://doi.org/10.17580/cisisr.2025.01.08

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_35 UDC 620.184

Study of Microstructure and Binder Removal in an Additive-manufactured Composite Sample

[1,2]**TULESHOV Yerkebulan,** *PhD, Associate Professor, y.tuleshov@satbayev.university, https://orcid.org/0000-0002-9146-7137,*
[2]**BAZARBAY Bauyrzhan,** *PhD, Teacher, bauyrzhan_4@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-7387-1654,*
[2]***UDERBAYEVA Assemgul,** *PhD, Associate Professor, a.uderbayeva@satbayev.university, https://orcid.org/0000-0002-1641-7404,*
[2]**KOZHAGELDIYEV Bekmyrza,** *Researcher, kozhageldiyev.bekmyrza@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-9094-3015,*
[3]**KARENEYEVA Zhazira,** *Master's Degree, Lecturer, lashyn7979@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-7197-5380,*
[1]Institute of Mechanics and Engineering named after academician U.A. Dzholdasbekov, Almaty, Kazakhstan,
[2]Satbayev University, Almaty, Kazakhstan,
[3]International Engineering and Technological University, Almaty, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *The application of a specially developed metal composite material using LDPE polymer as a binder in additive technology is described. Nitrogen environments can facilitate the formation of chromium nitride (Cr_2N), particularly at temperatures between 500-600°C, adversely affecting the material's corrosion resistance. Following binder removal, the sintering process involves heating the loosely packed particles to a temperature between 70-90% of the metal powder's melting point, facilitating the powder's dense fusion and consolidation. In the metallographic study, the austenitic grain structure was shown, and the average size was 7±3 μm. Using this raw material in additive technology, a sample was developed and annealing and ripening processes were carried out in a hydrogen atmosphere up to 1387°C based on the removal of the binder in the developed sample. Complete degradation of the polymer was achieved at 500°C, with residual mass percentage (R) analysis from TGA curves revealing 94.5% steel powder, which corresponds to the expected 94.2% mass composition. Phase analysis showed the presence of an austenitic phase, which confirmed that treatment in a hydrogen-reducing atmosphere effectively protected the samples from oxidation and additional impurities. The uncontrolled cooling rate was quite slow (1-2°C/min), which allowed the powder to continue growing until it reached the recrystallization point. As a result of the microstructure analysis of the prepared sample, a level of 250 MPa and a nano-indentation hardness of 4.87 GPa were achieved. Density after sintering is 91-93%.*

Keywords: *additive manufacturing, LDPE, sintering, X-ray, scanning electron microscopy, stainless steel.*

Introduction

Additive manufacturing constructs objects directly from a digital 3D model by sequentially layering material, offering significant advantages in terms of the ability to produce complex geometries with minimal material waste. The primary techniques utilizing metal powders in Additive Manufacturing are selective laser melting (SLM) and electron beam melting (EBM), known for their precision but also for their high cost and energy demands. These methods necessitate a controlled environment free of oxygen to avoid oxidation and consume substantial energy [1, 2]. Moreover, parts created with these techniques often require further refinement post-printing. Among the most popular 3D printing technologies globally is Fused Filament Fabrication (FFF), praised for its minimal waste production, straightforward operating principle, and capability to work with multiple materials at once [3, 4]. This method is predominantly used for polymer composite materials, with ongoing research enabling the production of metal-polymer composite fila-

ments with a standard diameter of 1.75 mm suitable for FFF. A significant constraint of using 316L stainless steel in FFF technology is the limitation on the size of the manufacturable product [5, 6]. Integrating a polymer binder with metal powders to produce filaments for 3D printing presents challenges, particularly as the filament's brittleness increases with the metal content [7].

Polypropylene (PP) and low-density polyethylene (LDPE) serve as binding agents in the production of filaments, contributing to the filament's elasticity, ensuring high-quality prints, and leading to denser final products. Deviations from the standard filament diameter of 1.75 mm can significantly alter the flow of the molten polymer, affecting layer thickness and width, which can result in weak layer bonding or unwanted spaces between layers. These types of flaws cannot be corrected during the sintering process and will remain in the finished metal product. Conversely, a filament diameter exceeding the norm can complicate its passage through the extruder, likely causing material overflow and reducing the dimensional precision of the product [8, 9]. Imperfect removal of polymers adversely affects product quality. Typically, polymers are eliminated through either solvent washing or thermal degradation processes, with the parameters for effective binder removal being the rate of heating, duration of heat application, and the controlled atmosphere within the furnace [10].

The aim of this study is to develop and optimize a metal-polymer filament system based on LDPE as a binder and 316L stainless steel powder for application in FFF additive manufacturing, and to evaluate its suitability for producing high-quality metallic components.

The objectives include analyzing the debinding process, investigating sintering behavior and material densification, studying phase stability and microstructural evolution, and assessing the resulting mechanical performance of the fabricated parts.

Research Methodology

The study evaluated 3D-printed 316L stainless steel-LDPE composites (75 vol% steel, 25 vol% polymer) using FFF technology. Materials Preparation included mixing 316L stainless steel powder and LDPE binder (4:1 ratio) and extruding filaments (1.75 mm) at 180°C, 15 RPM using a laboratory-scale extruder. Binder removal efficiency was enhanced by selecting LDPE and applying slow heating to prevent gas entrapment, while separation was conducted under hydrogen to minimize oxidation and maintain corrosion resistance [9]. Incomplete removal or high carbon content (>0.06%) can lead to internal voids or defects. Thermal processing involved binder removal at 500°C for 90 min and sintering at 1387°C for 180 min (7°C/min), promoting particle consolidation through surface and volume diffusion, evaporation-condensation, and plastic flow, reducing porosity and enhancing density [10]. Characterization techniques included XRD for phase analysis, SEM for microstructural evaluation (2 μm resolution) and particle-polymer integration, EDX for elemental composition, FTIR for polymer chemistry, TGA (0-512.6°C, 10°C/min, N_2) for guiding binder removal, and nanoindentation for mechanical properties assessment. Filament (1.75 mm) was extruded at 180°C, 15 RPM, and printed (extruder 230°C, bed 60°C, 0.6 mm layer, 100% infill, 25 mm/s). TGA (Thermogravimetric Analysis) is a technique that measures changes in a material's mass during heating, used to evaluate binder removal efficiency and degradation. TGA guided binder removal. Post-sintering, SEM revealed densely packed austenitic grains (~7±3 μm) with 7% porosity and overall density of 91-93%, comparable to MIM, while nanoindentation confirmed mechanical properties. Overall, controlled heating, atmosphere, and sintering parameters were crucial to achieving high-quality, low-porosity 316L stainless steel composites suitable for industrial applications.

Energy-dispersive X-ray (EDX) spectroscopy results, illustrated in Figure 1, identified the composition of the 316L stainless steel. The analysis revealed an Iron (Fe) content of 42.9%, alongside 7.4% Chromium (Cr) and 3.9% Nickel (Ni). Additional elements in the steel's composition included 0.3% Manganese (Mn), 0.5% Molybdenum (Mo), and 0.3% Silicon (Si). The X-ray diffraction (XRD) pattern indicated a cubic structure, with peaks at 44.65°, 64.98°, 82.30°, 98.88°, and 116.31°, highlighting the austenite alloy's crystalline phases.

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) analysis of the LDPE binder, depicted in Figure 3, showed weak absorption peaks around 3000 cm^{-1} attributable to C-H stretching vibrations, and peaks in the 1000-1500 cm^{-1} range associated with C-C stretching vibrations. The peak at 750 cm^{-1} corresponded to C-H out-of-plane bending vibrations.

These findings underscore the feasibility of preparing filaments for Fused Filament Fabrication (FFF) printing from a composite material. The characteristics of metal-polymer composite material include the powder of metal-polymer composite material and composite material before burning, SEM – 2 μm (scanning electron microscopy). TGA Analysis was performed using a thermogravimetric analyzer in a nitrogen environment to facilitate binder extraction, and sintering was conducted in a hydrogen-reducing furnace to ensure par-

ticle consolidation and minimize oxidation. A thermogravimetric analysis was conducted on the composite material to facilitate binder extraction. The analysis involved a TGA sample of the initial composite material in a nitrogen environment, as depicted in Figure 2, 3. The TGA curve demonstrated a singular phase of degradation, aligning with the breakdown of LDPE through random chain scission and creation of voids [10].

Results and Discussion

The onset of LDPE degradation was identified at 418°C from the steepest point on the weight derivative curve, while the composite material commenced decomposition at 492°C. Literature suggests that the thermal decomposition threshold is elevated by the inclusion of metallic fillers [8].

Complete decomposition of the polymer was achieved at 500°C, with the residual mass percentage (R) analysis from the TGA curves revealing a steel powder content of 94,5%, closely matching the expected mass composition of 94,2%. Consequently, the thermal treatment was set to 500°C for 90 minutes at a heating rate of 7°C/min under an oxygen-free environment. Post thermal treatment, SEM analysis was employed to verify the absence of residual binder, as shown in Figure 4, confirming 90% binder removal.

Using a single LDPE binder improves binder removal efficiency [10]. Slow heating prevents gas entrapment during polymer decomposition, minimizing defects. Post-sintering, steel particles are closely bonded, indicating successful initial particle contact [10]. Heat promotes atomic movement via surface and volume diffusion, evaporation-condensation, and other mass transport mechanisms, which are essential for effective sintering. Reduced pore size in green parts further drives volumetric transport processes such as plastic flow, viscous flow, boundary diffusion, and volume diffusion.

Observed shrinkage varied directionally, registering at 11% in both the X and Y-axes and 15% in the Z-axis, whereas literature typically cites a linear shrinkage rate of approximately 14% for similar volume fractions in the X direction.

Observed shrinkage varied directionally, registering at 11% in both the X and Y-axes and 15% in the Z-axis, whereas literature typically cites a linear shrinkage rate of approximately 14% for similar volume fractions in the X direction. Given that our samples exhibited a mere 5% shrinkage in the X direction, it can be inferred that a certain level of porosity was retained. Post-sintering observations revealed no apparent defects, such as surface cracking or bulging.

The identification of the austenitic crystal structure within the Fe-Cr-Ni alloy suggests that the material underwent no significant chemical or phase transformations throughout the entire process.

Metallographic analysis of the sintered sample showed a densely packed austenitic grain structure with equiaxed powders averaging 7±3 μm. The sintering temperature exceeded the recrystallization point, allowing grain growth, while the slow cooling rate (1-2°C/min) further promoted this process. Some intergranular porosity was observed, with a porosity level of 7%, resulting in a post-sintering density of 91-93%, comparable to Metal Injection Molding (MIM) densities.

The nature and shape of porosity can shed

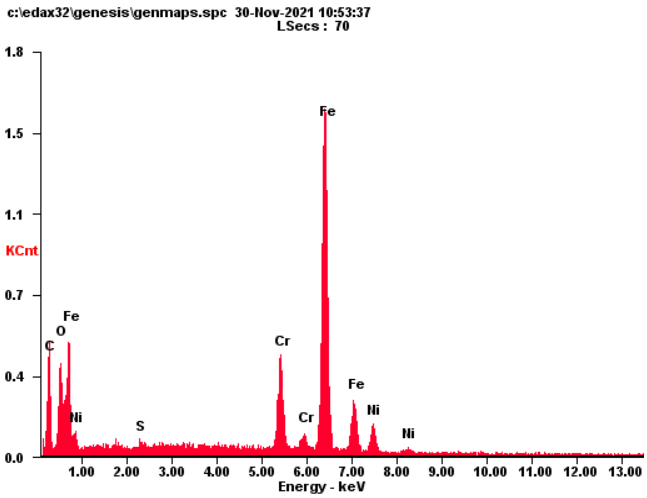


Figure 1 – The result of X-ray analysis of composite material

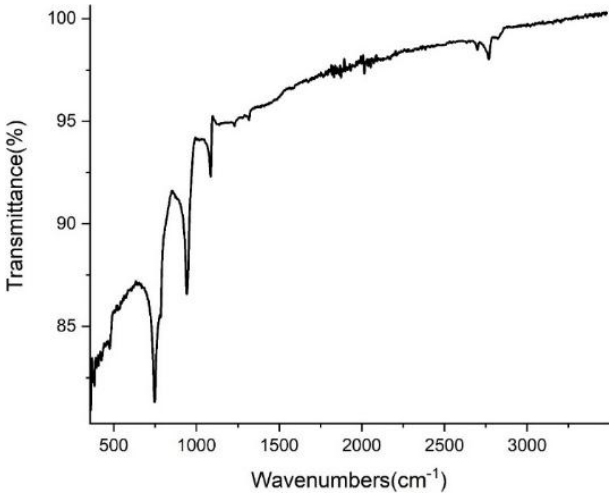


Figure 2 – The result of the FTIR spectra of the LDP binder

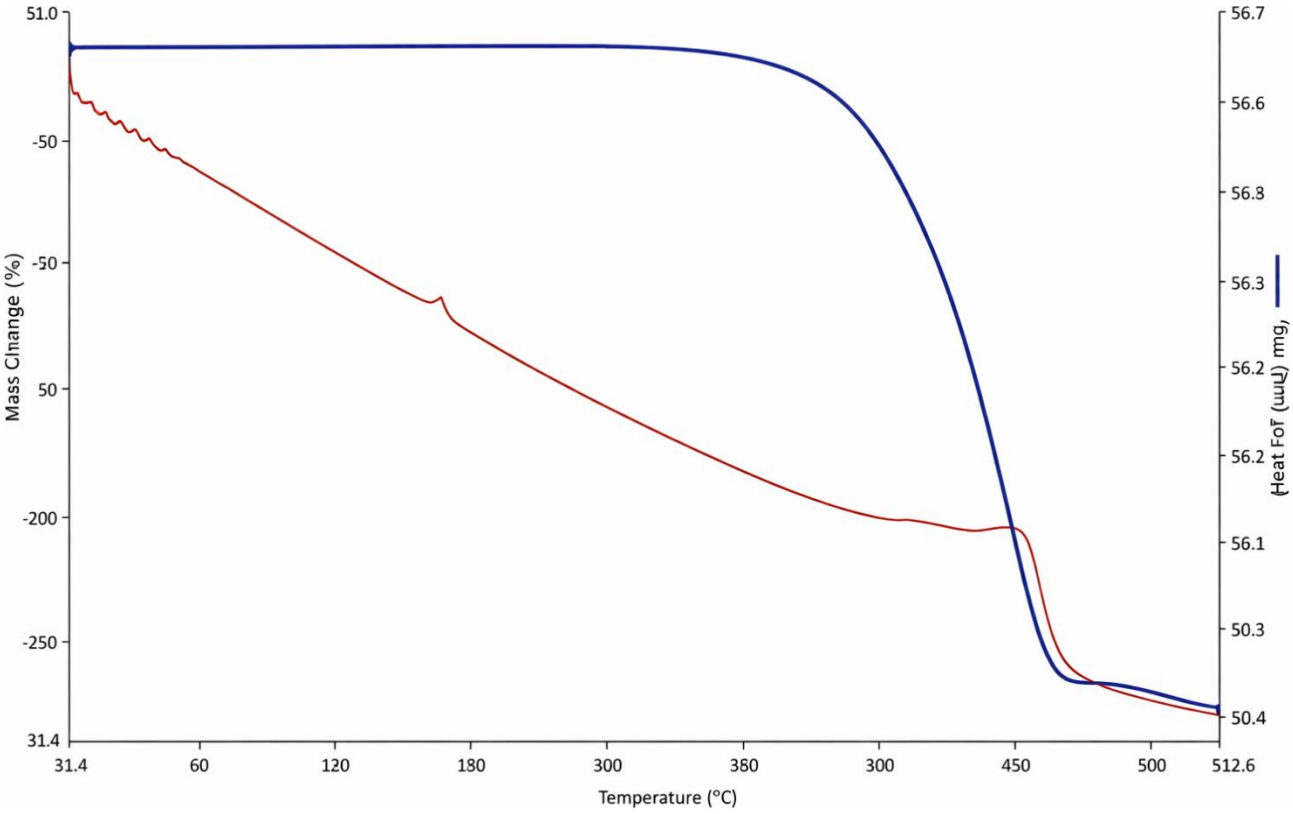


Figure 3 – Loss of raw material mass, TGA analysis result

light on its origins. Non-spherical porosity usually stems from the FFF printing process, whereas spherical porosity typically results from thermal treatments such as binder removal.

In this instance, the observed defects, potentially arising during the 3D printing process, could influence the mechanical properties of the end product. For instance, the mean yield strength was recorded at 252 MPa, and the average tensile strength at 520 MPa. The observed low yield strength and high tensile strength could be attributed to the elevated sintering temperatures, which promote grain growth, and the existence of porosity. Porous materials may be viewed as two-phase composites, with pores acting as a phase of zero strength. The mechanical properties are influenced by the pore size, shape, distribution, and spatial orientation.

Being 2-4 percent of the binders with a percentage, you can see the types of defects identified by the red circle, as shown in Figure 5, and it is a good achievement.

As a result of determining the modulus of elasticity of the sample after burning and sintering methods, the nanoindentation method is analyzed and summarized in Table.

Material Stiffness Evaluation Post-Sintering. Nanoindentation, a technique for nanomechanical testing, entails the application of an incrementally increasing force through a hard indenter with a defined shape and material onto the test material. This process is followed by the withdrawal of the indenter and the analysis of the relationship between the applied force and the displacement of the indenter tip.

Although approximately 90% of the binder is removed during the thermal debinding stage, the remaining 10% persists within the composite. This residual binder is gradually eliminated during the subsequent sintering process through further thermal decomposition and diffusion mechanisms. If sintering parameters (temperature, heating rate, and atmosphere) are properly controlled, the residual binder does not produce defects and is fully removed, ensuring high-density, low-porosity 316L stainless steel components. However, incomplete removal or excessive residual carbon can lead to internal voids, microcracks, or other structural defects. Therefore, precise control of debinding and sintering conditions is critical to avoid such flaws.

Conclusions

In this study, a filament composed of LDPE as a single binder component and 316L stainless steel powder with a high filler to binder ratio of 4:1 was developed. Utilizing this filament, 3D printed products were fabricated, fol-



Figure 4 – Analysis of SEM – 2 µm after removal of the binder

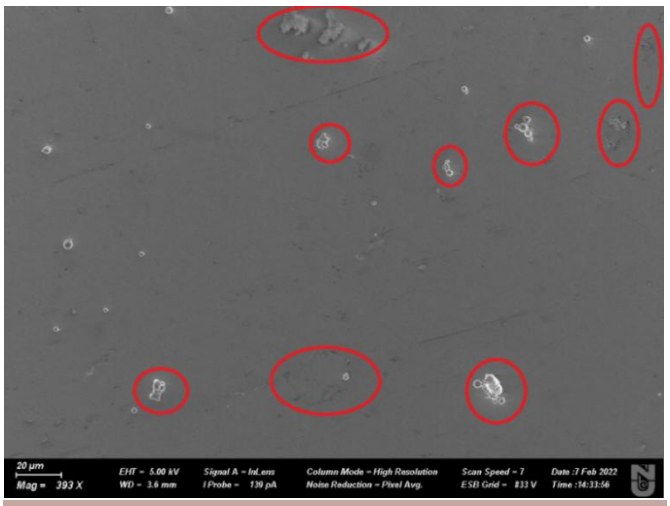


Figure 5 – Analysis of SEM – 2 µm after the sintering method of the sample

The result of sample hardness

Sample	Hardness H, GPa	Nanoindentation Elastic Modulus E, GPa
Before sintering	0.63	11.67
After sintering	4.87	150

lowed by the removal of LDPE binders through thermal decomposition and further examination of the welding techniques and hardness determination.

The key characteristic evaluated was the filament's capacity for polymer evaporation at a controlled thermal rate of 7°C/min during the burning process, ensuring the retention of shape and absence of surface flaws. The specimens underwent sintering at 1387°C for a duration of 180 minutes, aiming to consolidate the material and rectify any imperfections, achieving a density of 93% in the sintered samples. Phase analysis indicated the exclusive presence of an austenitic phase, verifying that the treatment under a hydrogen-reducing atmosphere effectively safeguarded the samples against oxidation and additional impurities.

Microstructural examination displayed a dense, uniform austenitic grain structure with an average grain size of 45±5 µm, and the elemental composition remained stable throughout the thermal treatments. Mechanical testing for hardness on the surface of the metal-polymer components revealed a 12% increase in hardness post-sintering. This suggests that the FFF technique holds potential as an innovative approach for manufacturing stainless steel components in the future.

REFERENCES

1. S.H. Huang, P. Liu, A. Mokasdar, L. Hou, Additive manufacturing and its societal impact: a literature review, Int. J Adv. Manuf. Technol., 67, 2013, 1191-203. https://www.researchgate.net/publication/257337095
2. T. DebRoy, H.L. Wei, J.S. Zuback, T. Mukherjee, J.W. Elmer, J.O. Milewski, et al., Additive manufacturing of metallic components – process, structure and properties, Prog. Mater. Sci., 92, 2018, 112-224. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0079642517301172

3. Ren Luquan, Zhou Xueli, Song Zhengyi, Zhao Che, Liu Qingping, Xue Jingze, et al., Process parameter optimization of extrusion-based 3D metal printing utilizing PW-LDPE-SA binder system, Materials (Basel), 10, 2017, 305-29. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5503359/
4. Selection of rational deformation pressing modes in a special device. Uderbayeva, A., Rakhmatulina, A., Nurakhmetova, G. Solid State Phenomena, 2021, 316 SSP, pp. 319-323. https://www.scopus.com/pages/publications/85106148021?origin=resultslist
5. A. Bandyopadhyay, Y. Zhang, S. Bose, Recent developments in metal additive manufacturing, Curr. Opin. Chem. Eng., 28, 2020, 96-104. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2211339820300174
6. S. Mashekov, B. Bazarbay, A. Zhankeldi, A. Mashekova, Development of technological basis of 3D printing with highly filled metal-poly-dimensional compositions for manufacture of metal products of complex shape, Metabk., 6, 2021, 355-358. https://hrcak.srce.hr/file/372272
7. J. Safka, M. Ackermann, J. Machacek, M. Seidl, F. Vele, V. Truxova, Fabrication rocess and basic material properties of the basf Ultrafuse 316 L material, MM Sci. J, 2020, 4216-22. https://www.researchgate.net/publication/347458155
8. C. Kukla, J. Gonzalez-gutierrez, P. Felfer, C. Holzer, Material extrsion with filaments for the prodction of metal parts and feedstock therefore, Met. Addit. Manuf., 4, 2018, 1-9. https://www.researchgate.net/publication/330365718_
9. J. Gonzalez-Gutierrez, S. Cano, S. Schuschnigg, C. Kukla, J. Sapkota, C. Holzer, Additive manufacturing of metallic and ceramic components by the material extrusion of highly-filled polymers: a review and future perspectives, Materials (Basel), 2018, 11. https://www.mdpi.com/1996-1944/11/5/840
10. M.R. Raza, F. Ahmad, M.A. Omar, R.M. German, A.S. Muhsan, Role of debinding to control mechanical properties of powder injection molded 316 L stainless steel, Adv. Mater. Res., 699, 2013, 875-82. https://www.researchgate.net/publication/265382350_

Аддитивті тәсілмен жасалған композит үлгісінің микроқұрылымын және байланыстырушының жойылуын зерттеу

[1,2]ТУЛЕШОВ Еркебулан Амандыкович, *PhD, қауымдастырылған профессор, y.tuleshov@satbayev.university, https://orcid.org/0000-0002-9146-7137,*
[2]БАЗАРБАЙ Бауыржан Бакытбекұлы, *PhD, оқытушы, bauyrzhan_4@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-7387-1654,*
[2]*УДЕРБАЕВА Асемгуль Еркинбековна, *PhD, қауымдастырылған профессор, a.uderbayeva@satbayev.university, https://orcid.org/0000-0002-1641-7404,*
[2]КОЖАГЕЛЬДИЕВ Бекмырза Жанабергенович, *ғылыми қызметкер, kozhageldiyev.bekmyrza@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-1641-7404,*
[3]КАРЕНЕЕВА Жазира Алпысбаевна, *магистр, лектор, lashyn7979@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-7197-5380,*
[1]Академик Ө.А. Жолдасбеков атындағы Механика және машинатану институты, Алматы, Қазақстан,
[2]Satbayev University, Алматы, Қазақстан,
[3]Халықаралық инженерлік-технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Байланыстырушы ретінде LDPE полимерін қолдана отырып, аддитивті технологияда арнайы әзірленген металл-композиттік материалды пайдалану болып табылады. Азот ортасы 500-600°С температура аралығында әсіресе хром нитридінің (Cr_2N) түзілуіне ықпал етіп, материалдың коррозияға төзімділігіне жағымсыз әсер етуі мүмкін. Байланыстырғышты жойғаннан кейінгі тығыздау (синтерлеу) процесі металл ұнтағының балқу температурасының 70-90% аралығында қыздыру арқылы жүзеге асырылады, бұл ұнтақ бөлшектерінің тығыз бірігуіне және консолидациялануына мүмкіндік береді. Металлографиялық зерттеуде аустениттік дән құрылымы анықталып, оның орташа мөлшері 7±3 мкм болды. Осы бастапқы материалды аддитивті технологияда қолдану арқылы үлгі әзірленіп, онда байланыстырғыш затты жоюға негізделген 1387°С температураға дейін сутекті ат-*

мосферада күйдіру және қартаю (annealing and ripening) процестері жүргізілді. Полимердің толық ыдырауы 500°C температурада жүзеге асып, TGA қисықтары бойынша қалдық масса пайызы (R) 94,5% болатыны анықталды; бұл күтілетін 94,2% болат ұнтағы құрамымен сәйкес келеді.

Кілт сөздер: *аддитивті өндіріс, LDPE, синтерлеу, рентгендік талдау, сканирлеуші электронды микроскопия, тот баспайтын болат.*

Исследование микроструктуры и удаления связующего в аддитивно-изготовленном образце композита

[1,2]ТУЛЕШОВ Еркебулан Амандыкович, *PhD, ассоциированный профессор, y.tuleshov@satbayev.university, https://orcid.org/0000-0002-9146-7137,*
[2]БАЗАРБАЙ Бауыржан Бакытбекұлы, *PhD, преподаватель, bauyrzhan_4@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-7387-1654,*
[2]*УДЕРБАЕВА Асемгуль Еркинбековна, *PhD, ассоциированный профессор, a.uderbayeva@satbayev.university, https://orcid.org/0000-0002-1641-7404,*
[2]КОЖАГЕЛЬДИЕВ Бекмырза Жанабергенович, *научный сотрудник, kozhageldiyev.bekmyrza@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-1641-7404,*
[3]КАРЕНЕЕВА Жазира Алпысбаевна, *магистр технических наук, лектор, ashyn7979@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-7197-5380,*
[1]Институт механики и машиноведения им. академика У.А. Джолдасбекова, Алматы, Казахстан,
[2]Satbayev University, Алматы, Казахстан,
[3]Международный инженерно-технологический университет, Алматы, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Описано применение специально разработанного металлокомпозитного материала, в котором в качестве связующего используется полимер LDPE для аддитивных технологий. Азотная среда может способствовать образованию нитрида хрома (Cr_2N), особенно при температурах 500-600°C, что отрицательно влияет на коррозионную стойкость материала. После удаления связующего процесс спекания осуществляется путем нагревания рыхло упакованных частиц до температуры, составляющей 70-90% от температуры плавления металлического порошка, что обеспечивает плотное соединение и консолидацию частиц. В металлографическом исследовании была выявлена аустенитная зеренная структура со средним размером зерна 7±3 мкм. Используя данное сырьё в аддитивной технологии, был разработан образец, для которого проведены процессы отжига и созревания в водородной атмосфере при температуре до 1387°C, основанные на полном удалении связующего в изготовленном образце. Полное разложение полимера достигалось при 500°C, а анализ остаточной массы (R) по кривым TGA показал содержание стального порошка 94,5%, что соответствует ожидаемому массовому составу 94,2%.*

Ключевые слова: *аддитивное производство, LDPE, спекание, рентгенография, сканирующая электронная микроскопия, нержавеющая сталь.*

REFERENCES

1. S.H. Huang, P. Liu, A. Mokasdar, L. Hou, Additive manufacturing and its societal impact: a literature review, Int. J Adv. Manuf. Technol., 67, 2013, 1191-203. https://www.researchgate.net/publication/257337095
2. T. DebRoy, H.L. Wei, J.S. Zuback, T. Mukherjee, J.W. Elmer, J.O. Milewski, et al., Additive manufacturing of metallic components – process, structure and properties, Prog. Mater. Sci., 92, 2018, 112-224. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0079642517301172
3. Ren Luquan, Zhou Xueli, Song Zhengyi, Zhao Che, Liu Qingping, Xue Jingze, et al., Process parameter optimization of extrusion-based 3D metal printing utilizing PW-LDPE-SA binder system, Materials (Basel), 10, 2017, 305-29. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5503359/
4. Selection of rational deformation pressing modes in a special device. Uderbayeva, A., Rakhmatulina, A., Nurakhmetova, G. Solid State Phenomena, 2021, 316 SSP, pp. 319-323. https://www.scopus.com/pages/publications/85106148021?origin=resultslist
5. A. Bandyopadhyay, Y. Zhang, S. Bose, Recent developments in metal additive manufacturing, Curr. Opin. Chem. Eng., 28, 2020, 96-104. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2211339820300174
6. S. Mashekov, B. Bazarbay, A. Zhankeldi, A. Mashekova, Development of technological basis of 3D printing with highly filled metal-poly-dimensional compositions for manufacture of metal products of complex shape, Metabk., 6, 2021, 355-358. https://hrcak.srce.hr/file/372272
7. J. Safka, M. Ackermann, J. Machacek, M. Seidl, F. Vele, V. Truxova, Fabrication rocess and basic material properties of the basf Ultrafuse 316 L material, MM Sci. J, 2020, 4216-22. https://www.researchgate.net/publication/347458155
8. C. Kukla, J. Gonzalez-gutierrez, P. Felfer, C. Holzer, Material extrsion with filaments for the prodction of metal parts and feedstock therefore, Met. Addit. Manuf., 4, 2018, 1-9. https://www.researchgate.net/publication/330365718_
9. J. Gonzalez-Gutierrez, S. Cano, S. Schuschnigg, C. Kukla, J. Sapkota, C. Holzer, Additive manufacturing of metallic and ceramic components by the material extrusion of highly-filled polymers: a review and future perspectives, Materials (Basel), 2018, 11. https://www.mdpi.com/1996-1944/11/5/840
10. M.R. Raza, F. Ahmad, M.A. Omar, R.M. German, A.S. Muhsan, Role of debinding to control mechanical properties of powder injection molded 316 L stainless steel, Adv. Mater. Res., 699, 2013, 875-82. https://www.researchgate.net/publication/265382350_

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_43 UDC 621.074

Comparative Analysis of the Behavior of Fused and Crystalline Quartz During Heating

[1]**ISSAGULOV Aristotel,** *Dr. of Tech. Sc., Professor, a.issagulov@ktu.edu.kz,*
[1]**KVON Svetlana,** *Cand. of Tech. Sc., Professor, s.kvon@ktu.edu.kz,*
[1]***ABILDINA Aizhan,** *Doctoral Student, a.abildina@ktu.edu.kz,*
[2]**OKISHEV Konstantin,** *Dr. of Phys. and Math. Sc., Professor, konstantin.okishev@urfu.ru,*
[1]Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
[2]Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia,
**corresponding author.*

Abstract. *Thermal and structural properties of fused and crystalline quartz were studied for use in ceramic shells during the casting of Fe-Mn-Co-Ni-Cr-Nb-Mo quasi-high-entropy alloys (QHEAs). The phase composition was determined by X-ray phase analysis, while thermal expansion was measured using the dilatometric method. Fused quartz exhibits an amorphous mono-phase structure, high phase and chemical purity, and a low coefficient of linear thermal expansion, which ensures dimensional stability and enhances the thermal resistance of ceramic shells during heating. Crystalline quartz, in contrast, undergoes polymorphic transformations, experiences abrupt expansion, and develops internal stresses, increasing the risk of microcrack formation. Comparative analysis confirms the superiority of fused quartz for investment casting technologies, reducing defect formation and improving the reliability of ceramic shells in the production of QHEA castings.*

Keywords: *fused quartz, crystalline quartz, dilatometry, X-ray phase analysis, quasi-high-entropy alloys, investment casting, ceramic shell.*

Introduction

Casting technologies play a decisive role in the manufacture of mechanical engineering components, especially in the case of advanced materials subject to increased requirements for structural integrity and performance. In recent years, quasi-high-entropy alloys (QHEAs) [1, 2] based on the Fe-Mn-Co-Ni-Cr-Nb-Mo system have attracted considerable attention due to their high strength, structural stability, and ability to operate under significant thermal and mechanical loads.

For such alloys, the production of defect-free precision castings is of critical importance. This, in turn, necessitates further improvement of precision casting technologies, particularly investment casting (IC), which is widely used for manufacturing complex-shaped components with tight dimensional tolerances.

The ceramic shell mold is a key element of investment casting technology and plays a crucial role in ensuring both dimensional accuracy and the quality of the resulting castings [4]. Any deviations in the physical or thermal properties of the shell can significantly affect the cooling rate of the melt, promote undesirable phase transformations, and ultimately lead to the formation of structural defects in the casting [4, 5]. Therefore, when processing QHEAs, it is essential to employ a mold shell that exhibits high thermal stability, mechanical strength, and predictable behavior under heating and cooling conditions.

Until recently, crystalline quartz has remained the primary refractory material used in foundry practice for the fabrication of ceramic shells in the investment casting process. Its widespread application is attributed to its availability, relatively low cost, and generally satisfactory thermal properties.

One of the characteristic features of crystalline quartz is its tendency to undergo polymorphic transformations [6]. Polymorphism refers to the ability of a substance to change its crystal lattice structure in response to temperature variations, which is accompanied by changes in volume and has a significant impact on the thermal stability of ceramic shells. Upon heating, quartz undergoes a sequence of phase transformations from α-quartz to β-quartz, followed by α-tridymite and α-cristobalite, before melting at approximately 1713 °C.

The most pronounced volume expansion occurs during the β-quartz → α-tridymite (~12.7%) and α-tridymite → α-cristobalite (~4.7%) transformations, whereas the α-quartz → β-quartz transition, despite a relatively small volume change (~0.8%), is accompanied by abrupt structural rearrangements and partial rupture of chemical bonds. Under standard technological conditions, these transformations proceed gradually; however, accelerated heating rates or improper calcination regimes can lead to the formation of microcracks and other structural defects in the ceramic shell [6, 7].

In addition, natural quartz frequently contains impurity phases that reduce its refractory performance and may interact unfavorably with binders, thereby limiting its applicability in modern high-temperature casting processes, particularly in the production of precision and complex-shaped castings.

Owing to these limitations, fused quartz – an amorphous form of silicon dioxide lacking long-range crystalline order – has gained increasing attention in recent years. Its principal advantage lies in the absence of polymorphic phase transformations, which ensures high dimensional stability during heating and significantly reduces the risk of thermal stresses and cracking.

Fused quartz is also characterized by an extremely low coefficient of linear thermal expansion, which contributes to reduced energy consumption during calcination, simplifies process control, and enhances overall cost efficiency. The use of fused silica in ceramic shell fabrication improves shell reliability, reduces defect formation, and increases the economic efficiency of foundry operations. Owing to its stable thermal and chemical properties, fused quartz represents a promising refractory material for the production of high-precision castings, including those made from complex quasi-high-entropy alloys.

The objective of this study is to perform a comprehensive evaluation of the thermal and structural properties of fused and crystalline quartz in order to assess their effectiveness as refractory materials for the manufacture of ceramic shells by investment casting of quasi-high-entropy alloys of the Fe-Mn-Co-Ni-Cr-Nb-Mo system.

Methods and Equipment

Fused quartz was produced from natural quartz raw material obtained from the Aktas deposit in the Karaganda region, which is one of the largest sources of high-purity quartz in the region. Prior to processing, the raw material was subjected to preliminary cleaning to remove mechanical impurities. The purified quartz was then crushed using a jaw crusher and subsequently ground in an Emax planetary ball mill (Germany) at a rotational speed of 2000 rpm to obtain a powder with a controlled particle size in the range of 50-100 μm.

The resulting powder was washed with distilled water to remove residual fine impurities and dried in a laboratory drying oven at 105 °C until constant mass was achieved. Melting was performed in a high-temperature electric muffle furnace using a graphite crucible at temperatures of 1750-1900 °C, ensuring complete melting and the formation of amorphous SiO_2. After melting, the material was rapidly cooled in air to room temperature to preserve its amorphous structure.

The phase composition of the samples was determined by X-ray diffraction (XRD) using a MiniFlex 600 rotating anode diffractometer (Rigaku – Carl Zeiss, Japan) (Fig. 1, a). Measurements were performed with CuKα radiation (λ = 1.541862 Å) over a 2θ range of 3.00-60.00°, using a scanning step of 0.02°. Data acquisition was carried out using the MiniFlex guidance control software, while diffraction pattern processing was performed with the PDXL Basic software package.

Phase identification was conducted by comparing the positions and relative intensities of the diffraction peaks with reference data from the JCPDS database. Semi-quantitative evaluation of phase content was performed using the Reference Intensity Ratio (RIR) method based on corundum standards, according to the Chung method [9]. Analysis of the experimental diffraction profiles enabled determination of the phase composition of the samples, assessment of their structural homogeneity, and identification of possible impurity or secondary phases. In addition, the degree of crystallinity and microstructural features of the materials were evaluated based on peak shape, width, and intensity distribution.

The coefficient of linear thermal expansion (CLTE) was measured using a DIL 402 dilatometer (Netzsch-Gerätebau GmbH, Germany) (Fig. 1, b). Rectangular samples with dimensions of 7 × 7 × 45 mm were tested at a constant heating rate of 1 °C/min up to a maximum temperature of 1200 °C in an air atmosphere. Sample temperature was monitored using a contact temperature sensor.

Changes in linear dimensions were recorded using a high-sensitivity linear variable displacement transducer (LVDT) with a resolution of approximately 25 nm and a maximum measurement range of up to 5000 μm. The test specimen was mounted in the sample holder and placed in the heating chamber, after which the measurement program was initiated. All experimental and calculated parameters were continuously monitored and displayed in real



a b

Figure 1 – Miniflrex 600 X-ray diffractometer (a) and Netzsch DIL 402 dilatometer (b)

time during the test.

Dilatometric measurements were carried out on at least three specimens of each type of quartz material. The obtained dilatometric curves showed good reproducibility in terms of their shape and the characteristic temperature anomalies. The experimental scatter of the linear thermal expansion coefficient values in stable temperature ranges did not exceed ±5%. In the temperature region corresponding to anomalous expansion, an increased data scatter was observed, which can be attributed to the sensitivity of the material to local structural rearrangements during heating.

Research Results

Fused quartz was selected as the object of investigation. The results of the X-ray diffraction analysis are presented in the diffraction pattern shown in Fig. 2, a.

The X-ray diffraction pattern of the fused quartz is characterized by the absence of sharp Bragg reflections typical of crystalline materials. Instead, a broad diffuse halo is observed in the 2θ range of approximately 20-25°, which is a distinctive feature of the amorphous state of silicon dioxide.

This diffuse maximum arises from the presence of short-range order within the Si–O–Si network and reflects the statistical distribution of interatomic distances characteristic of an amorphous structure. The absence of well-defined diffraction peaks indicates the lack of long-range crystalline order, thereby confirming the amorphous nature of the fused quartz sample.

The elevated and smoothly varying background of the diffraction pattern suggests a high degree of phase homogeneity and the absence of crystalline inclusions within the detection limits of the method. Phase identification based on comparison with reference data from the JCPDS database confirmed that the sample consists exclusively of amorphous silicon dioxide (SiO_2).

These results demonstrate that fused silica is a highly pure amorphous material whose structural characteristics fundamentally distinguish it from crystalline quartz and account for its enhanced thermal stability under high-temperature conditions.

A crystalline quartz sample was used as the object of study. Analysis of the experimental data revealed that this material is not homogeneous. The studied sample is a heterogeneous system. The X-ray diffraction pattern (Fig. 2, b) displays several diffraction reflections. This indicates the structural heterogeneity of the quartz sand. This heterogeneity is associated with the natural origin of the material and is caused by the different orientation and size of the crystallites. The presence of minor impurity phases within the sensitivity of the X-ray phase analysis method cannot be ruled out. This structure is characteristic of natural quartz materials and can affect their physicochemical and thermal properties. The crystalline and structurally heterogeneous state of quartz sand contributes to the development of localized thermal stresses. These stresses arise during heating and cooling of the material.

Based on the X-ray diffraction results, it can be concluded that fused silica exhibits significant advantages over crystalline quartz. Its single-phase amorphous structure a uniform distribution of thermal stresses and minimizes the formation of localized stress concentrations, which are typical for crystalline materials with pronounced structural anisotropy. In contrast to crystalline quartz, the absence of long-range order and polymorphic phase transitions in fused silica leads to more predictable

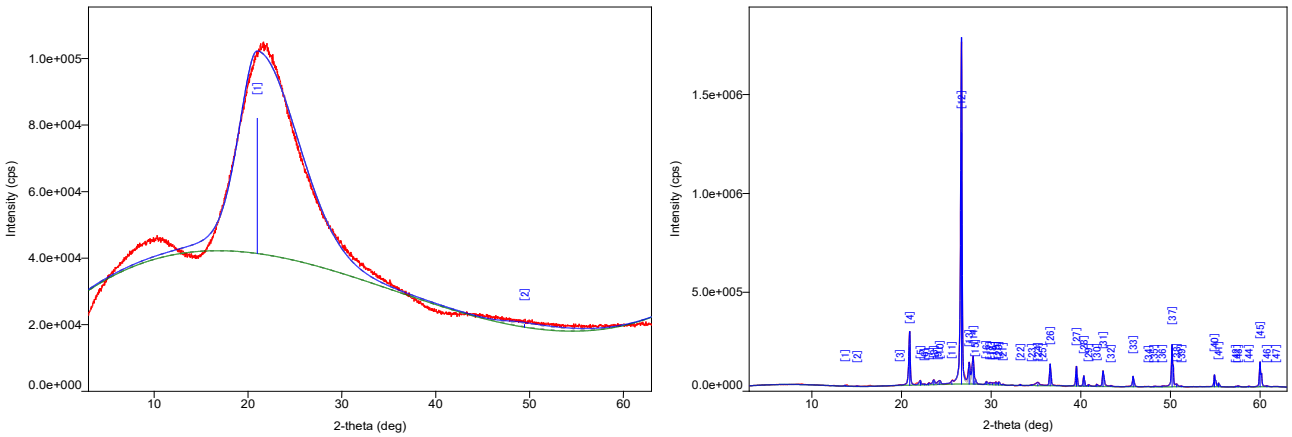


Figure 2 – X-ray diffraction patterns of fused quartz (a) and crystalline quartz (b)

and stable behavior under thermal loading.

Moreover, the high chemical and phase purity of fused silica contributes to enhanced thermal stability and preservation of its physical and mechanical properties at elevated temperatures, which is critical for its application in ceramic shell molds for precision casting.

To further evaluate the thermal behavior of fused and crystalline quartz, dilatometric analysis was employed. This method made it possible to assess the coefficient of linear thermal expansion, determine thermal stability, and identify potential phase or structural transformations occurring during heating.

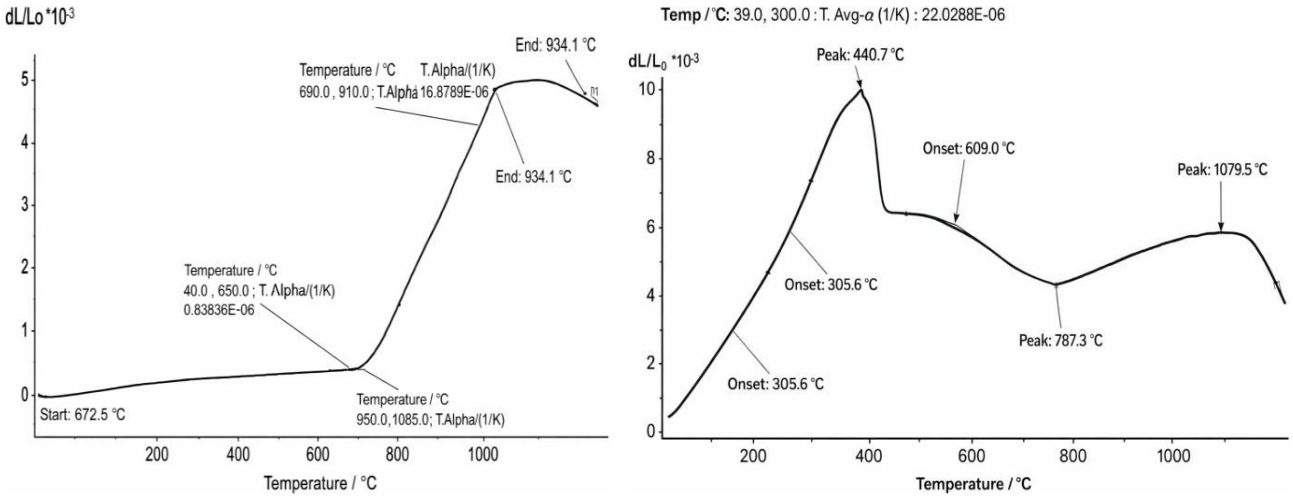
The dilatometric curve of fused silica (Fig. 3, a) exhibits three characteristic regions. Up to 650 °C, a nearly linear increase in sample length is observed, with a low coefficient of thermal expansion ($\approx 0.84\times10^{-6}$ 1/K), reflecting the stability of the amorphous structure. Upon heating above 672.5 °C, an anomaly is observed, characterized by a sharp increase in the coefficient of linear thermal expansion up to 16.9×10^{-6} K^{-1}. This behavior is likely associated with the relaxation of residual internal stresses and local rearrangements of the disordered silicon–oxygen network in amorphous SiO_2. According to literature data, in the temperature range of 650-700 °C, a redistribution of Si–O–Si bond angles and changes in short-range order within the glassy silica structure may occur, leading to a temporary increase in the coefficient of linear thermal expansion [5, 6]. In the range of 950-1085 °C, the curve stabilizes, indicating the completion of structural changes and the formation of a thermally stable state of the material. At this point, the coefficient of thermal expansion decreases to $\approx 0.87\times10^{-6}$ 1/K, confirming the high thermal stability of fused silica.

The obtained dilatometry data are in good agreement with the results of X-ray phase analysis, confirming the amorphous structure of fused quartz and the absence of polymorphic phase transformations in the studied temperature range.

The dilatometric curve of crystalline quartz (Fig. 3, b) demonstrates a pronounced non-linear thermal expansion behavior. The presence of several distinct inflection points and peaks on the curve indicates the occurrence of phase transformations during heating. In the low-temperature region, prior to the onset of intensive phase transitions, the thermal expansion behavior can be considered quasi-linear. For this region, the calculated coefficient of linear thermal expansion amounts to 22.0288×10^{-6} K^{-1}, confirming the high thermal expansivity of crystalline quartz.

Several characteristic temperature intervals associated with anomalous expansion behavior are observed and form the basis for interpreting the phase transformations occurring in the material. The first anomaly begins at approximately 305.6 °C and reaches a maximum at 787.3 °C, the second anomaly has an onset at 609.0 °C with a peak at 1079.5 °C, and an additional distinct peak is observed at 440.7 °C. The presence of these anomalies clearly indicates polymorphic phase transformations of crystalline quartz during heating, which are accompanied by abrupt changes in lattice structure and volume.

As can be seen from Table, the coefficient of linear thermal expansion of crystalline quartz exceeds that of fused quartz by more than an order of magnitude in stable temperature intervals. The pronounced differences in the thermal behavior of the materials are primarily attributed to differences in their struc-



a b

Figure 3 – Relative thermal expansion curves (dL/Lo) of fused quartz (a) and crystalline quartz (b) samples

Quantitative comparison of the coefficients of linear thermal expansion of fused and crystalline quartz

Material	Temperature range, °C	CLTE, $\times 10^{-6}$ K^{-1}	Behavior
Fused quartz	20-650	0.84	Stable linear expansion
Fused quartz	650-700	up to 16.9	Expansion anomaly
Fused quartz	950-1085	0.87	Thermally stable state
Crystalline quartz	before phase transformations	22.0	High thermal expansivity
Crystalline quartz	phase transformation regions	–	Abrupt expansion jumps

tural state and to the presence of polymorphic phase transformations in crystalline quartz.

Crystalline materials, such as quartz, possess a long-range ordered atomic structure. Upon heating, the amplitude of atomic vibrations around their equilibrium lattice positions increases, resulting in macroscopic thermal expansion. The relatively high coefficient of linear thermal expansion (CLTE) of crystalline quartz is primarily associated with the characteristics of its hexagonal crystal lattice and its pronounced structural anisotropy.

For comparison, the CLTE of amorphous fused quartz is approximately 0.8×10^{-6} K^{-1}. This value is more than 27 times lower than that of crystalline quartz, which is a direct consequence of the absence of long-range order in the amorphous structure. Such structural disorder significantly reduces the material's sensitivity to thermal fluctuations and ensures exceptional thermal stability over a wide temperature range.

The low CLTE of fused quartz minimizes the development of thermal stresses and substantially reduces the risk of crack formation in ceramic shell molds during drying and high-temperature calcination. This factor is particularly critical in the investment casting of quasi-high-entropy alloys, which are highly sensitive to cooling conditions and thermal gradients.

The dilatometric results obtained have direct practical significance for the technology of die casting. Anomalies in the thermal expansion of quartz filler during piercing of shell molds can lead to additional thermal stresses in the ceramic shell. In the case of crystalline quartz, abrupt volume changes during phase transformations increase the risk of cracks, shell delaminations, and surface defects in castings. The use of fused quartz with a more stable thermal behavior reduces the likelihood of defect formation and provides more reliable forming conditions when casting a QHEAs.

Conclusion

Fused quartz, characterized by its amorphous structure and high phase purity, exhibits its superior thermal stability, a very low coefficient of linear thermal expansion, and minimal internal stress generation upon heating. The absence of long-range crystalline order and polymorphic phase transformations ensures the preservation of structural homogeneity across a broad temperature range. Owing to these properties, fused quartz represents a highly promising refractory material for the manufacture of ceramic shells in investment casting technologies, including those used for producing castings from quasi-high-entropy alloys.

This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan under grant BR24993020: «Development and implementation of technology for manufacture of complex alloyed steels with homogeneous structure due to synergistic effects on the melt».

REFERENCES

1. Kvon, S.; Issagulov, A.; Kulikov, V.; Arinova, S. The use of ferroalloys for the smelting of a quasi-high-entropy alloy. CIS Iron and Steel Review, Moscow: Publishing House «Ore and Metals», Vol. 26, No. 2 (2024), pp. 21-25. https://doi.org/10.17580/cisisr.2024.02.04
2. Kvon, S.; Issagulov, A.; Kulikov, V.; Arinova, S. Investigation of the properties of the CoCrFeMnNi alloy developed on the basis of the entropy approach. Metalurgija, Vol. 63, No. 3-4 (2024), pp. 366-368. ISSN 0543-5846. https://hrcak.srce.hr/file/456140
3. Kvon, S.S.; Shcherbakova, E.P.; Issagulov, A.Z.; Ibatov, M.K.; Kulikov, V.Yu.; Arinova, S.K. Investigation of technological properties of suspension for shell preparation by investment casting method. University Proceedings, 2020, No. 2, pp. 23-27. ISSN 1609-1825
4. Bogdanov, M.G. Influence of technological factors on shell strength in investment casting. Foundry Production, 1958, No. 9, pp. 18-20.
5. Teplovoe rasshirenie, plavkost, polimorfnye prevrashcheniya mineralov [Thermal expansion, fusibility, polymorphic transformations of minerals]. Vse o gornom dele. https://industry-portal24.ru/gornorazvedochnye-raboty/1292-teplovoe-rasshirenie-plavkostpolimorfnye-prevrascheniya-mineralov.html
6. Dyshekova, A.Kh.; Karmokov, A.M. Structural changes during polymorphic α-β phase transitions in quartz. Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo centra RAN, 2017, No. 5, pp. 9-13.
7. Bazhenov, V.E.; Kovyschkina, E.P.; Sannikov, A.V.; Koltygin, A.V.; Ten, D.V.; Rizhskiy, A.A.; Belov, V.D.; Lazarev, E.A. Analysis of suspension and ceramic properties for investment casting obtained with domestic water-based binders. Izvestiya VUZ. Tsvetnaya Metallurgiya, 2023, Vol. 29, No. 2, pp. 15-28.
8. Maksyutina, L.G.; Shilov, A.V.; Zvezdin, V.L.; Koryakovtsev, A.S. Investment Casting of Aviation and Space Castings: Textbook. Perm: Perm State Technical University, 2005. 140 p.
9. Hubbard, C.R.; Evans, E.H.; Smith, D.K. The Reference Intensity Ratio for Computer Simulated Powder Patterns. J. Appl. Cryst., 1976, Vol. 9, pp. 169-174.
10. Nekrasov, S.A. Peculiarities of the stress-strain state of shell molds in investment casting during preparation and pouring: PhD Thesis in Technical Sciences: 05.16.04. Komsomolsk-on-Amur, 2003. 202 p.

Балқытылған және кристалды кварцтың қыздыру кезіндегі әрекетін салыстырмалы талдау

[1]ИСАГУЛОВ Аристотель Зейнуллинович, *т.ғ.д., профессор, a.issagulov@ktu.edu.kz,*
[1]КВОН Светлана Сергеевна, *т.ғ.к., профессор, s.kvon@ktu.edu.kz,*
[1]*АБИЛЬДИНА Айжан Рымқұлқызы, *докторант, a.abildina@ktu.edu.kz,*
[2]ОКИШЕВ Константин Юрьевич, *ф.-м.ғ.д., профессор, konstantin.okishev@urfu.ru,*

[1]Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
[2]Ресей Федерациясының бірінші президенті Б.Н. Ельцин атындағы Орал федералды университеті, Екатеринбург, Ресей,
*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Fe-Mn-Co-Ni-Cr-Nb-Mo жүйесінің квазижоғарыэнтропиялық қорытпаларын (КЖЭҚ) құю кезінде қолданылатын керамикалық қабықтар үшін балқытылған және кристалдық кварцтың термиялық және құрылымдық қасиеттері зерттелді. Фазалық құрам рентгенфазалық талдау әдісімен анықталды, ал термиялық кеңею дилатометриялық тәсілмен өлшенді. Балқытылған кварц аморфты монофазалы құрылымға, жоғары фазалық және химиялық тазалыққа ие және төмен сызықты термиялық кеңею коэффициентімен сипатталады. Бұл қасиеттер қыздырғанда керамикалық қабықтардың өлшем тұрақтылығын қамтамасыз етіп, олардың термиялық төзімділігін арттырады. Кристалдық кварц полиморфтық өзгерістерге ұшырап, жылдам кеңейеді және ішкі кернеулер туғызады, бұл микрожарықтардың пайда болу қаупін арттырады. Салыстырмалы талдау балқытылған кварцтың шегерілетін модельдер бойынша құю технологияларында артықшылығын көрсетеді, ақаулардың пайда болуын азайтып, КЖЭҚ қорытпаларының құймалары үшін қабықтардың сенімділігін арттырады.

Кілт сөздер: балқытылған кварц, кристалдық кварц, дилатометриялық талдау, рентгенфазалық талдау, квазижоғары-энтропиялық қорытпалар, шегерілетін модельдер бойынша құю, керамикалық қабық.

Сравнительный анализ поведения плавленого и кристаллического кварца при нагреве

[1]ИСАГУЛОВ Аристотель Зейнуллинович, д.т.н., профессор, a.issagulov@ktu.edu.kz,
[1]КВОН Светлана Сергеевна, к.т.н., профессор, s.kvon@ktu.edu.kz,
[1]*АБИЛЬДИНА Айжан Рымкулкызы, докторант, a.abildina@ktu.edu.kz,
[2]ОКИШЕВ Константин Юрьевич, д.ф.-м.н., профессор, konstantin.okishev@urfu.ru,
[1]Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
[2]Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия,
*автор-корреспондент.

Аннотация. Исследованы термические и структурные свойства плавленого и кристаллического кварца для применения в керамических оболочках при литье квазивысокоэнтропийных сплавов (КВЭС) системы Fe-Mn-Co-Ni-Cr-Nb-Mo. Фазовый состав определялся методом рентгенофазового анализа, термическое расширение – дилатометрическим методом. Плавленый кварц обладает аморфной монофазной структурой, высокой фазовой и химической чистотой и низким коэффициентом линейного термического расширения, что обеспечивает стабильность размеров и высокую термостойкость керамических оболочек при нагреве. Кристаллический кварц демонстрирует полиморфные превращения, резкое расширение и внутренние напряжения, повышающие риск микротрещин. Сравнительный анализ подтверждает преимущество плавленого кварца для ЛВМ-технологий, снижая дефектообразование и повышая надёжность оболочек при изготовлении отливок из КВЭС.

Ключевые слова: плавленый кварц, кристаллический кварц, дилатометрия, рентгенофазовый анализ, квазивысокоэнтропийные сплавы, литье по выплавляемым моделям, оболочка.

REFERENCES

1. Kvon, S.; Issagulov, A.; Kulikov, V.; Arinova, S. The use of ferroalloys for the smelting of a quasi-high-entropy alloy. CIS Iron and Steel Review, Moscow: Publishing House «Ore and Metals», Vol. 26, No. 2 (2024), pp. 21-25. https://doi.org/10.17580/cisisr.2024.02.04
2. Kvon, S.; Issagulov, A.; Kulikov, V.; Arinova, S. Investigation of the properties of the CoCrFeMnNi alloy developed on the basis of the entropy approach. Metalurgija, Vol. 63, No. 3-4 (2024), pp. 366-368. ISSN 0543-5846. https://hrcak.srce.hr/file/456140
3. Kvon, S.S.; Shcherbakova, E.P.; Issagulov, A.Z.; Ibatov, M.K.; Kulikov, V.Yu.; Arinova, S.K. Investigation of technological properties of suspension for shell preparation by investment casting method. University Proceedings, 2020, No. 2, pp. 23-27. ISSN 1609-1825
4. Bogdanov, M.G. Influence of technological factors on shell strength in investment casting. Foundry Production, 1958, No. 9, pp. 18-20.
5. Teplovoe rasshirenie, plavkost, polimorfnye prevrashcheniya mineralov [Thermal expansion, fusibility, polymorphic transformations of minerals]. Vse o gornom dele. https://industry-portal24.ru/gornorazvedochnye-raboty/1292-teplovoe-rasshirenie-plavkostpolimorfnye-prevrascheniya-mineralov.html
6. Dyshekova, A.Kh.; Karmokov, A.M. Structural changes during polymorphic α-β phase transitions in quartz. Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo centra RAN, 2017, No. 5, pp. 9-13.
7. Bazhenov, V.E.; Kovyschkina, E.P.; Sannikov, A.V.; Koltygin, A.V.; Ten, D.V.; Rizhskiy, A.A.; Belov, V.D.; Lazarev, E.A. Analysis of suspension and ceramic properties for investment casting obtained with domestic water-based binders. Izvestiya VUZ. Tsvetnaya Metallurgiya, 2023, Vol. 29, No. 2, pp. 15-28.
8. Maksyutina, L.G.; Shilov, A.V.; Zvezdin, V.L.; Koryakovtsev, A.S. Investment Casting of Aviation and Space Castings: Textbook. Perm: Perm State Technical University, 2005. 140 p.
9. Hubbard, C.R.; Evans, E.H.; Smith, D.K. The Reference Intensity Ratio for Computer Simulated Powder Patterns. J. Appl. Cryst., 1976, Vol. 9, pp. 169-174.
10. Nekrasov, S.A. Peculiarities of the stress-strain state of shell molds in investment casting during preparation and pouring: PhD Thesis in Technical Sciences: 05.16.04. Komsomolsk-on-Amur, 2003. 202 p.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_51 UDC 622.232

Analysis of the Main Technical and Economic Indicators of Hydraulic Rock Drills for Drilling Hard Rocks in Relation to the Mining Industry of Kazakhstan

[1]KYZYROV Kairulla, *Cand. of Tech. Sc., Professor, kyzyrovkairulla@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-6868-3643,*
[1]*RESHETNIKOVA Olga, *PhD, Associate Professor, olga.reshetnikova.80@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-6965-4569,*
[1]ASHIMBAYEV Damir, *Doctoral Student, ashimbaev.damir@yandex.kz, https://orcid.org/0009-0009-3946-6434,*
[2]KIM Vladislav, *Director of Service Department, kim.vladislav@kaztechpro.com, https://orcid.org/0009-0003-2175-926X,*
[3]LAGUNOVA Yulia, *Doct. of Tech. Sc., Professor, yu.lagunova@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3828-434X,*
[1]Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
[2]«KazTechPro» LLP, Karaganda, Kazakhstan,
[3]Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia,
**corresponding author.*

Abstract. *This article provides an overview of hydraulic rock drill models based on an analysis of their technical characteristics, applications, service life, cost, and other characteristics. To evaluate the technical and economic indicators, leading manufacturers of hydraulic rock drills were selected: Epiroc, Sandvik, Doofor, Montabert, Furukawa, Woserld, Everdigm, Klemm, most of which have representative offices in Kazakhstan. For comparison, the energy parameters of hydraulic rock drills are selected, including impact energy and frequency, power, pressure and fluid flow rate, application area, and cost. The advantages and disadvantages of hydraulic rock drills which offered by manufacturers are discussed. Special attention is given to hydraulic rock drills from Chinese manufacturers currently available on the market. Recommendations for selecting hydraulic rock drills are also provided.*

Keywords: *hydraulic rock drill, underground drilling, impact energy, impact frequency, power.*

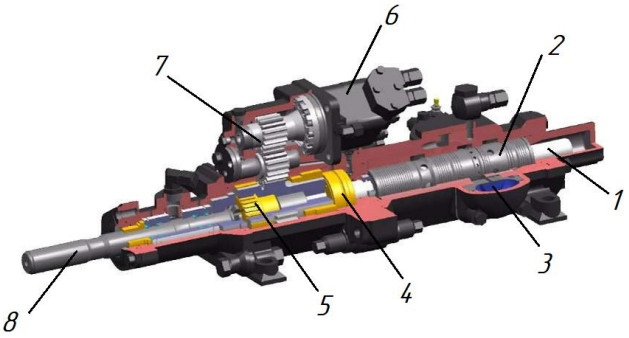
Introduction

One of the important tasks for ensuring the efficient operation of mining equipment in the technological cycle of a mining enterprise is justification for the choice of technological equipment in accordance with the mining and geological conditions of the deposit, the compatibility of the equipment, and the types of mining operations being performed. This also applies to the correct choice of hydraulic rock drills designed for drilling blastholes and boreholes in rock with a hardness of f=6÷20 on the Protodyakonov scale, which will improve efficiency and minimize downtime of the drilling machine that is the main element of the technological complex. The analysis presented in this article aims to identify current trends in the production of hydraulic rock drills, their technical characteristics, and to assess the advantages and disadvantages of existing designs in order to develop recommendations for equipment choice.

Object of study

A hydraulic rock drill generally includes the following components and assemblies (Figure 1) [1]:

- the striking mechanism, with movable piston-striker which strikes the shank;
- a valve used to control the movement and position of the piston-striker;
- pressure and drain hydraulic-pneumatic accumulators for smoothing out pressure fluctuations in the working fluid;
- a damper device designed to protect the



1 – piston-striker; 2 – sleeve; 3 – hydropneumatic accumulator; 4 – damping device; 5 – rotation clutch (driver); 6 – hydraulic motor; 7 – gear transmission (reducer); 8 – shank

Figure 1 – Hydraulic rock drill device

components and assemblies of the drilling rig from vibration;

- a shank that absorbs and transmits impact pulses and torque to the drilling string;

- a rotary head designed to transmit torque to the shank.

Based on their control mechanism, hydraulic rock drills are classified into hydraulic impact mechanisms (HIM) with forced and automatic control systems. In mechanisms with a forced system, the spool valve has an independent drive (usually from a hydraulic motor) and provides the rock's energy-frequency control. These HIMs include hydraulic rock drills with a rotating spool (Figure 2) [1,2].

Impact mechanisms with an automatic control system are distinguished by the presence of position feedback, i.e. the switching of the control element is determined by the movement of the piston-striker PS [1, 2].

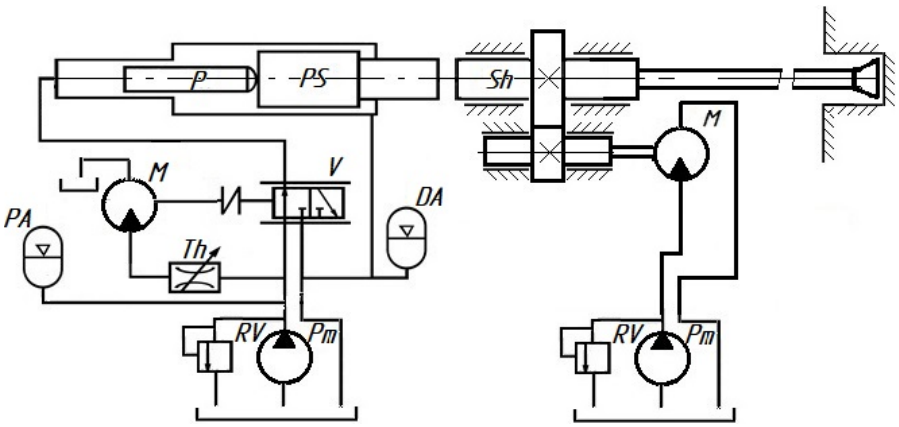
Automatic control systems are the most common design for hydraulic control units, where the principle of automatic fluid distribution can be implemented in both valve-operated and valveless mechanisms. In the first case, the control function is performed by a special component – a valve (spool); in the second, by the piston-striker itself. In both cases, the piston-striker performs an additional function – that of a spool valve, which is why some sources refer to the term «piston-striker-spool» (PSS) (Figure 3) [1, 2].

Research methodology

The following leading manufacturers of hydraulic rock drills were selected for the technical and economic analysis: Epiroc (Atlas Copco) (COP series), Sandvik (HL/HLX/RD series), Doofor (DF series), Montabert (HC series), Furukawa (HD/FRD series), Woserld (A series), Everdigm (ECD series), and Klemm (KD/KR series), although there are quite a few companies that manufacture and sell such equipment, and it is not possible to cover them all. Ten models from each manufacturer were selected for evaluation within the impact energy range of A=180÷1200 J; these models are designed for drilling boreholes with diameters of 45÷127 mm in rock with a strength of f=6÷20 on Prof. M.M. Protodyakonov's scale. The following parameters were also taken into account: power (N=8÷45 kW), impact frequency (n=35÷100 Hz), working fluid flow rate (Q=35÷165 l/min) and working pressure (P=12÷40 MPa). The information was collected from manufacturers' technical catalogs and data sheets, patent databases, and scientific publications, and is presented graphically in Figure 4.

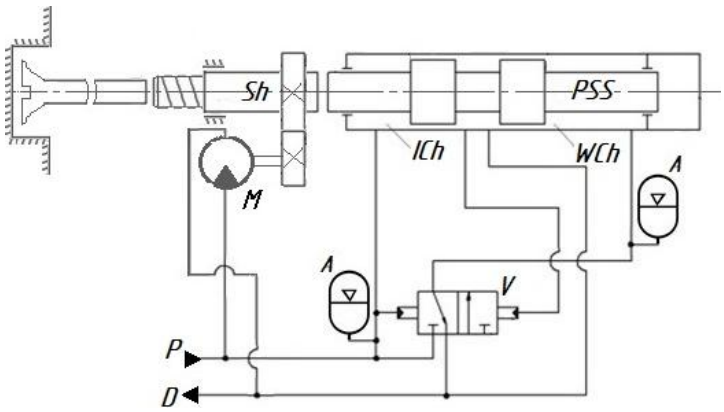
Results and Discussion

Figure 4,a shows the impact energy values of manufactured hydraulic rock drills. As can



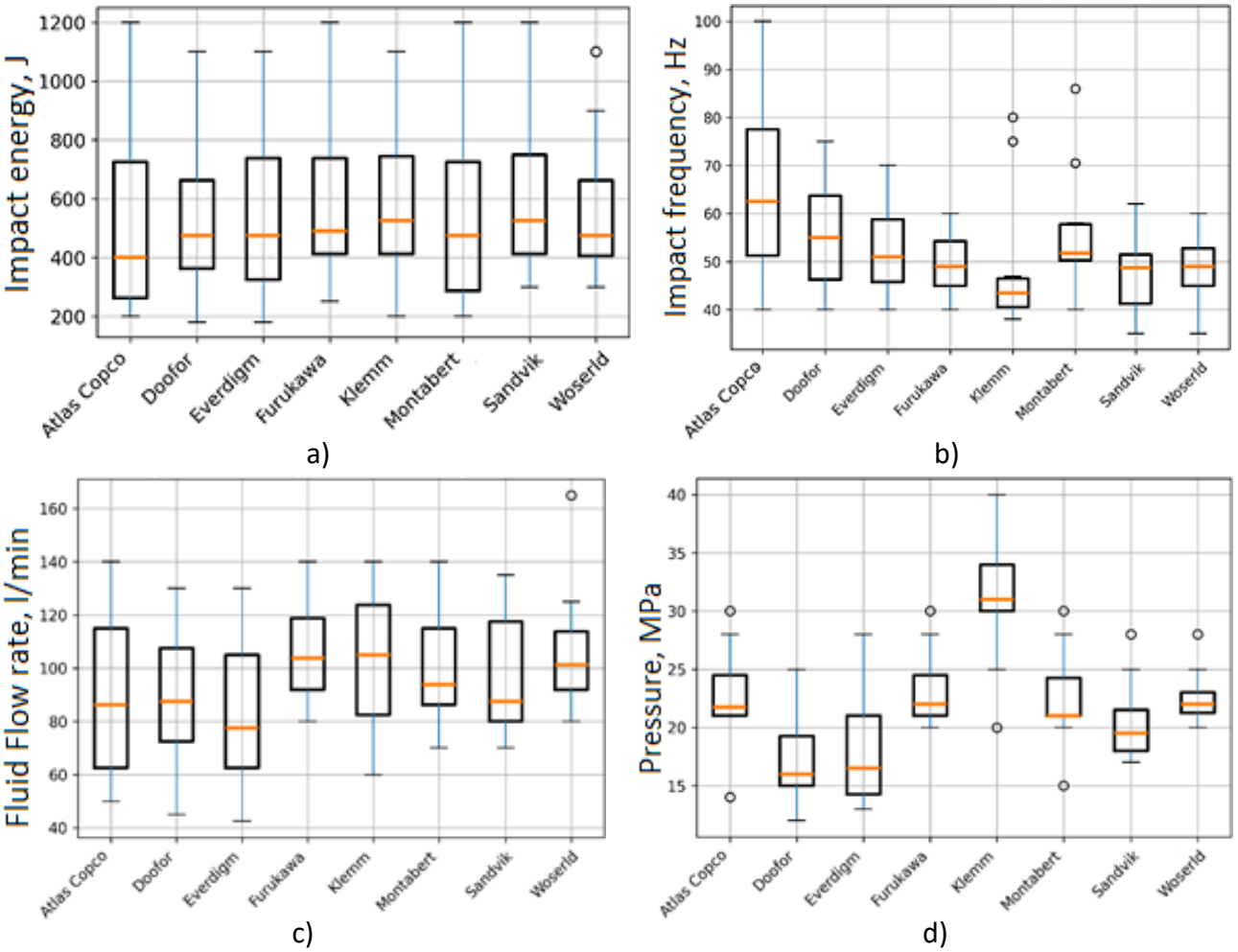
P – piston; PS – piston-striker; Sh – shank; PA, DA – hydraulic-pneumatic accumulators in the pressure and drain lines; V – spool valve; M – hydraulic motor; Th – throttle; Pm – pump; RV – relief valve

Figure 2 – Schematic diagram of a hydraulic rock drill with an independent control system



PSS – piston-striker-spool valve; V – spool valve; A – hydropneumatic accumulator; M – hydraulic motor; Sh – shank; WCh – working chamber; ICh – idle chamber; P – pressure line; D – drain line

Figure 3 – Schematic diagram of a hydraulic rock drill with an automatic control system



a) impact energy; b) impact frequency; c) fluid flow rate; d) supply pressure

Figure 4 – Distribution of energy performance metrics by manufacturers

be seen from the diagram, all manufacturers have mastered the production of impact mechanisms with energy in the range of 300 to 650 J. The leaders with the highest impact energy of 1200 J are the COP 5060CR (Epiroc), RD925 (Sandvik), HC200 (Montabert), HD1800 (Furu-

kawa). The Chinese manufacturer Woserld offers equipment with the lowest energy range, from 400 to 800 J.

The impact frequencies of hydraulic rock drills are shown in Figure 4,b. It is noticeable that all manufacturers produce hydraulic rock drills with impact frequencies ranging from 40 to 60 Hz. Epiroc offers a wider range of hydraulic rock drills with frequencies ranging from 40 to 100 Hz. Klemm mainly offers models with frequencies ranging from 38 to 47 Hz, but there are also higher-frequency models, the KD407 and KD308. Montabert also has two high-frequency models, the HC55 (86 Hz) and HC110 (70.5 Hz).

The diagram showing fluid flow rates is presented in Figure 4,c. The widest range of flow rates is found in Epiroc hydraulic rock drills (30÷140 l/min), Doofor (45÷130 l/min), and Everdigm (42÷130 l/min). Furukawa and Woserld hydraulic rock drills have the smallest fluid flow rate ranges – 80÷140 l/min and 80÷125 l/min respectively.

The maximum fluid flow rate of hydraulic rock drills from most of manufacturers reaches 130÷140 l/min.

The operating pressure of hydraulic rock drills averages 15÷25 MPa (Figure 4,d). Only the technical specifications for the COP 5060CR (Epiroc), HD1800 (Furukawa), and HC200 (Montabert) models indicate a pressure of 30÷32 MPa. Klemm hydraulic breakers have the highest pressure ratings, up to 40 MPa (model KR806-4GM).

Figure 5 shows data on the power and impact energy of hydraulic rock drills. The dots of different colors indicate the available models of hydraulic rock drills with corresponding specifications in each manufacturer's product line. Thus, the most powerful model is the COP 5060CR hydraulic rock drill (Epiroc) – 50 kW. Hydraulic breakers with the lowest power, up to 10 kW, are offered by Klemm (model KD308) and Montabert (model HC28). Most manufacturers have mastered the production of hydraulic rock drills with power up to 45 kW, except for Doofor and Woserld, which produce models up to 35 kW.

The analysis shows that Epiroc, Sandvik, and Montabert lead the market in terms of power and versatility for hard rock, while Doofor, Furukawa, Woserld, and Everdigm lead in terms of value and mid-range performance. Klemm hydraulic rock drills are designed for precision, high-tech drilling and specific types of mining operations.

As for individual manufacturers, the following points are important:

1. Atlas Copco (Sweden, part of Epiroc since 2018). It is one of the leading manufacturers of hydraulic rock drills, with a focus on high impact energy and reliability. Hydraulic rock drills are ideal for underground drilling of boreholes/wells, long boreholes in hard rock (f=12÷20) in ore mines, and large-diameter tunnels. They are suitable for jumbo rigs (Boomer series). Advantages: high efficiency (efficiency >80%) and reliability, low vibration, global service. Disadvantages: high price (80÷150 thousand dollars), high fluid consumption in heavy-duty models (up to 140 l/min). Recommended for projects where productivity is more important

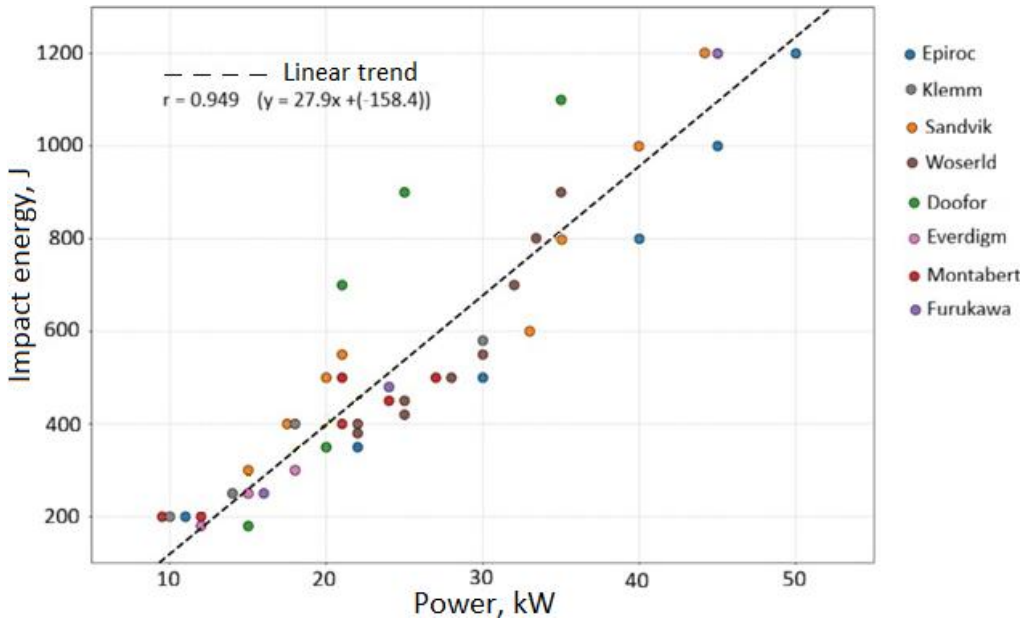


Figure 5 – Distribution of impact energy by power output by manufacturers

than budget [3].

2. Sandvik (Finland/Sweden). A competitor to Epiroc. The HL/RD series hydraulic rock drills are characterized by high energy output and automation. They are used for underground drilling in very hard rock (f>15÷20) and for drilling long holes (up to 40 m). Suitable for installation on DT/DD jumbos. Advantages: excellent adaptability (operates in soft/hard rock), intelligent control system (real-time monitoring), high efficiency (75÷85% efficiency). Disadvantages: relatively low frequency in heavy models (35÷40 Hz), which reduces drilling speed in soft rock. Average price (60÷120 thousand dollars) [4].

3. Doofor (Finland). The DF series hydraulic rock drills are compact and economical. They are used for drilling medium-strength rock (f=6÷14) in narrow adits and tunnels, as well as for anchor installation. They are suitable for small jumbos. Advantages: compact size, low flow rate (45÷130 l/min), affordable price (30÷60 thousand dollars). Disadvantages: lower power and less automation compared to Sandvik; efficiency is 70÷80%. Recommended for budget projects in confined spaces [5].

4. Montabert (France). The HC series hydraulic rock drills are characterized by high reliability, durability, and low wear. They are used for underground drilling in hard rock (f=10÷18) and secondary crushing. They are ideal for use in tunnel jumbos. Advantages: compact size for use in narrow workings; reliable protection against dust and moisture thanks to a special seal design; automatic controls. Disadvantages: high price (70÷130 thousand dollars). Efficiency exceeds 80%. Suitable for long-term projects with high humidity or contamination [6].

5. Furukawa (Japan). The HD/FRD series hydraulic rock drills are known for their reliability and high-quality construction. They are used for underground drilling in hard rock (f=12÷18) and for drilling long holes (up to 30 m). Advantages: durability, low noise and vibration. Disadvantages: low frequency of heavy hydraulic rock drills (40 Hz), high flow rate of up to 140 l/min. Efficiency is 75÷80%, price is 60÷110 thousand dollars [7].

6. Woserld (China). The A/S series hydraulic rock drills are structurally similar to their European counterparts. They are used for underground drilling in rock with a strength of f=6÷14. Advantages: low price (30÷70 thousand dollars), ease of maintenance. Disadvantages: low efficiency (~65÷75%), increased wear in hard rock, lower automation [8].

7. Everdigm (South Korea). The ECD/ECP series hydraulic rock drills are similar to Furukawa models. They are used for underground drilling in medium-strength rock (f=8÷15) and for secondary crushing. Advantages: good price-to-quality ratio (40÷80 thousand dollars), low fluid consumption. Disadvantages include low impact energy compared to Sandvik and average reliability under severe conditions. Efficiency is ~70÷80% [9].

8. Klemm (Germany). The KD/KR series of hydraulic rock drills are used for precise, high-tech drilling using electro-hydraulic systems in tunnel construction. Advantages: high pressure (up to 40 MPa), low vibration. Disadvantages: high price (70÷120 thousand dollars). Efficiency is ~75÷80% [10].

As for hydraulic rock drills from Chinese manufacturers, it is worth noting their gradual and steady expansion into the international market. In terms of reliability and manufacturing quality, Chinese equipment falls short of Sandvik, Epiroc, Montabert, and Furukawa, but it costs two to three times less, which is sometimes the deciding factor when making a choice. The most powerful hydraulic rock drills, the Woserld S33L and Huatai RC3000, with an impact energy of ~1000÷1200 J, already reach a power output of 33 kW. Among the Chinese models available on the market, the impact frequency is lower, especially at high impact energy levels (30÷65 Hz versus 35÷70 Hz for western manufacturers). Purchasing hydraulic rock drills from leading manufacturers such as Sandvik, Epiroc, Montabert, and others is more cost-effective in the long run, as these companies operate service centers for the maintenance and repair of impact mechanisms, complete with spare parts and repair kits – a critical factor in minimizing downtime for mining equipment on the job site.

An analysis of the most sought-after and frequently purchased models of hydraulic rock drills for underground drilling at mining enterprises in Kazakhstan has shown that preference is given to leading foreign manufacturers such as Sandvik, Epiroc, Montabert, and Furukawa. In the cities of Almaty, Karaganda and Astana, there are representative offices of Sandvik and Epiroc, which provide not only sales but also after-sales service. Chinese-made hydraulic rock drills are also available on the Kazakhstani market (Table).

Conclusions

An analysis of the technical and economic performance of hydraulic rock drills shows that Epiroc and Sandvik are leaders in design, implementation of new technologies, new construction materials, high quality and reliability, and the implementation of intelligent control systems. Despite the high cost of equipment and expensive maintenance, mining companies in Kazakhstan primarily use hydraulic drills from these manufacturers.

When selecting a hydraulic rock drill, it is

Models of hydraulic rock drills in use at companies in Kazakhstan

Manufacturer and market share in Kazakhstan	Popular models	Estimated cost excluding VAT, in million tenge
1. Sandvik (~30%)	HL820ST (21 kW, 550 J) HL1560ST (33 kW, 600 J) RD925 (45 kW, 1200 J)	From 40 to 100
2. Epiroc / Atlas Copco (~25÷30%)	COP 1838 (18 kW, 300 J) COP MD20 (45 kW, 1000 J) COP 5060CR (50 kW, 1200 J)	From 45 to 130
3. Montabert (~10÷15%)	HC95LM (21 kW, 500 J) HC160RP (40 kW, 1000 J) HC200 (45 kW, 1200 J)	From 50 to 110
4. Furukawa (~5÷10%)	HD900 (25 kW, 500 J) HD1800 (45 kW, 1200 J)	From 40 to 70
5. Doofor (~5%)	DF560L (20 kW, 400 J) DF1200H (35 kW, 1100 J)	From 25 to 50
6. Chinese (XCMG, Woserld, etc.) (15÷20%, with an upward trend)	Woserld A30 (30 kW, 550 J) XCMG equivalent (30-40 kW, 500-800 J)	From 15 to 40

important to consider its performance characteristics – impact energy and frequency – as well as the nature and duration of the work to be performed. An important factor is the hardness of the rock, which determines the power of the equipment to be selected. Additionally, the economic aspect – the optimal balance between price and quality – should be taken into account. This systematic approach will help justify the choice of the most effective hydraulic rock drill model for specific operating conditions.

REFERENCES

1. Mitusov A.A. Two-stroke hydraulic piston engines: Fundamentals of theory and calculation. St. Petersburg: SPbSTU, 2013. – 392 p.
2. Mitusov A.A., Kyzyrov K.B., Reshetnikova O.S. Justification of the parameters of the two-cascade fluid distribution system of a hydraulic rock. Mining magazine. – M.: PH «Ore and metals». – 2019. – No. 8. – Pp. 73-76.
3. Morton J. Underground drilling advances improve productivity, safety while cutting costs // Engineering and Mining Journal. – 2018. – T. 219. – № 1. – C. 40-44.
4. https://www.mining.sandvik/globalassets/products/rock-drills/pdf/hl710s-specification-sheet-english.pdf
5. Fiscor S. Nordic Suppliers Make Smarter Machines // Engineering and Mining Journal. – 2017. – T. 218. – No. 10. – Pp. 42-47.
6. https://machinary.ru/product/gidravlicheskij-rock drill-montaberthc5lm/
7. https://www.rackersequipment.com/frd-furukawa-rock-drill/
8. https://community.b-china.cn/en/product/info/7894
9. https://vks-llc.ru/index.php/katalog-oborudovaniya/105-gidrorock%20drilly-i-zapasnye-chasti/gidrorock%20drilly/gidrorock%20drill-everdigm
10. https://www.klemm.de/en/products-1/hydraulic-drifters/kd-511/

Қазақстанның тау-кен өндіру өнеркәсібіне қатысты күшті жыныстарды бұрғылауға арналған гидроперфораторлардың негізгі техникалық-экономикалық көрсеткіштерін талдау

*[1]**КЫЗЫРОВ Кайрулла Бейсенбаевич,** т.ғ.к., профессор, kyzyrovkairulla@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-6868-3643,*
*[1]***РЕШЕТНИКОВА Ольга Стасисовна,** PhD, қауымдастырылған профессор, olga.reshetnikova.80@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-6965-4569,*
*[1]**АШИМБАЕВ Дамир Асетұлы,** докторант, ashimbaev.damir@yandex.kz, https://orcid.org/0009-0009-3946-6434,*
*[2]**КИМ Владислав Николаевич,** қызмет көрсету департаментінің директоры, kim.vladislav@kaztechpro.com, https://orcid.org/0009-0003-2175-926X,*
*[3]**ЛАГУНОВА Юлия Андреевна,** т.ғ.д., профессор, yu.lagunova@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3828-434X,*
[1]Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
[2]«KazTechPro» ЖШС, Қарағанды, Қазақстан,
[3]Орал мемлекеттік тау-кен университеті, Екатеринбург, Ресей,
**автор-корреспондент.*

***Аңдатпа.** Гидравликалық перфораторлардың модельдеріне олардың техникалық сипаттамаларын, қолдану саласын, қызмет ету мерзімін, құнын және т.б. талдау негізінде шолу жасалды. Техникалық-экономикалық көрсеткіштерді бағалау үшін жетекші гидроперфоратор өндірушілері таңдалды: Epiroc, Sandvik, Doofor, Montabert, Furukawa, Woserld, Everdigm, Klemm, олардың көпшілігінің Қазақстанда өкілдіктері бар. Салыстыру үшін гидроперфораторлардың энергетикалық көрсеткіштері таңдалды: энергия және соққы жиілігі, қуат, қысым және сұйықтық ағыны, қолдану аясы, құны. Өндірушілер ұсынатын гидравликалық соққы механизмдерінің артықшылықтары мен кемшіліктері келтірілген. Нарықта ұсынылған Қытай өндірушілерінің гидроперфораторларына ерекше назар аударылады. Гидроперфораторларды таңдау бойынша ұсыныстар берілді.*

***Кілт сөздер:** гидравликалық балға, жер асты бұрғылау, соққы энергиясы, соққы жиілігі, қуат.*

Анализ основных технико-экономических показателей гидроперфораторов для бурения крепких пород применительно к горнодобывающей промышленности Казахстана

*[1]**КЫЗЫРОВ Кайрулла Бейсенбаевич,** к.т.н., профессор, kyzyrovkairulla@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-6868-3643,*
*[1]***РЕШЕТНИКОВА Ольга Стасисовна,** PhD, ассоциированный профессор, olga.reshetnikova.80@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-6965-4569,*
*[1]**АШИМБАЕВ Дамир Асетұлы,** докторант, ashimbaev.damir@yandex.kz, https://orcid.org/0009-0009-3946-6434,*
*[2]**КИМ Владислав Николаевич,** директор сервисной службы, kim.vladislav@kaztechpro.com, https://orcid.org/0009-0003-2175-926X,*
*[3]**ЛАГУНОВА Юлия Андреевна,** д.т.н., профессор, yu.lagunova@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3828-434X,*
[1]Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
[2]ТОО «KazTechPro», Караганда, Казахстан,
[3]Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия,
**автор-корреспондент.*

***Аннотация.** Приведен обзор моделей гидравлических перфораторов на основе анализа их технических характеристик, области применения, срока службы, стоимости и др. Для оценки технико-экономических показателей выбраны ведущие производители гидроперфораторов: Epiroc, Sandvik, Doofor, Montabert, Furukawa, Woserld, Everdigm, Klemm, большинство из которых имеют представительства в Казахстане. Для сравнения выбраны энергетические показатели гидроперфораторов – энергия и частота ударов, мощность,*

давление и расход жидкости, область применения, стоимость. Приведены достоинства и недостатки предлагаемых производителями гидравлических ударных механизмов. Отдельное внимание уделено представленным на рынке гидроперфораторам китайских производителей. Даны рекомендации по выбору гидроперфораторов.

Ключевые слова: *гидроперфоратор, подземное бурение, энергия удара, частота ударов, мощность.*

REFERENCES

1. Mitusov A.A. Two-stroke hydraulic piston engines: Fundamentals of theory and calculation. St. Petersburg: SPbSTU, 2013. – 392 p.
2. Mitusov A.A., Kyzyrov K.B., Reshetnikova O.S. Justification of the parameters of the two-cascade fluid distribution system of a hydraulic rock. Mining magazine. – M.: PH «Ore and metals». – 2019. – No. 8. – Pp. 73-76.
3. Morton J. Underground drilling advances improve productivity, safety while cutting costs // Engineering and Mining Journal. – 2018. – T. 219. – № 1. – C. 40-44.
4. https://www.mining.sandvik/globalassets/products/rock-drills/pdf/hl710s-specification-sheet-english.pdf
5. Fiscor S. Nordic Suppliers Make Smarter Machines // Engineering and Mining Journal. – 2017. – T. 218. – No. 10. – Pp. 42-47.
6. https://machinary.ru/product/gidravlicheskij-rock drill-montaberthc5lm/
7. https://www.rackersequipment.com/frd-furukawa-rock-drill/
8. https://community.b-china.cn/en/product/info/7894
9. https://vks-llc.ru/index.php/katalog-oborudovaniya/105-gidrorock%20drilly-i-zapasnye-chasti/gidrorock%20drilly/gidrorock%20drill-everdigm
10. https://www.klemm.de/en/products-1/hydraulic-drifters/kd-511/

Геотехнологии. Безопасность жизнедеятельности



DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_59 ӘОЖ 622

Метрополитен құрылысындағы бекітпе мен таужыныстары аралығындағы тығындау қоспаларының тиімділігін анықтау

[1]***САРЫБАЕВ Мадияр Абдуллаұлы,*** *т.ғ.к., аға оқытушы, sarybaev.m@mail.ru,*
[2]***ЖАНАКОВА Раиса Кульмахановна,*** *PhD, қауымдастырылған профессор, zhanakova_raisa@mail.ru,*
[2]***АЛМЕНОВ Талгат Макулбекович,*** *т.ғ.к., профессор, T.Almenov@satbayev.university,*
[1]Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,
[2]Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Бекітпе мен таужынысы аралығындағы тығындау қоспаларының құрамын салыстыру қарастырылған. Жерасты құрылысын салу барысындағы жұмыс жағдайын қауіпсіз жағдайға келтірудің ең өзекті мәселесі бекітпе жұмыстарына арналған. Қоспалардың бірнеше түрлері қарастырылып, салыстыру жұмыстары қарапайым (КРДф-2 үдеткіш-қоспасын) бағдарламаларда шешілген. Салыстырудың реттік алгоритмі құрылып, экономикалық салыстырулар жасалған. Жерасты тоннельдері құрылысындағы тоннельдің қаптамасы және таужынысы аралығындағы кеңістікті тығындауға кететін материалдық шығындарды есептеу ескерілді. Жаңа құрамдағы жасалған бекітпеге арналған ерітінді қоспасынан алынған үлгілер келтірілген.*

Кілт сөздер: *құрылыс, бекітпе, қоспалар, жерасты қазбалары, тоннель.*

Кіріспе

Еліміздің экономикасы өсіп дамыған сайын, әлемдегі дамыған елдер сияқты жерасты кеңістігін қазіргі таңда әртүрлі мақсаттарға пайдаланудамыз. Бұл ретте мемлекеттік маңызы бар ірі қалалардағы жер бетінің белгілі бір аудандарын үнемдеу, экологиялық шарттарды жақсарту, көліктік, энергетика-

лық және коммуникациялық шараларды дұрыс реттеу үшін жерасты кеңістігінде әртүрлі жерасты ғимараттарын салудың да өзіндік тиімділігі бар екендігі дәлелденіп отыр.

Күрделі тау-кен-геологиялық және гидрогеологиялық шарттарда салынатын метрополитеннің өтпелі тоннельдерінің ұзақ жылдар бойы бұзылмай (ақауларға ұшырамай) қызмет етуге септігін тигізетін сапалы, пайдаланымдық және экономикалық жағынан тиімді болатын бітеме тығын ерітінділерінің жаңа құрамдарын жасау керектігі белгілі болып отыр.

Алға қойылған міндеттерді шешу үшін жалпы тәжірибелердегі метрополитеннің жерасты ғимараттарын (тоннельдер т.б.) салу әдістеріне, бекітпелеп қаптамалау технологияларына, бұрын тәжірибелерде жүргізілген зерттеулерге мұқият сараптамалар жасалды; зертханалық тәжірибелер жүргізе отырып, бітеме тығындау ерітінділерінің құрамына, пайдаланымдық сапасына және тиімділігіне әсер ететін факторларды анықтау үшін аналитикалық талдаулар мен математикалық есептеу әдістері орындалды; тоннель қаптамасы мен қазылған таужынысы аралығындағы кеңістікті толтыруға арналған бітеме ерітінділерінің жаңа құрамының технико-экономикалық көрсеткіштерін салыстырмалы түрде есептей отырып, оның тиімді түрін табу сияқты кешенді зерттеу әдістері қолданылды.

Жерасты өтпелі тоннельдерінің қаптамалары мен қазылған таужынысы аралығындағы кеңістікті бітемелеуге және сілемді тығындап тұрақтандыруға арналған тығын қоспаларының сапасы мен беріктігінің жоғары болуымен қатар, экономикалық тұрғыдан да тиімді болуы қажет. Мұнда тек қана өтпелі тоннельдерді салудағы тоннель қаптамасы мен таужынысы аралығындағы кеңістікті тығындап бітемелеуге ғана жұмсалатын материалдар шығындарын есептеу қарастырылды.

Материалдар мен әдістемелер

Осы анықталып зерттелген мәліметтерді пайдалана отырып, әдеттегі дәстүрлі тығындау қоспасы мен жаңа құрамдағы тығындау қоспасын қолданудың беріктік шегі бойынша негізгі құрамы мен технико-экономикалық көрсеткіштерін салыстырып зерттейміз (1-сурет).

Нәтижелер

Бірінші салыстыру әдеттегі және жаңа құрамдағы бітеме тығын ерітінділерінен жасалған үлгілердің беріктік қасиеттерін салыстырмалы түрде зерттеп талданды. Тығын ерітінділерінің беріктігі тұрғысынан алғанда құрамына (КРДф-2 үдеткіш-қоспасы 3% етіп қосылған) жаңа құрамдағы бітеме тығын ерітіндісі үлгісінің беріктігі (49,6 МПа), әдеттегі құрамдағы тығын ерітіндісінен жасалған үлгінің беріктігінен (32,7 МПа) 1,5 есеге (34%-ға) жоғары екендігін көрсетті.

Жаңа құрамдағы және белгілі әдеттегі қоспа үлгілерінің беріктігі тұрғысынан салыстырып зерттеу нәтижелері 2-суретте келтірілді.

1 – жаңа құрамдағы тығын қоспасы,

$$\sigma = 14,7\ln(\dot{O}) + 2,48; \quad R^2 = 0,94,$$

2 – әдеттегі тығын қоспасы,

$$\sigma = 9,65\ln(\dot{O}) + 1,9; \quad R^2 = 0,94.$$

Екінші салыстыру құрамы бойынша зерттелді. Жаңа құрамдағы ерітінді қоспаларының беріктігін, сапасын және тиімділігін жоғарылату мақсатында қолданылатын үдеткіш-қоспа ретінде тығын ерітіндісі құрамына арнайы КРДф-2 үдеткіш-қоспасын цемент массасынан 3% мөлшерінде қосып, жаңа құрамдағы бітеме тығын қоспаларын қолдану ұсынылды (3-сурет).

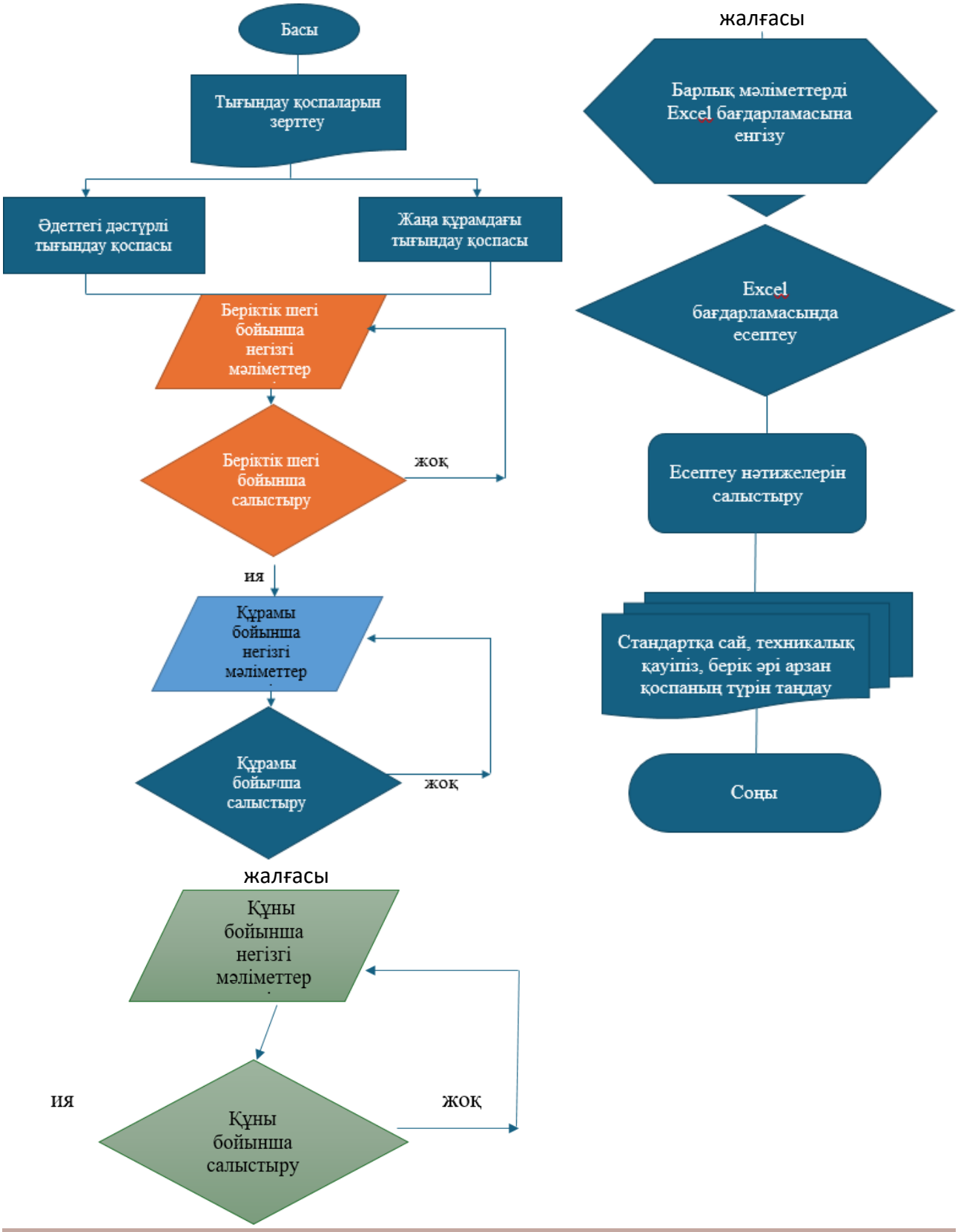
Жаңа құрамдағы ерітінді қоспасынан жасалған үлгілердің тығыздығы 2,55 т/м^3, ал, әдеттегі дәстүрлі тығын ерітіндісі құрамынан жасалған үлгілердің тығыздығы 1,86 т/м^3 шамасын құрады. Яғни, жаңа құрамдағы ерітінді қоспасынан жасалған үлгілердің беріктігінің жоғары болуымен қатар, оның тығыздығы да 1,4 есеге жоғары екендігі байқалды. Бұл дегеніміз жаңа құрамдағы бітеме тығын ерітіндісінің қатқаннан кейінгі тығыздығының жоғарылауының әсерінен тоннель қаптамасына қарай жерасты суларының өтуі баяулайды, суөткізбеушілік қасиеттері жоғарылайды. Яғни, агрессивті сулар әсер етпеген жағдайда темір бетонды қаптамалар өте ұзаққа шыдамды болады.

Үшінші салыстыру экономикалық тұрғыдан тығын ерітінділерінің арақатынастық құрамдық көрсеткіштері бойынша салыстырғанда КРДф-2 қоспасы қосылған жаңа құрамдағы 1 м^3 тығын қоспасының құны, әдеттегі құрамдағы 1 м^3 тығын қоспасының құнымен бірдей деуге болады. Яғни, 0,7%-ға ғана жоғары екендігін көреміз.

Барлық есептеу нәтижелері Excel бағдарламасының негізінде жасалған. Excel бағдарламасы бүгінгі заман талабына сай жасалған бағдарламалардың бірі. Оның соңғы нұсқаларында график тұрғызу, күрделі функциялар арқылы есеп-қисап жүргізу және бірнеше жұмыс кітаптарымен қатар жұмыс атқару сияқты мүмкіндіктерге ие. Excel бағдарламасын пайдаланып салыстыру амалдары орындалды. Кестедегі мәліметтердің негізінде түрлі-түсті диаграммалар тұрғызып, тығындаудың құны анықталды (4-5-сурет).

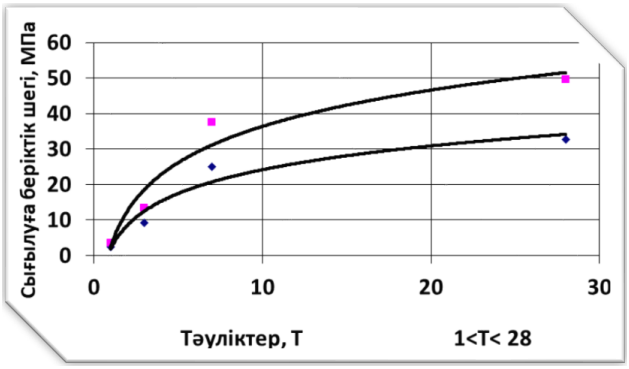
Қорытынды

Қорытындылай келгенде алға қойылған міндеттерді шешу үшін үш түрлі зерттеу қарастырылды.

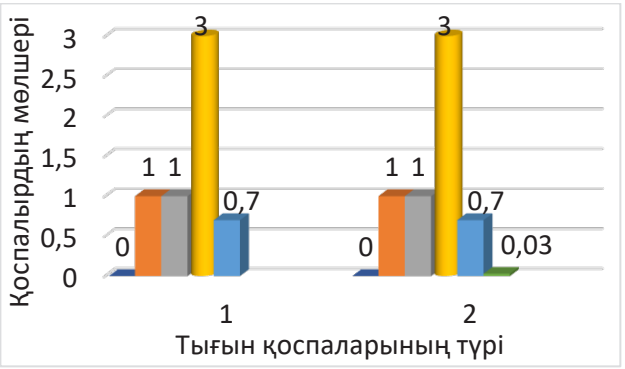


1-сурет – Тығындау қоспаларын таңдау алгоритмі

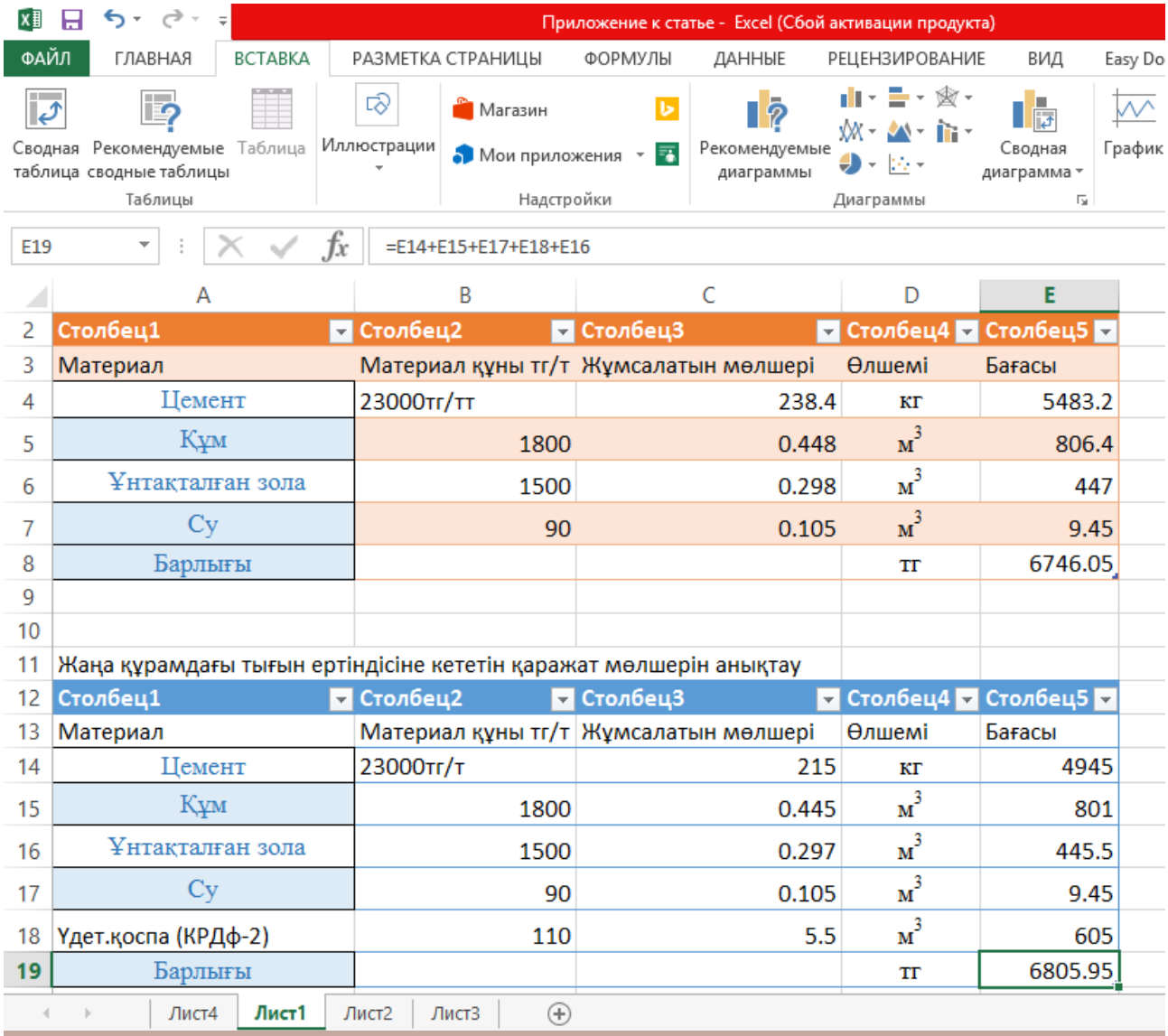
Жаңа құрамдағы жасалған ерітінді қоспасынан алынған үлгілердің тығыздығы 2,55 т/м^3, мұндағы дәстүрлі тығын ерітіндісі құрамынан жасалған үлгілердің тығыздығы 1,86 т/м^3 шамасын құрайтыны белгілі болды. Демек, жаңа құрамдағы ерітінді қоспасынан жасалған үлгілердің беріктігінің жоғары болуымен қатар, оның тығыздығы да 1,4



2-сурет – Сығылу беріктігі



3-сурет – Ерітінділердің құрамы бойынша салыстыру диаграммасы



	A	B	C	D	E
2	Столбец1	Столбец2	Столбец3	Столбец4	Столбец5
3	Материал	Материал құны тг/т	Жұмсалатын мөлшері	Өлшемі	Бағасы
4	Цемент	23000тг/тт	238.4	кг	5483.2
5	Құм	1800	0.448	$м^3$	806.4
6	Ұнтақталған зола	1500	0.298	$м^3$	447
7	Су	90	0.105	$м^3$	9.45
8	Барлығы			тг	6746.05
9					
10					
11	Жаңа құрамдағы тығын ертіндісіне кететін қаражат мөлшерін анықтау				
12	Столбец1	Столбец2	Столбец3	Столбец4	Столбец5
13	Материал	Материал құны тг/т	Жұмсалатын мөлшері	Өлшемі	Бағасы
14	Цемент	23000тг/т	215	кг	4945
15	Құм	1800	0.445	$м^3$	801
16	Ұнтақталған зола	1500	0.297	$м^3$	445.5
17	Су	90	0.105	$м^3$	9.45
18	Удет.қоспа (КРДф-2)	110	5.5	$м^3$	605
19	Барлығы			тг	6805.95

4-сурет – Есептеу барысы

есеге жоғары екендігі дәлелденді. Зерттеліп отырған жаңа құрамдағы бітеме тығын ерітіндісінің қатқаннан кейінгі тығыздығының жоғарылауы әсерінен тоннель қаптамасына



5-сурет – Салыстыру нәтижесі

қарай жерасты суларының өтуі баяулайды. Бұл зерттеулер жалпы тәжірибелердегі метрополитеннің жерасты ғимараттарын (тоннельдер т.б.) салу әдістеріне тікелей байланысты. Ұсынылып отырған құрам бекітпелеп қаптамалау технологияларын жетілдіруге үлесін қосатыны белгілі болып отыр. Тоннель қаптамасы мен қазылған таужынысы аралығындағы кеңістікті толтыруға арналған бітеме ерітінділерінің жаңа құрамының техника-экономикалық көрсеткіштерін салыстырмалы түрде есептей отырып, оның тиімді түрін табу әдістері қолданылды.

Алғыс. Мақала 2024-2026 жылдарға арналған гранттық қаржыландыру шеңберінде AP23489198 «Тау жыныстары массивінің кернеулі-деформацияланған жай-күйі мен тұрақтылығын терең зерттеу жолымен жерасты тау-кен қазбаларын жүргізу мен бекітудің ұтымды технологиясын әзірлеу» жобасы аясындағы ғылыми-зерттеу жұмыстарының нәтижелері бойынша жазылған, жоба жетекшісі т.ғ.к., профессор Т.М. Алменов. Зерттеу жұмыстары Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетімен қаржыландырылған.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Бегалинов Ә.Б. Тау-кен кәсіпорындарының жерасты кешендерін жобалау. Жоғарғы оқу орындарына арналған оқулық. Алматы. ҚазҰТУ. – РПБК «Дәуір» ЖШС. 2011. – 352 б.
2. S. Moldabaev, K. Rysbekov, E. Sdvizhkova, D. Babets, M. Sarybaev, «Matematicheskoe modelirovanie stokhasticheskogo izmeneniya svoystv gornykh porod pri proektirovanii gornykh vyrabotok», 20-ya mezhdunarodnaya mezhdistsiplinarnaya nauchnaya geokonferentsiya SGEM 2020, SCOPUS, pp. 165-172 (na angliyskom yazyke).
3. Укшебаев М.Т. Метрополитен – жителям мегаполиса // Горный журнал Казахстана. – № 1. – 2012. – 28-32 с.
4. S. Moldabaev, Zh. Sultankbekova, M. Sarybayev, T. Adil, M. Akhmetova, «Osobennosti optimizatsii kalendarnogo grafika otkrytykh gornykh rabot krutonaklonnymi plastami», SGEM2022 (na angliyskom yazyke).
5. Укшебаев М.Т. Строительство метрополитена в Алматы // Горный журнал Казахстана. – № 7. – 2010. – 29-35 с.
6. Гарбер В.А. Тоннели и метрополитены. Наука, проектирование, строительство, эксплуатация / Фил. ОАО ЦНИИС «Науч.-исслед. центр «Тоннели и метрополитены»». – М.: Экон-Информ, 2008. – 167 с.
7. Бегалинов А.Б., Сердалиев Е.Т., Алменов Т., Искаков Е.Е. Пути повышения качества и эффективности применения набрызг бетона в подземных условиях // Горный журнал Казахстана. – № 2. – Алматы, 2011. – С. 16-18.
8. Бегалинов А.Б., Сердалиев Е.Т. Алменов Т. Искаков Е.Е. Абшаяков Э. Исследование принципа работы торкретбетона в условиях строительства метрополитена // VII Mezinarodni vedecko-praktica conference. Chehia, 2011. – С. 56-60.
9. Бегалинов А.Б., Сердалиев Е.Т., Алменов Т., Искаков Е.Е. Метрополитен қазбаларын бекітпелеудің жаңа әдістері. Қазақстандағы тау-кен ісі және металлургия. Қазіргі жағдайы мен болашағы. Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясының тезистер жинағы. Алматы, 2012. – 234-236 б.

10. Serdaliev Y., Iskakov Y. Calculation and method choice barring boards a ditch by protecting bored piles for opening ditch of the station «Baikonur» subway of Almaty. Materialy IX miedzynarodowej naukowi-praktycznej konferencji. Polsha, 2013. – P. 14.
11. Iskakov Y. Construction stations columned type of the subway in Almaty. Ключови въпроси в съвременната наука. България, 2013. – Pp. 34-37.

Определение эффективности укупорочных смесей между крепью и породами в строительстве метрополитена

[1]*САРЫБАЕВ Мадияр Абдуллаевич, *к.т.н., старший преподаватель, sarybaev.m@mail.ru,*
[2]ЖАНАКОВА Раиса Кульмахановна, *PhD, ассоциированный профессор, zhanakova_raisa@mail.ru,*
[2]АЛМЕНОВ Талгат Макулбекович, *к.т.н., профессор, T.Almenov@satbayev.university,*
[1]Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан,
[2]Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Рассматривается сравнение закладочных материалов, используемых для заполнения пространства между крепью и горной породой. Одной из актуальных задач при строительстве подземных сооружений является обеспечение безопасности условий труда за счёт эффективного применения крепёжных материалов. Изучены и сравнены различные типы смесей, при этом расчёты выполнялись в стандартных программных средствах (в том числе с использованием ускоряющей добавки КРДф-2). Разработан алгоритм последовательного сравнения, а также проведён экономический анализ. Учтены материальные затраты на заполнение пространства между обделкой тоннеля и горной породой в процессе строительства подземных тоннелей. Приведены образцы, полученные из смеси раствора новой композиции, предназначенной для крепёжных работ.*

Ключевые слова: *строительство, крепление, компоненты для забутовки, подземное сооружение, тоннель.*

Determination of the Effectiveness of Plugging Mixtures Between Fasteners and Rocks in Metro Construction

[1]*SARYBAYEV Madiyar, *Cand. of Tech. Sc., Senior Lecturer, sarybaev.m@mail.ru,*
[2]ZHANAKOVA Raissa, *PhD, Associate Professor, zhanakova_raisa@mail.ru,*
[2]ALMENOV Talgat, *Cand. of Tech. Sc., Professor, T.Almenov@satbayev.university,*
[1]Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,
[2]Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *A comparative analysis of backfill materials used to fill the space between tunnel lining and surrounding rock is considered. One of the most pressing issues in the construction of underground structures is ensuring safe working conditions through the effective use of support materials. Various types of mixtures were studied and compared, with calculations performed using standard software tools (including the use of the accelerating additive KRDf-2). A step-by-step comparison algorithm was developed, and an economic analysis was carried out. Material costs for filling the gap between the tunnel lining and the rock mass during underground tunnel construction were taken into account. Samples obtained from a new composition of the support mixture are also presented.*

Keywords: *construction, fastening, components for filling, an underground construction, tunnel.*

REFERENCES

1. Begalinov Ä.B. Tau-ken käsıporyndarynyñ jerasty keşenderın jobalau. Joğarğy oqu oryndaryna arnalğan oqulyq. Almaty. QazŪTU. – RPBK «Däuır» JŞS. 2011. – 352 p.
2. S. Moldabaev, K. Rysbekov, E. Sdvizhkova, D. Babets, M. Sarybaev, «Matematicheskoe modelirovanie stokhasticheskogo izmeneniya svoystv gornykh porod pri proektirovanii gornykh vyrabotok», 20-ya mezhdunarodnaya mezhdistsiplinarnaya nauchnaya geokonferentsiya SGEM 2020, SCOPUS, pp. 165-172 (na angliyskom yazyke).
3. Ukshebaev M.T. Metropoliten – zhitelyam megapolisa // Gornyj zhurnal Kazahstana, №1. 2012. – Pp. 28-32.
4. S. Moldabaev, Zh. Sultankbekova, M. Sarybayev, T. Adil, M. Akhmetova, «Osobennosti optimizatsii kalendarnogo grafika otkrytykh gornykh rabot krutonaklonnymi plastami», SGEM2022 (na angliyskom yazyke).
5. Ukshebaev M.T. Stroitel'stvo metropolitena v Almaty // Gornyj zhurnal Kazahstana, № 7. 2010. – Pp. 29-35.
6. Garber V.A. Tonneli i metropoliteny. Nauka, proektirovanie, stroitel'stvo, ekspluataciya / Fil. OAO CNIIS «Nauch.-issled. centr «Tonneli i metropoliteny»». – Moscow: Ekon-Inform, 2008. – 167 p.
7. Begalinov A.B., Serdaliev E.T., Almenov T., Iskakov E.E. Puti povysheniya kachestva i effektivnosti primeneniya nabryzgbetona v podzemnyh usloviyah // Gornyj zhurnal Kazahstana, № 2. Almaty, 2011. – Pp. 16-18.
8. Begalinov A.B., Serdaliev E.T. Almenov T. Iskakov E.E. Abshayakov E. Issledovanie principa raboty torkretbetona v usloviyah stroitel'stva metropolitena // VII Mezinarodni vedecko-praktica conference. Chehia, 2011. – Pp. 56-60.
9. Begalinov A.B., Serdaliev E.T., Almenov T., Iskakov E.E. Metropoliten qazbalaryn bekıtpeleudıñ jaña ädısterı. Qazaqstandagy tau-keñ ısı jäne metalurgia. Qazırgı jağdaiy men bolaşağy. Halyqaralyq ğylymi-täjıribelık konferensiasynyñ tezister jinağy. Almaty, 2012. – Pp. 234-236.
10. Serdaliev Y., Iskakov Y. Calculation and method choice barring boards a ditch by protecting bored piles for opening ditch of the station «Baikonur» subway of Almaty. Materialy IX miedzynarodowej naukowi-praktycznej konferencji. Polsha, 2013. – P. 14.
11. Iskakov Y. Construction stations columned type of the subway in Almaty. Klyuchovi voprosi v sevremennata nauka. Balgariya, 2013. – Pp. 34-37.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_66 ӘОЖ 331.45, 331.438

Құрылыс кәсіпорнындағы жазатайым оқиғаларды талдау және тәуекелдерді басқару әдістері

***ТОЛЕГЕНОВА Меруерт Ахметовна,** магистрант, m.tolegenova@aues.kz,
БЕЙСЕКОВА Тулеужан Иманмуханмедовна, т.ғ.к., доцент, t.beysekova@aues.kz,
Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. *Құрылыс саласы Қазақстан Республикасының экономикасындағы негізгі салалардың бірі болып табылады. Алайда, ол өндірістік жарақаттанудың жоғары деңгейімен сипатталады. Мақалада Қазақстан Республикасының құрылыс кәсіпорындарындағы жазатайым оқиғаларға талдау жүргізілді, олардың негізгі себептері мен қауіп факторлары анықталды. Құрылыс саласындағы өндірістік жарақаттану деңгейін төмендетуге бағытталған тәуекелдерді басқару әдістеріне ерекше назар аударылды. Ұсынылған кеңестер құрылыс, еңбекті қорғау және өнеркәсіптік қауіпсіздік саласындағы мамандар үшін пайдалы болуы мүмкін. Қарастырылған әдістер құрылыс саласындағы тәуекелдерді дәл есептеуге ықпал етеді.*

Кілт сөздер: *зиянды өндірістік жағдайлар, қауіпті және зиянды өндірістік факторлар, жазатайым оқиға, зиянды және қауіпті еңбек жағдайы, тәуекел, тәуекелдерді басқару әдістері.*

Кіріспе

Құрылыс саласы экономиканың ең қауіпті салаларының бірі болып табылады, онда өндірістік жарақаттанудың жоғары деңгейі өзекті мәселе болып қала береді. Қазақстан Республикасында жыл сайын еңбекке уақытша жарамсыздықты, мүгедектікті және өлім-жітімді қоса алғанда, ауыр зардаптарға әкеп соғатын құрылыс объектілерінде жазатайым оқиғалар тіркеледі.

Төтенше жағдайлардың негізгі себептері еңбекті қорғау талаптарын сақтамау, жұмысшылардың біліктілігінің жеткіліксіздігі, ескірген жабдықты пайдалану және еңбек қауіпсіздігін бақылаудың жеткіліксіздігі болып табылады. Құрылыстардағы қауіпсіздікті арттыру бойынша мемлекет қабылдаған шараларға қарамастан, өндірістік жарақаттану деңгейі жоғары болып қала береді, бұл тәуекелдерді басқарудың неғұрлым тиімді әдістерін әзірлеуді және енгізуді талап етеді.

Мақаланың өзектілігі: өндірістік жарақаттану деңгейін төмендетуге бағытталған құрылыс кәсіпорындарындағы тәуекелдерді басқарудың заманауи тәсілдері. Қауіпсіздік процестерін цифрландыру, тәуекелдерді жүйелі мониторингілеу, персоналды оқыту және заманауи технологияларды қолдану сияқты тиімді стратегияларды енгізу жазатайым оқиғалардың санын едәуір қысқартады.

Зерттеудің негізі

Бұл зерттеуге Қазақстан Республикасының құрылыс саласындағы жазатайым оқиғалар бойынша статистикалық деректер, тәуекелдің негізгі факторларын талдау нәтижелері, сондай-ақ, еңбек қауіпсіздігін басқарудың заманауи әдістемелері негіз болып табылады. Жұмыста құрылыс кәсіпорындарындағы тәуекелдерді басқарудың қолданыстағы тәсілдері қарастырылады, олардың тиімділігі талданады және қауіпсіздік деңгейін арттыру бойынша ұсыныстар ұсынылады.

Зерттеу нәтижелері

Құрылыс жұмысшылары өндірісте көптеген зиянды әсерлерге ұшырайды. Зиянды өндірістік жағдайлардың әр көзінің әсер ету дәрежесі олардың жұмыс орнында жұмыс істейтіндерге тікелей әсер ету ұзақтығына байланысты. Бұл әсерлердің шарттары біркелкі емес және бірдей емес: олар белгілі бір мамандыққа, жұмысқа, жұмыс күніне және тіпті жұмыс уақытына байланысты.

Қызметкерлерге әсер ететін қауіпті және зиянды өндірістік факторлар:

• Конструкциялардың өздігінен құлауы, жоғарыда орналасқан конструкциялардың,

материалдардың, жабдықтар мен заттардың құлауы;

• Машиналардың қозғалмалы бөліктері, машиналар мен механизмдер арқылы қозғалатын заттар;

• Жылжымалы құрылымдар, жүктер;

• Машиналарды, олардың бөлшектерін аудару;

• Жұмыс аймағының ауасындағы шаң мен зиянды заттар, шу және діріл;

• Биіктігі 1,3 м-ден асатын жұмыс орны;

• Топырақтың құлауы, жер жұмыстарын жүргізу кезінде құлаған заттар;

• Электр тізбегіндегі жоғары кернеу, статикалық электр деңгейінің жоғарылауы;

• Жұмыс аймағының жеткіліксіз жарықтандырылуы;

• Ашық ауада жұмыс жасау кезінде жоғары немесе төмен температура;

• Физикалық шамадан тыс жүктеме;

• Жүйке-психикалық шамадан тыс жүктеме [1].

Статистикалық деректерді талдау

ҚР Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбек және әлеуметтік қорғау комитетінің деректеріне сәйкес, 2022 жылы өндірісте 1465 қызметкер зардап шекті, оның 202-сі қаза тапты. Бұл ретте өндірістік жарақаттану деңгейі 1000 жұмысшыға шаққанда 0,22 жазатайым оқиғалардың жиілік коэффициентімен 2021 жылғы деңгейде қалды [2].

Құрылыс өнеркәсібінің қызметкерлеріне әсер ететін зиянды өндіріс жағдайларының негізгі көздері статистикасы 1-суретте көрсетілген [2].

2024 жылы жағдай біршама жақсарды, зардап шеккендердің саны өткен жылмен салыстырғанда 4,5%-ға төмендеп, яғни, 1408 адамды құрады, оның 202-сі өліммен аяқталды. Жазатайым оқиғалардың жиілігі 1000 жұмысшыға шаққанда 0,20-ға дейін төмендеді [3].

Қазақстанның құрылыс саласында өндірістік жарақаттану деңгейін төмендету үшін тәуекелдерді басқарудың түрлі әдістері қолданылады:

• *Еңбек қауіпсіздігі және еңбекті қорғау стандарттарын енгізу.* Бүгінгі таңда еліміздің 3262-ден астам кәсіпорны қауіпсіз еңбек жағдайларын қамтамасыз етуге бағытталған тиісті стандарттарды енгізді (GOV.KZ деректері бойынша).

• *«Нөлдік жарақат – Vision Zero» тұжырымдамасын ілгерілету.* 2019 жылдан бастап республиканың 605 кәсіпорны қосылған бұл тұжырымдама белсенді түрде ілгерілеуде. Ол қауіпсіздік мәдениетін қалыптастыруға және өндірістегі жазатайым оқиғалардың алдын алуға бағытталған (GOV.KZ деректері бойынша).

• *Қауіпсіздік талаптарының сақталуын бақылауды күшейту.* Мемлекеттік еңбек инспекциясы комитетінің аумақтық департаменттері құрылыс нысандарына, әсіресе жарақаттану деңгейі жоғары өңірлерде тұрақты тексерулер мен мониторингтер жүргізеді (ULYSMEDIA.KZ деректері бойынша).



1-сурет – Құрылыс өнеркәсібінің қызметкерлеріне әсер ететін зиянды өндіріс жағдайларының негізгі көздері статистикасы

• *Қызметкерлерді оқыту және олардың біліктілігін арттыру.* Еңбекті қорғау бойынша тұрақты тренингтер мен семинарлар өткізу қызметкерлердің ықтимал тәуекелдер және олардың алдын алу әдістері туралы хабардарлығын арттыруға ықпал етеді.

• *Заманауи технологиялар мен жеке қорғаныс құралдарын енгізу.* Инновациялық шешімдер мен сапалы қорғаныс құралдарын пайдалану құрылыс алаңдарында жазатайым оқиғалардың ықтималдығын азайтады.

ҚР Құрылыс кәсіпорындарындағы жазатайым оқиғаларды статистикалық талдау [4] үшін Қазақстандағы шартты құрылыс кәсіпорнында қызметкерлердің саны, жазатайым оқиғалар туралы деректерді, сондай-ақ, ауыр және өлімге әкелетін оқиғалар туралы ақпаратты қамтитын 5 жылдағы статистика ұсынылды.

Қазақстанның құрылыс кәсіпорындарындағы жарақаттану деңгейін бағалау үшін жазатайым оқиғалардың жиілік коэффициенті (ЖОЖК) пайдаланылады [4]:

$$\text{ЖОЖК} = \frac{N}{P} \times 1000,$$

мұндағы, N – жазатайым оқиғалар саны,

P – жұмысшылардың орташа тізімдік саны.

Ауырлық коэффициенті (АК) жұмысшылардың денсаулығына келтірілген зиянның дәрежесін көрсетеді [4]:

$$AK = \frac{D}{N},$$

мұндағы, D – жарақат алған жұмыс күндерінің жалпы саны.

Көрсетілген формулалар бойынша есептеліп алынған деректердің шартты статистикалық көрінісі 2-суретте көрсетіледі.

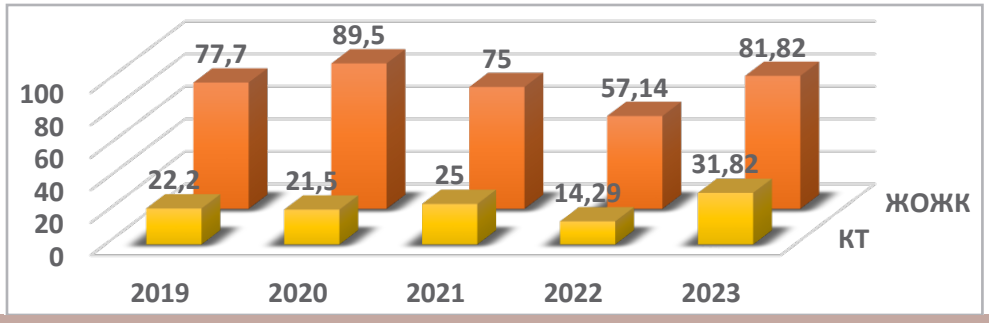
Талдау көрсеткендей, 2022 жылы жазатайым оқиғалардың саны және олардың ауырлығы алдыңғы жылдармен салыстырғанда төмендеді, бұл қауіпсіздіктің тиімді шараларын қабылдауды көрсетуі мүмкін. Алайда, 2023 жылы жазатайым оқиғалардың жиілігі мен ауырлығы бойынша көрсеткіштердің айтарлықтай нашарлауы байқалды. Бұл құрылыс көлемінің ұлғаюына немесе құрылыс алаңындағы жұмыс жағдайының нашарлауына байланысты болуы мүмкін.

Қазіргі уақытта құрылыстағы кәсіби тәуекелдерді сандық талдау әдісімен және еңбек жағдайлары класының көмегімен бағалауға болады [5].

Тәуекел көрсеткіштерін есептеумен сипатталатын сандық талдау жүргізу орындаушылардың жоғары біліктілігін, авариялылық бойынша ақпараттың үлкен көлемін, сараптамалық жұмыстарды жүргізуді, қоршаған

1-кесте

Жыл	Жұмыскерлердің жалпы саны	Жазатайым оқиғалар саны	Ауыр жағдайлар (жарақаттар)	Өлім жағдайлары
2019	180	14	4	0
2020	190	17	3	1
2021	200	15	4	1
2022	210	12	3	0
2023	220	18	5	2



2-сурет – ҚР құрылыс кәсіпорындарындағы жазатайым оқиғаларды статистикалық талдау көрінісі

жердің ерекшеліктерін, метеожағдайларды, адамдардың қауіпті аймақтарда болу уақытын және басқа да фактілерді есепке алуды талап етеді.

Еңбек жағдайларының сыныптары бойынша кәсіби тәуекелді бағалау еңбек жағдайларына арнайы бағалау жүргізуді талап етеді.

Тәуекелді сандық бағалау үшін математикалық тәуелділік қолданылады:

$$R = \sum_i P_i X_i = \int_X xp(x)\,dx,$$

мұндағы P_i – X_i қажетсіз салдардың пайда болу ықтималдығы [5].

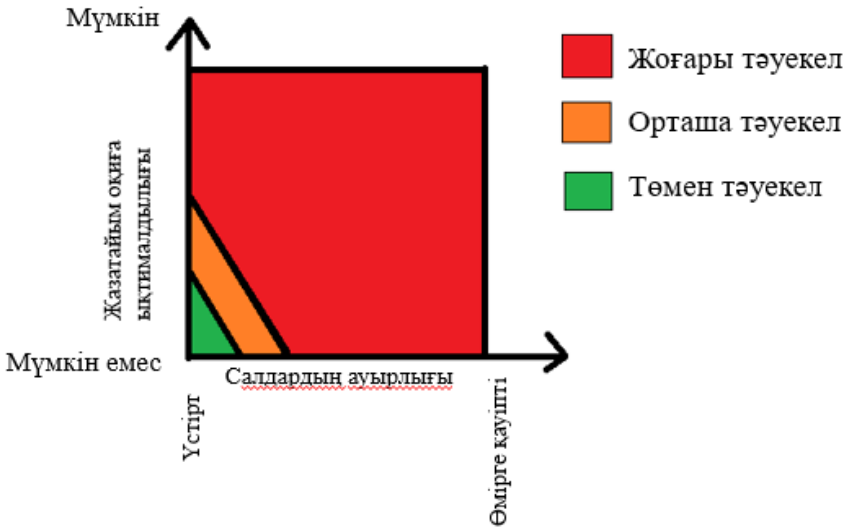
Тәуекелді бағалаудың жартылай сандық әдісінде баллдық жүйе мен матрицалар бойынша қауіптердің ықтималдығы мен салдарын аналитикалық талдау есептеулері қолданылады.

Мысалы, денсаулыққа зиян (еңбекке қабілеттілігін жоғалту) R қаупінің жартылай сандық бағасын есептеу үшін сандық модель қолданылады:

$$R = W \cdot p,$$

ол графикалық түрде «апат ықтималдығы W – p әсерінің ауырлығы» функциясы ретінде көрсетіледі (3-сурет, 2-кесте) [4].

Құрылыстағы негізгі жұмыс әрекеттерінің сипаттамасы және ықтимал қауіптер 3-кестеде келтірілген [7].



3-сурет – Функцияның графикалық көрінісі «жазатайым оқиғаның ықтималдығы-салдардың ауырлығы»

2-кесте – 9 баллдық жүйе бойынша тәуекелді жартылай сандық бағалау [6]

Ықтималдығы, W	Ауырлық дәрежесі, р
9 – міндетті түрде	9 – өлім
8 – өте мүмкін	8 – 1-ші топтағы мүгедектік
7 – мүмкін	7 – 2-ші топтағы мүгедектік
6 – кездейсоқтықтан артық	6 – 3-ші топтағы мүгедектік
5 – кездейсоқтық	5 – төрт аптадан астам жұмыс қабілеттілігін жоғалту
4 – кездейсоқтықтан аз	4 – төрт аптадан аз жұмыс қабілеттілігін жоғалту
3 – екіталай	3 – төрт күнге дейін жұмыс қабілеттілігін жоғалту
2 – өте екіталай	2 – кішкентай жарақаттар
1 – іс жүзінде мүмкін емес	1 – жарақат жоқ
R = Q · р формуласын қолданатын тәуекел мөлшері	
Кішкентай тәуекел (іс жүзінде жоқ)	20-ға дейін
Орташа тәуекел (рұқсат етілген)	21-50
Үлкен тәуекел (жол берілмейді)	51-80

3-кесте – Құрылыстағы жұмыс әрекеттерінің сипаттамасы және ықтимал қауіптер (тәуекел)

Жұмыс әрекеттерінің сипаттамасы	Қауіптер (тәуекел)
Жұмыс орнының 1,3 м және одан жоғары биіктіктегі құлдырауға жақын орналасуы	Биіктіктен құлау
Қозғалмалы машиналар, қозғалатын конструкциялар мен материалдар, перфораторлар сияқты соқпалы аспаптар	Шамадан тыс шу мен дірілмен байланыс, жұмыс заттарының құлауынан болатын жарақаттар
Электр тізбегіндегі кернеудің жоғарылауы	Электр тогының соғуы
Еріткіштердің буланууы, улы металдардың пигменттермен және бояу қоспаларымен бөлінуі	Кәсіби ауруға әкеліп соғуы
Сұйық немесе жартылай сұйық заттармен (мысалы, желімдер немесе шайырлар) немесе ұнтақтармен (мысалы, құрғақ цемент) жанасу	Химиялық қауіпке әкеліп соғуы
Жұмыс аймағының жеткіліксіз жарықтандырылуы	Кәсіби көз аурулары, әртүрлі жарақаттар

Қорытынды

Қазақстандағы құрылыс кәсіпорындарындағы жазатайым оқиғаларды талдау жарақаттанудың табысты алдын алу үшін қызметкерлердің біліктілігін арттыруды, қауіпсіздік техникасының сақталуын тұрақты бақылауды және мониторингтің заманауи технологияларын енгізуді қамтитын кешенді тәсіл қажет екенін көрсетеді. Осы факторлардың барлығын ескере отырып, жарақат деңгейін төмендетуге және құрылыс процестерінің барлық қатысушылары үшін қауіпсіз жағдай жасауға болады.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Қазақстан Республикасының құрылыс нормалары. ҚР ҚН 1.03-05-2011. Құрылыстағы еңбекті қорғау және қауіпсіздік техникасы // 2011.
2. Редакция Forbes.kz. В 2022 году в результате несчастных случаев на производствах Казахстана пострадали 1465 работников // 31 января 2023 https://forbes.kz/news/newsid_294084?utm_source
3. GOV.KZ Уровень производственного травматизма в Казахстане снизился на 4,5% // 31 января 2025. https://www.gov.kz/memleket/entities/ekibastuz-politika/press/news/details/928496?lang=ru
4. Пушенко С.Л., Гапонов В.Л., Кукареко В.А. Анализ производственного травматизма в строительной индустрии и пути его снижения // Безопасность техногенных и природных систем. 2022. № 2. С. 24-30. ISSN 2541-9129
5. Арсланбекова Ф.Ф., Калитина М.А., Казьмин А.В. Анализ опасностей и оценка профессионального риска при каменных работах в строительстве // Российский государственный социальный университет ул. Вильгельма Пика. Москва, Россия, 2015.
6. Стасева Е.В., Квиткина М.В. Исследование подходов к оценке и управлению рисками в организации охраны труда // Молодой исследователь Дона. – 2017.
7. Кошелев Владимир Алексеевич. Источники рисков в строительстве // ФГБОУ ВПО «Самарский государственный экономический университет». Самара, Россия, 2015.

Анализ несчастных случаев на строительном предприятии и методы управления рисками

***ТОЛЕГЕНОВА Меруерт Ахметовна,** магистрант, m.tolegenova@aues.kz,*
***БЕЙСЕКОВА Тулеужан Иманмуханмедовна,** к.т.н., доцент, t.beysekova@aues.kz,*

Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Алматы, Казахстан,

**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Строительная отрасль является одной из основных отраслей экономики Республики Казахстан. Однако для нее характерна высокая степень производственного травматизма. В статье проведен анализ несчастных случаев на строительных предприятиях Республики Казахстан, выявлены основные причины и факторы риска. Особое внимание было уделено методам управления рисками, направленными на снижение уровня производственного травматизма в строительной отрасли. Предлагаемые советы могут быть полезны специалистам в области строительства, охраны труда и промышленной безопасности. Рассмотренные методы способствуют точному расчету рисков в строительной отрасли.*

Ключевые слова: *вредные производственные условия, опасные и вредные производственные факторы, несчастный случай, вредные и опасные условия труда, риск, методы управления рисками.*

Accident Analysis at a Construction Company and Risk Management Methods

****TOLEGENOVA Meruert,*** *Master's Student, m.tolegenova@aues.kz,*
BEYSEKOVA Tuleuzhan, *Cand. of Hist. Sc., Docent, t.beysekova@aues.kz,*
Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, Kazakhstan,

**corresponding author.*

Abstract. *The construction industry is one of the main sectors of the economy of the Republic of Kazakhstan. However, it is characterized by a high degree of occupational injuries. The article analyzes accidents at construction enterprises of the Republic of Kazakhstan, identifies the main causes and risk factors. Special attention was paid to risk management methods aimed at reducing occupational injuries in the construction industry. The suggested tips may be useful to specialists in the field of construction, occupational safety and industrial safety. The considered methods contribute to the accurate calculation of risks in the construction industry.*

Keywords: *harmful working conditions, dangerous and harmful production factors, accident, harmful and dangerous working conditions, risk, risk management methods.*

REFERENCES

1. Qazaqstan Respublikasynyn qurylis normalary. QR QN 1.03-05-2011. Qurylystagy enbekti qorǵau zhane qauipsizdik tekhnikasy // 2011.
2. Redaktsiya Forbes.kz. V 2022 godu v rezul'tate neschastnykh sluchaev na proizvodstvakh Kazakhstana postradali 1465 rabotnikov // 31 yanvarya 2023 https://forbes.kz/news/newsid_294084?utm_source
3. GOV.KZ Uroven' proizvodstvennogo travmatizma v Kazakhstane snizilsya na 4,5% // 31 yanvarya 2025. https://www.gov.kz/memleket/entities/ekibastuz-politika/press/news/details/928496?lang=ru
4. Pushenko S.L., Gaponov V.L., Kukareko V.A. Analiz proizvodstvennogo travmatizma v stroitel'noy industrii i puti ego snizheniya // Bezopasnost' tekhnogennykh i prirodnykh sistem. 2022. № 2. Pp. 24-30. ISSN 2541-9129
5. Arslanbekova F.F., Kalitina M.A., Kaz'min A.V. Analiz opasnostey i otsenka professional'nogo riska pri kamennykh rabotakh v stroitel'stve // Rossiyskiy gosudarstvennyy sotsial'nyy universitet ul. Vil'gel'ma Pika. Moscow, Rossiya, 2015.
6. Staseva E.V., Kvitkina M.V. Issledovanie podkhodov k otsenke i upravleniyu riskami v organizatsii okhrany truda // Molodoy issledovatel' Dona. – 2017.
7. Koshelev Vladimir Alekseevich. Istochniki riskov v stroitel'stve // FGBOU VPO «Samarskiy gosudarstvennyy ekonomicheskiy universitet». Samara, Rossiya, 2015.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_72 ӘОЖ 628.5.052

Жиһаз шеберханасының жұмыс аймағындағы ауаның ластану деңгейін зерттеу

***БЕГИМБЕТОВА Айнур Серикбаевна,** PhD, институт директоры, a.begimbetova@aues.kz,
ДЮСЕМБАЕВА Ділназ Құрманжанқызы, магистрант, d.dyussembayeva@aues.kz,
Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. *Жұмыс аймағының шаң басуына назар аударыла отырып, заманауи жиһаз зауыттарындағы ластану мәселесі қарастырылады. Материалдарды өңдеу және әрлеу процестерін қоса алғанда, ластанудың негізгі себептері, сонымен қатар, оның жұмыскерлердің денсаулығына, атап айтқанда, респираторлық ауруларға және аллергиялық реакцияларға әкеп соқтыратын әсері зерттеледі. Ластану деңгейін бақылаудың қолданыстағы әдістері мен қорғаныс шаралары, соның ішінде аспирациялық жүйелер, сүзу және жеке қорғаныс құралдары (ЖҚҚ) талданады. Олардың тиімділігіне және өндірісте практикалық қолданылуына ерекше назар аударылады. Ауаны тазартудың заманауи технологияларын енгізуді, желдету жүйесін үнемі тексеруді, сондай-ақ, қызметкерлерді ЖҚҚ қауіпсіздігі мен пайдалану ережелеріне үйретуді қоса алғанда, еңбек жағдайларын жақсарту және шаңды азайту бойынша ұсыныстар берілген. Мақала жиһаз өнеркәсібінде қауіпсіз және салауатты жұмыс ортасын қамтамасыз етудің кешенді тәсілінің маңыздылығын, сондай-ақ, жұмысшыларды да, қоршаған ортаны да қорғау үшін экологиялық нормаларды сақтау қажеттілігін көрсетеді. Қорытындылай келе, ауаның ластануына қарсы күресте жақсы нәтижелерге қол жеткізу үшін процестерді үнемі бақылау мен жетілдірудің маңыздылығы атап өтіледі.*

Кілт сөздер: *ағаш өнеркәсібі, аспирациялық жүйелер, ағаш шаңы, жұмыс аймағындағы ауа ластануы, УВП-1200 аспирациялық сорғысы, жиһаз өңдеу, жеке қорғаныс құралдары, қолайлы еңбек жағдайлары, ауаны тазарту, ауа сапасы.*

Кіріспе: жиһаз зауыттарындағы ауаның ластануы экологияға да, жұмысшылардың денсаулығына да әсер ететін күрделі мәселе. Ағаштан жиһаз өндірумен айналысатын жиһаз зауыттары бояу материалдары, желімдер, герметиктер және басқа қоспалар сияқты әртүрлі химиялық заттарды пайдаланады. Материалдарды өңдеу процесінде пайда болатын ағаш шаңы да ластанудың тағы бір маңызды көзі болып табылады. Бұл респираторлық ауруларды, аллергиялық реакцияларды, астманы және тіпті өкпенің қатерлі ісігін тудыруы мүмкін. Зерттеулер көрсеткендей, жиһаз жұмысшылары көбінесе ластаушы заттардың ұзақ уақыт әсер етуімен байланысты созылмалы ауруларға шалдығады, бұл олардың денсаулығы мен өмір сапасына теріс әсер етеді. Халықаралық қауымдастықтың бағалауы бойынша әлеуметтік қауіпсіздік және халықаралық еңбек ұйымы (ХЕҰ), әлемде жыл сайын өндірісте 125 млн жазатайым оқиға орын алады, соның салдарынан 1,1 млн адам қаза табады, оның ішінде 25% – зиянды және қауіпті заттардың әсерінен екені белгілі. Қызметкерлердің кәсіби денсаулығын сақтау, жаңа технологияны енгізу арқылы жарақаттануды азайту ағаш өңдеу зауыттарының басым міндеттеріне жатады [1].

Мәселенің маңызды аспектісі – ықтимал қауіптер туралы хабардар болмау. Көптеген жұмысшылар ластаушы заттардың әсер етуінің ықтимал салдары туралы білмейді және денсаулығын қорғау үшін қажетті шараларды қабылдамайды. Сондай-ақ, жұмысшылардың жиі ластаушы заттардың комбинациясына тап болатынын ескеруі маңызды, бұл олардың теріс әсерін күшейтуі мүмкін. Осылайша, жиһаз зауыттарындағы ауаның ластануын жан-жақты зерттеу қажеттілігі өзекті бола түсуде [2].

Ауа сапасын үнемі бақылау мен бақылаудың болмауы да жағдайды нашарлатады. Көптеген кәсіпорындар бұл тәжірибені елемейді, бұл ластануды азайту үшін негізделген шешімдер қабылдауды қиындатады.

Автоматтандырылған бақылау жүйелерін енгізу ауа сапасын басқарудың тиімділігін едәуір арттыра алады.

Ластануда ескірген жабдықты пайдалану да маңызды рөл атқарады. Ескі және тозған жабдық қазіргі аналогтарға қарағанда көбірек ластаушы заттарды шығаруы мүмкін. Өндірістік желілерді жаңарту және жаңа технологияларды енгізу шығарындылар деңгейін едәуір төмендетуге және еңбек жағдайларын жақсартуға қабілетті.

Сонымен, жағдайға экономикалық факторлар да әсер етеді. Шығындарды азайту жағдайында кәсіпорындар көбінесе экология мен еңбекті қорғауды жақсартуға инвестиция салмайды, бұл жұмыс жағдайының нашарлауына және ластанудың жоғарылауына әкеледі.

Сонымен қатар, көптеген жиһаз зауыттары желдету жүйелерін жобалауға және сақтауға жеткілікті көңіл бөлмейді. Нашар желдету жұмыс аймағында ластаушы заттардың жиналуына ықпал етеді, бұл жұмысшылардың денсаулығына қауіп төндіреді [3, 4]. Қазіргі стандарттар таза ауаның тұрақты ағынын қамтамасыз етуді және ластанғанды жоюды талап етеді.

Өндірістік ортадағы нақты проблеманы анықтау үшін қолданылатын құралдардың бірі-салыстырмалы талдау. Біздің жағдайда ластану деңгейі бойынша нақты нәтижелер үшін екі түрлі жағдайда үй-жайлардағы шаң деңгейі қарастырылады. Зерттеудің мақсаты жұмыс ортасындағы зиянды анықтау болып табылады, бұл болашақта еңбек жағдайларын жақсарту бойынша іс-шараларды жоспарлауға және өткізуге, жұмыс орындарын қолданыстағы нормативтік құқықтық құжаттарға сәйкес келтіруге ықпал етеді.

Зерттеу материалдары мен әдістемесі

Зерттеу объектісі: «Smart Mebel» ЖШС жиһаз зауытының жұмыс орындары. Зауыт жиһаздың әртүрлі түрлерін, соның ішінде, кеңсе, ас үй және жұмсақ жиһаздарды өндіруге маманданған және соңғы жылдары өндіріс тиімділігін арттыру үшін жаңартылған. Өндіріс желілері негізгі процестерді автоматтандыруға мүмкіндік беретін кесу, өңдеу және құрастыру машиналарын қоса алғанда, заманауи жабдықтармен жабдықталған. Жұмыс орындары қауіпсіздік пен жайлылықтың заманауи стандарттарын ескере отырып ұйымдастырылған, бірақ жұмыс ауысымының ұзақтығы 8-12 сағатты құрайды, бұл жұмысшылардың шаршауына әсер етуі мүмкін.

Өндіріс жағдайында физикалық (шу, діріл), химиялық (қолданылатын бояу материалдары) және эргонометриялық факторларға (ұзақ уақыт бір қалыпта болу, қол еңбегі) байланысты ықтимал қауіптер бар. Тыныс алу мүшелеріне шаң жүктемесі – бұл қызметкер онымен нақты (немесе болжамды) кәсіби байланыстың барлық кезеңінде дем алатын шаңның жалпы экспозициялық дозасының нақты немесе болжамды мөлшері [5]. Бұл факторлар жазатайым оқиғалар мен кәсіптік аурулардың қаупін тудыруы мүмкін.

Зерттеу әдістері

1) Ластаушы заттарды өлшеу: ауадағы бөлшектер мен ұшпа органикалық қосылыстардың концентрациясын өлшеу құралдары қолданылады.

2) Салыстырмалы талдау: желдету жүйелері бар және жоқ бөлмелердегі өлшеу нәтижелері салыстырылады.

3) Нормативтік құжаттар: алынған нәтижелерді еңбекті қорғау және экология бойынша қолданыстағы стандарттармен және ұсынымдармен салыстыру.

Зерттеу ретінде зауыт бөлмелеріндегі шаң деңгейі талданды. Нысанның ауа шаңының деңгейі төрт жұмыс орны үшін өлшенді: Ағаш өңдеу цехы, құрастыру цехы, әрлеу және металл өңдеу цехы. 1-кестеде желдету жүйесін пайдаланбай шаң құрамын өлшегеннен кейін алынған орташа мәндер берілген. Аспаптармен тікелей өлшеу нәтижелері бойынша аккредиттелген зертхана және виза сараптамалық анықтау әдісімен тексеру номенклатуралық өндіріс тізімі, сондай-ақ есеп айырысу арқылы олардың үлесі анықталды.

Нәтижелер және оларды талқылау. Нәтижелер жиһаз зауытындағы желдету жүйесі шаңның төмендеуіне ықпал ететінін көрсетеді, бірақ рұқсат етілген мәндермен салыстырсақ, оның ағаш шаңына қатысты жұмысының тиімділігі жеткіліксіз болуы мүмкін. Ағаш шаңының ерекше сипаттамалары бар, олар оны стандартты желдету шешімдерімен алып тастауды қиындатады.

Ағаш шаңынан ауаны тазарту тиімділігін арттыру үшін аспирациялық жүйені қолдануды қарастырған жөн. Аспирация – бұл механикалық ластаушы заттарды сору, олардың пайда болу көзінен сору қорабы (қолшатыр) жең арқылы тікелей шығару процесі, мысалы, ағаш өңдеу машинасының кесу аймағынан шаң шығару [6, 7].

Аспирациялық жүйелердің артықшылықтары:

1. Жоғары тиімділік: ауа сапасын жақсарта отырып, ағаш шаңын 99% дейін кетіруге мүмкіндік береді.

2. Әмбебаптылық: әртүрлі процестер мен жабдықтардың типіне бейімделе алуы мүмкін.

3. Автоматтандыру: заманауи жүйелер жұмысты оңтайландыруға және энергия шығынын азайтуға мүмкіндік беретін сенсорлармен жабдықталуы мүмкін.

4. Жұмыскерлер үшін жайлылық: ауру-

1-кесте – Талданған жұмыс орындары үшін фракциялар бойынша шаңның орташа деңгейі

Шаң (мг/м³)	Жұмыс орны			
	Ағаш өңдеу цехы	Құрастыру цехы	Әрлеу цехы	Металл өңдеу цехы
Желдету жүйесін қолданбаған кезде	30	10	20	15
Желдету жүйесін қолданған кезде	5	3	7	4
Шекті рұқсат етілген мәндер	1-3	1-3	1-3	1-3

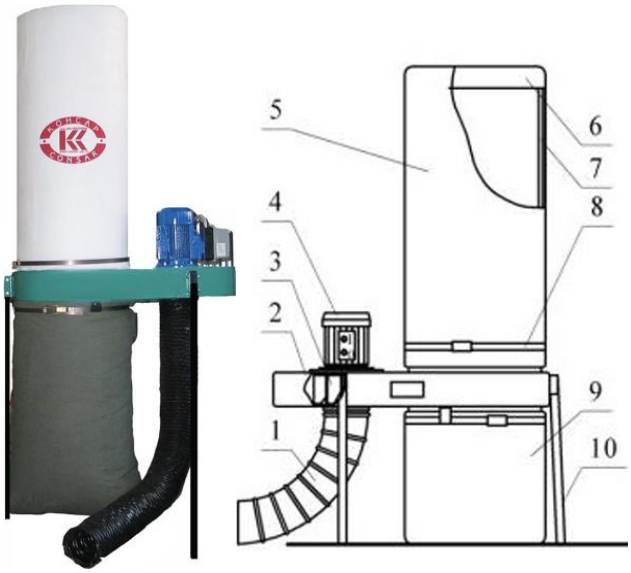
дың тәуекелін азайта отырып, қауіпсіз әрі жайлы еңбек жағдайларын тудырады.

Жиһаз зауыттарында аспирациялық жүйені енгізу ауадағы ағаш шаңының деңгейін едәуір төмендетуі, еңбек жағдайларын жақсартуы және өндірістегі жалпы қауіпсіздікті арттыруы мүмкін.

УВП-1200 аспирациялық қондырғысы (үгінді сорғысы) ағаш шаңымен және үгінділермен ластанумен күресуде тиімдірек қондырғы болып табылады. Қондырғы ауаны құрғақ, жабыспайтын шаң мен бөлшектерден өнеркәсіптік тазартуға, технологиялық қалдықтарды сақтауға және жинауға арналған. УВП-1200 аспирациялық қондырғысының жұмыс принципі шаң мен басқа да ластаушы заттар бар ауаны соруға мүмкіндік беретін жүйеде сиретуді құруға негізделген (сурет). Ауа қондырғыға арнайы ауа қабылдағыштар арқылы енеді, онда оны алдын-ала сүзу жүреді [8]. Содан кейін сүзгілерден өтіп, шаң бөлшектері ауа ағынынан бөлінеді. Тазартылған ауа қайтадан бөлмеге немесе көшеге шығарылады, ал жиналған шаң мезгіл сайын тазартылатын контейнерлерде жиналады. Бұл процесс ауаны тазартудың жоғары дәрежесін қамтамасыз етеді және жұмыс аймағындағы ластану деңгейін азайту арқылы қауіпсіз еңбек жағдайларын қолдайды (2,3-кестелер).

Бұл қондырғыны қолданудың тиімділігі екі салыстырмалы кесте түрінде көрінеді.

УВП-1200 аспирациялық сорғысы енгізілгеннен кейін жылдық шаң бөлу жылына 9,857 тоннадан 4,881 тоннаға дейін төмендеді, бұл жылына 4,976 тоннаны немесе 50,48% құрайды (2,3-кестелер). Бұл ретте станоктардың қазіргі орналасуында және цехтың желдетуінде елеулі конструктивтік өзгерістер талап етілмейді. Қосымша тазалауды енгізу шығындары тек УВП – 1200 қондырғысын сатып алуға және цехтағы негізгі жұмысты тоқтатпай орындауға болатын желдету жүйесінің шамалы өзгеруіне жұмсалатын шығындарды құрайды [9]. Сонымен қатар, қоршаған ортаны ластағаны үшін өтемақы төлемдеріне кәсіпорынның шығындары (тоқсан сайын) азаяды.



1 – құбыр, 2 – корпус, 3 – желдеткіш дөңгелегі, 4 – электр қозғалтқышы, 5 – сүзгі элементі, 6 – тірек, 7 – сүзгі сөресі, 8 – қысқыш, 9 – жинақтаушы, 10 – тірек

Шаң ұстағыш қондырғы УВП-1200

Көптеген цехтар, өкінішке орай, жеке қорғаныс құралдарын (ЖҚҚ) дұрыс пайдаланбайды, бұл жұмысшылардың денсаулығына қауіп төндіреді. UVP-1200 сияқты аспирациялық жүйелердің болуына қарамастан, респираторлар мен қауіпсіздік көзілдірігі сияқты қосымша қауіпсіздік шараларынсыз қызметкерлер зиянды ағаш шаңына және басқа ластаушы заттарға ұшырайды. Респираторларды қолдану тыныс алу жүйесін қорғап қана қоймайды, сонымен қатар, ұзақ мерзімді аурулардың даму қаупін азайтады. ЖҚҚ инвестициялау-бұл жұмысшылардың қауіпсіздігі мен денсаулығын қамтамасыз етудегі маңызды қадам, бұл сайып келгенде кәсіпорындағы өнімділік пен атмосфераға оң әсер етеді.

Қорытынды. Жүргізілген зерттеу ағаш өңдеу және әрлеу процестері сияқты ластану көздері жұмыс орындарындағы ауа сапасын айтарлықтай нашарлатуы мүмкін екенін рас-

2-кесте – Ағаш өңдеу станоктарынан шаң шығуы

Станоктың маркасы мен типі	Меншікті шаң шығару, г/с	Жылдық шаң шығару, т/жыл
Тегістеуіш станок	2,21	5,545
Түзетуші станок	0,81	4,312
Барлығы	3,02	9,857

3-кесте – Түзету және тегістеу станоктарын УВП – 1200-ге қосқаннан кейін ағаш өңдеу станоктарынан шаң шығуы

Станоктың маркасы мен типі	Меншікті шаң шығару, г/с	Жылдық шаң шығару, т/жыл
Тегістеуіш станок	0,221	2,725
Түзетуші станок	0,081	2,156
Барлығы	0,302	4,881

тады. Аспирациялық қондырғылар сияқты тиімді тазалау жүйелерін енгізу және жеке қорғаныс құралдарын міндетті түрде пайдалану ағаш шаңының деңгейін төмендетудің негізгі шаралары болып табылады.

Мәселен, жұмыс аймағының ауасына бір мезгілде бірнеше зиянды заттар бөлінгенде, жалпы желдетуді есептеу кезінде ауа шығыны ең көп ауа ағынын беруді қажет ететін зиянды зат бойынша анықталады. Жұмыс берушілердің міндеті ғана емес, сонымен бірге, бүкіл саланың тұрақты дамуына қосқан үлесі екенін есте ұстаған жөн [10].

Мақала жиһаз өнеркәсібінде қауіпсіз және сау жұмыс ортасына қол жеткізу үшін қосымша зерттеулер мен практикалық іс-шаралардың қажеттілігін көрсетеді. Инновациялық шешімдерді енгізу және еңбекті қорғау және экология саласындағы сарапшылармен белсенді ынтымақтастық жұмыс орындарындағы жағдайларды жақсартуға ғана емес, сонымен қатар, қоғам алдында бүкіл саланың оң имиджін қалыптастыруға ықпал ететін болады.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Современные методы оценки профессиональных рисков и их значение в системе управления охраной труда // XXI век. Техносферная безопасность. Охрана труда и промышленная безопасность / Тимофеева С.С., 2016. – № 1 (1). – С. 14-24.
2. Indoor air quality research within a furniture factory R.V. Corlan, I. Ionel, Politehnical University of Timisoara, Faculty of Mechanical Engineering, 2021.
3. Экологические аспекты деревообрабатывающих производств / Карлова, О.В. Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: по материалам Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Красноярск, 2017. С. 330-333.
4. Методы контроля загрязнения воздуха на промышленных предприятиях / Л.П. Федорова // Журнал «Охрана труда», 2019. С. 45-52.
5. Пылеудаление и вентиляция в производственных помещениях / И.А. Зайцев. Екатеринбург: УралГТУ, 2021.
6. Охрана труда на производстве: Профессиональные риски и меры защиты / В.Н. Сидоров. Санкт-Петербург: Научный мир, 2020.
7. СТ РК 2.302 СТ РК Методика выполнения измерений. Определение массовой концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе, в воздухе рабочей зоны, в промышленных выбросах газоанализатором.

8. Очистка воздуха в закрытых помещениях от высокодисперсных частиц и аэрозолей / Л.П. Пилиневич, М.В. Тумилович. М., 2022.
9. Удаление пыли из производственных помещений, оборудование, фильтры очистки, системы, принципы, методы и схемы промышленного обеспыливания [Электронный ресурс] // интернет-сайт. Источник: https://gas-cleaning.ru/article/industrial-dedusting
10. Об утверждении Санитарных правил «Санитарно-эпидемиологические требования к зданиям и сооружениям производственного назначения». Приказ Министра здравоохранения Республики Казахстан от 3 августа 2021 года № ҚР ДСМ-72. Глава 5. Санитарно-эпидемиологические требования к теплоснабжению, вентиляции и кондиционирования воздуха зданий, помещений и сооружений производственного назначения.

Исследование уровня загрязнения воздуха рабочей зоны в мебельном цехе

***БЕГИМБЕТОВА Айнур Серикбаевна,** PhD, директор института, a.begimbetova@aues.kz,*
***ДЮСЕМБАЕВА Дильназ Курманжановна,** магистрант, d.dyussembayeva@aues.kz,*
Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Алматы, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

***Аннотация.** Рассматривается проблема загрязнения на современных мебельных заводах с упором на пылеподавление рабочей зоны. Исследуются основные причины загрязнения, включая процессы обработки и отделки материалов, а также его влияние на здоровье работников, в частности, приводящее к респираторным заболеваниям и аллергическим реакциям. Анализируются существующие методы контроля уровня загрязнения и защитные меры, включая аспирационные системы, фильтрацию и средства индивидуальной защиты (СИЗ). Особое внимание уделяется их эффективности и практическому применению в производстве. Даны рекомендации по улучшению условий труда и снижению запыленности, включая внедрение современных технологий очистки воздуха, регулярные проверки систем вентиляции, а также обучение персонала правилам безопасности и эксплуатации СИЗ. Подчеркивается важность комплексного подхода к обеспечению безопасной и здоровой рабочей среды в мебельной промышленности, а также необходимость соблюдения экологических норм для защиты как рабочих, так и окружающей среды. В заключение подчеркивается важность постоянного контроля и совершенствования процессов для достижения наилучших результатов в борьбе с загрязнением воздуха.*

***Ключевые слова:** лесная промышленность, аспирационные системы, древесная пыль, загрязнение воздуха в рабочей зоне, аспирационный насос УВП-1200, обработка мебели, средства индивидуальной защиты, благоприятные условия труда, очистка воздуха, качество воздуха.*

Study of Air Pollution Level in the Working Area in a Furniture Workshop

***BEGIMBETOVA Ainur,** PhD, Director of Institute, a.begimbetova@aues.kz,*
***DYUSSEMBAYEVA Dilnaz,** Master's Student, d.dyussembayeva@aues.kz,*
Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, Kazakhstan,
**corresponding author.*

***Abstract.** The problem of pollution in modern furniture factories is considered with an emphasis on dust suppression of the work area. The main causes of pollution, including the processes of processing and finishing materials, as well as its impact on the health of workers, in particular, leading to respiratory diseases and allergic reactions, are being investigated. The existing methods of pollution control and protective measures, including aspiration systems, filtration and personal protective equipment (PPE), are analyzed. Special attention is paid to*

their effectiveness and practical application in production. Recommendations are given to improve working conditions and reduce dust, including the introduction of modern air purification technologies, regular inspections of ventilation systems, as well as staff training in safety and PPE operation. The article highlights the importance of an integrated approach to ensuring a safe and healthy working environment in the furniture industry, as well as the need to comply with environmental regulations to protect both workers and the environment. In conclusion, the importance of continuous monitoring and improvement of processes is emphasized in order to achieve the best results in the fight against air pollution.

Keywords: *forestry industry, aspiration systems, wood dust, air pollution in the work area, aspiration pump UVP-1200, furniture processing, personal protective equipment, favorable working conditions, air purification, air quality.*

REFERENCES

1. Sovremennye metody ocenki professional'nyh riskov i ih znachenie v sisteme upravleniya ohranoj truda // XXI vek. Tekhnosfernaya bezopasnost'. Ohrana truda i promyshlennaya bezopasnost' / Timofeeva S.S., 2016. – № 1 (1). – Pp. 14-24.
2. Indoor air quality research within a furniture factory R.V. Corlan, I. Ionel, Politehnical University of Timisoara, Faculty of Mechanical Engineering, 2021.
3. Ekologicheskie aspekty derevoobrabatyvayushchih proizvodstv / Karlova, O.V. Molodye uchenye v reshenii aktual'nyh problem nauki: po materialam Vserossijskoj nauchno prakticheskoj konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh. – Krasnoyarsk, 2017. Pp. 330-333.
4. Metody kontrolya zagryazneniya vozduha na promyshlennyh predpriyatiyah / L.P. Fedorova // Zhurnal «Ohrana truda», 2019. Pp. 45-52.
5. Pyleudalenie i ventilyaciya v proizvodstvennyh pomeshcheniyah / I.A. Zajcev. Ekaterinburg: UralGTU, 2021.
6. Ohrana truda na proizvodstve: Professional'nye riski i mery zashchity / V.N. Sidorov. Sankt-Peterburg: Nauchnyj mir, 2020.
7. ST RK 2.302 ST RK Metodika vypolneniya izmerenij. Opredelenie massovoj koncentracii vrednyh veshchestv v atmosfernom vozduhe, v vozduhe rabochej zony, v promyshlennyh vybrosah gazoanalizatorom.
8. Ochistka vozduha v zakrytyh pomeshcheniyah ot vysokodispersnyh chastic i aerozolej / L.P. Pilinevich, M.V. Tumilovich. Moscow, 2022.
9. Udalenie pyli iz proizvodstvennyh pomeshchenij, oborudovanie, fil'try ochistki, sistemy, principy, metody i skhemy promyshlennogo obespylivaniya [Elektronnyj resurs] // internet-sajt. Istochnik: https://gas-cleaning.ru/article/industrial-dedusting
10. Ob utverzhdenii Sanitarnyh pravil «Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k zdaniyam i sooruzheniyam proizvodstvennogo naznacheniya». Prikaz Ministra zdravoohraneniya Respubliki Kazahstan ot 3 avgusta 2021 goda № KR DSM-72. Glava 5. Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k teplosnabzheniyu, ventilyacii i kondicionirovaniya vozduha zdanij, pomeshchenij i sooruzhenij proizvodstvennogo naznacheniya.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_78 ӘОЖ 331.45:622.73:613.6

Кен байыту өндірісі жұмысшыларының еңбек жағдайының кәсіби қауіп деңгейін бағалау

[1]***КАППАРОВА Толганай Сериковна,** докторант, tolga_22@mail.ru,*
*[1]**РАМАТУЛЛАЕВА Лаззат Имамадиновна,** т.ғ.к., кафедра меңгерушісі, ramatullaeva_l@mail.ru,*
*[2]**УАХИТОВА Багдагуль Тулеуовна,** PhD, кафедра меңгерушісі, Uakhitova_bt@mail.ru,*
*[3]**АМАНЖОЛ Изтилеу Аманжолович,** м.ғ.д., профессор, amanzhol766@mail.ru,*
*[3]**МЕРЕКЕ Әйгерім Жұмағалиқызы,** магистр, аға оқытушы, aika_18.08.94@mail.ru,*
[1]Мұхтар Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті, Шымкент, Қазақстан,
[2]Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан,
[3]Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

***Аңдатпа.** Пайдалы қазбаларды байыту технологиясындағы прогрессивті өзгерістер өндірістік және кәсіптік факторлардың сипаты мен қарқындылығына және олардың осы өндірістерде жұмыс істейтін жұмысшылардың денсаулық жағдайына әсер етпеуі мүмкін емес екендігі белгілі. Кез-келген өнеркәсіптік кәсіпорындарда еңбекті қорғау жүйесін басқару үшін кәсіби тәуекелдерді талдау және бағалау бойынша кешенді деректер болуы қажет. Пайдалы қазбаларды байытудың технологиялық процестері жұмыс ортасының зиянды факторларының кешенімен бірге жүреді: бұлар шаңдану, шу қарқыны, діріл, қолайсыз микроклимат. Алайда, пайдалы қазбаларды байытумен айналысатын жұмысшылар мен қызметкерлердің денсаулығын қорғау мәселелерін шешуге көңіл бөліну деңгейі жеткіліксіз. Кәсіби қауіпті бағалау әдістемесін пайдалану арқылы өндірісте жағымсыз өндірістік факторлардың әсерінен қалыптасатын қауіпсіз жұмыс мерзімін анықтауға болады. Өндірістік-технологиялық факторлар мен еңбек процесі көрсеткіштерінің экспозициясы мен деңгейін талдау арқылы қауіпсіз еңбек мерзімінің максимальды уақытын анықтауға мүмкіндік бар. Жұмыстың мақсаты – кен байыту өндірісі жұмысшыларының еңбек жағдайының кәсіби қауіп деңгейін бағалау. Жұмыс орындарындағы кәсіби зияндылықтардың деңгейіне талдау жүргізу арқылы кәсіп түрлері бойынша нақты шамада кәсіби қауіптің дәрежесін, ықтималдығын және салдарын анықтау мүмкін болады. Анықталған кәсіби қауіп деңгейін төмендету бойынша тиімді шаралар қарастырылады.*

***Кілт сөздер:** еңбектің қауіпсіздігі, еңбек жағдайлары, еңбектің зияндылық класы, шу, діріл, кен байыту өндірісі, кәсіби қауіп.*

Кіріспе. Тау-кен өндіру және байыту өнеркәсібі Қазақстан Республикасы үшін елдің орнықты экономикалық даму стратегиясын құруға және іске асыруға мүмкіндік беретін сала ретінде үлкен маңызға ие. Бірақ, екінші жағынан, бұл ең проблемалы өнеркәсіп салаларының бірі, өйткені мұнда еңбек қауіпсіздігі, апаттылығы және өндірістік жарақаттанудың жоғары деңгейі мәселелері бойынша айрықша көкейтесті болып саналады. Өндірістік қауіптер мен қауіп тәуекелдері жағдайларын зерделеу барлық дерлік елдер үшін өзекті мәселе болып саналады. Мұндай ахуал өнеркәсіп салалары бойынша индустрияландырудың аса қарқынды (жаңа технологиялар мен жоғары өнімді құрал-жабдықтардың ендірілуі, өндірістің энергиялық құндылығының артуы, адам үшін ықпалды толықтай зерттелмеген зиянды және қауіпті заттардың қолданылуы) жүруімен байланысты қалыптасуда. Еңбекті қорғау және еңбек қауіпсіздігі тәжірибесінде кәсіби қауіпті талдау концепциясы негізі болып қауіптерді басқарудың ғылыми-әдістемелік тәсілдері саналады.

Өзектілігі. Өнеркәсіптік кәсіпорындарда еңбек қорғау жүйесін тиімді басқару үшін өндірістік ортаның жағымсыз физикалық факторлар деңгейіне тұрақты мониторинг жүргізіп отыру керек [1]. Мониторинг санитарлық және кәсіби гигиеналық жағдайларды, жұмысшылардың денсаулығына қауіп төндіретін еңбекті ұйымдастыру факторларын, ұжымдық және жеке қорғаныс құрал-

дарын, қауіпті агенттерге жұмысшылардың экспозициясын және оларды болдырмауға немесе шектеуге арналған бақылау жүйелерін бағалауды қамтиды [2]. Қазіргі уақытта бірқатар жерасты және ашық полиметалл кенін өндіру кәсіпорындарында қуатты, өнімділігі жоғары тау-кен техникасын тарту есебінен техникалық қайта жарақтандыру жүргізілді. Алайда, өндірістік ортаның шаңдануымен, шумен және дірілмен күресудің, жұмыс орындарындағы микроклимат параметрлерін қалыпқа келтірудің тиімді құралдарын енгізу көп жағдайларда кешеуілдеп жатыр [3]. Мұндай ахуал қалыптасқан еңбек жағдайларының нашарлауына, жұмысшылардың жалпы және кәсіптік сырқаттанушылық көрсеткіштерінің өсуіне, сондай-ақ, өндірістік жарақаттануға әкелуі мүмкін [4-7].

Қазіргі кезде жұмыс істейтін тұрғындардың денсаулығын кәсіби қауіптерді бағалау тұрғысынан басқару концепциясы алдыңғы қатарға шығарылып, кең қолдау алуда [8-9]. Өнеркәсіптік кәсіпорындарда еңбекті қорғау жүйесін басқару үшін кәсіби тәуекелдерді талдау және бағалау бойынша кешенді деректер болуы қажет. Тәуекел – бұл өндірістік қызметтің сөзсіз ілеспе факторы. Өндірістік орта факторларының және еңбек процесінің қолайсыз әсерінен денсаулыққа зиян келтіру ықтималдығы мен зардаптардың ауырлығының өлшемі ретінде кәсіби тәуекелді бағалау, әдетте, олардың экспозициясы мен денсаулықтың бұзылу көрсеткіштерін ескере отырып жүргізіледі [5].

Мақсаты. Кен байыту өндірісі жұмысшыларының еңбек жағдайының (жұмыс орындарындағы) еңбек зияндылығы класын ескере отырып, кәсіби қауіп деңгейін бағалау жұмыстың мақсаты болып саналады.

Талдаудың материалдары мен әдістері. Еңбек жағдайының сипаттамасын талдау және жұмыс орындарындағы жағымсыз факторлардың әсер ету қарқындылығын бағалау үшін «Nova Zinc» жауапкершілігі шектеулі серіктестіктің өндірістік учаскелерінде жүргізілген өзіндік зерттеулердің нәтижелері талқыланды. Зерттеу объектілері болып байыту фабрикасының жұмыс орындары мен еңбек процесінің факторлары саналады. Сонымен қатар, зиянды өндірістік факторлар әсерінде жұмыс атқаратын байыту фабрикасының негізгі кәсіби топқа жатқызылған жұмысшы мамандықтардың іріктелуі жүргізілді.

Талқылау. Жұмысшылардың денсаулық жағдайына кәсіби қауіп түрінде әсер етуші факторларды анықтау мақсатында «Nova Zinc» жауапкершілігі шектеулі серіктестіктің байыту фабрикасының өндірістік учаскелерінде гигиеналық зерттеулер жүргізілді. Ақжал кен орнында аталған тау-кен комбинаты өндіретін қорғасын – мырыш кендерін байытумен айналысатын жұмысшылардың еңбегі 8 сағаттық үш ауысымды еңбек режимінде қалыптасқан. Байыту фабрикасы құрылымындағы негізгі өндірістік бөлімшелерге – ірі және орташа ұсақтау корпусы; ауыр суспензиялар цехы; ұнтақтау бөлімшесі; флотациялау бөлімшесі; сүзгіден өткізу – кептіру бөлімшесі жатады.

Ақжал кен орнының қорғасын-мырыш кенін қайта өңдеп, байытудың технологиялық сызбасын мынадай үдерістер құрайды: кен массасын ұсақтау – кенді ауыр суспензияларда байыту – ұнтақтау, классификация – флотация – сусыздандыру, фильтрация – дайын өнімді жөнелту. Кен массасын ұсақтау ЩДП-12*15 және КСД-2200 Т ұсақтағыштарында жүргізіліп, ГИТ-51 елегішінен өткізіледі. Кенді ауыр суспензияларда байыту үшін ГИСТ-72 инерциялық елеуіші, СБМ-200 сепараторы, КМД-1750 конусты ұсақтағышы, 2КС-24 спиральды классификаторы қолданылады. Ұнтақтау технологиясы үшін Бас корпуста 1-ші сатылы ұнтақтау үшін МШР-3,6*4 диірмені, 2КС-24 спиральды классификаторы, ГЦ-1000 гидроциклоны, 2-ші сатылы ұнтақтау үшін МШЦ-2,7*3,6 диірмені, ГЦ-500 гидроциклоны, МШР-2,1*3 диірмені орналастырылған. Флотациялау технологиясы қорғасын кені үшін ФМР-6,3 флотомашинасында (негізгі және бақылау үрдісі) және ФМР-3,2 флотомашинасында (қайталап тазалау үрдісі), мырыш кені үшін ФМР-6,3 флотомашинасында жүргізіледі. Мырыш және қорғасын концентраттарын қоюландыру процестері Ц12-М1 қорғасын қоюландырғышында және П-25 мырыш қоюландырғышында атқарылады. Сүзгіден өткізу (фильтрация) үшін БОН-10 қорғасын циклі мен БОН-40 мырыш циклі қолданылады.

Қорғасын және мырыш кенін байытудың технологиялық үрдістері барысында жұмысшыларға жүргізілген хронометражды зерттеулер нәтижелері олардың еңбектік іс-әрекеттері белгілі дәрежеде нервтік-эмоциялық кернеулікпен байланысты екендігін көрсетеді. Питатель машинисті, флотаторщик, қоюландырғыштар аппаратшысы, ұсақтаушы еңбегінде жоғары сенсорлы (көру, есту) және эмоциялық (өзінің және басқаның қауіпсіздігіне жауапкершілік) жүктемелер деңгейі жоғары (3.2).

Кенді байыту үрдістерін атқарғанда жұмысшылар еңбектің біріктірілген кәсіби және операциялар бойынша формаларын жүргізеді. Қолмен атқаратын жұмыс түрлерін жүргізетін (ұсақтағыштар, транспортировщиктер, құрал-жабдықтарды жөндейтін слесарь, кезекші слесарь-сантехник, сепараторшы) еңбегінің хронометражды сипаты олардың еңбегінде көп жағдайда аймақтық жүктемелер басым болатындығын көрсетеді. Олардың

түрлеріне: ауыр еңбекке жатқызылатын қол еңбегінің үлесі ауысым уақытының 57-62% құрайтындығы, статикалық және динамикалық жүктемелер, түрлі салмақты жүктерді қашықтыққа тасымалдау, ауысым барысында шамадан тыс дененің еңкеюі, бүгілуі көрсеткіштері жатады. Еңбек жағдайын бағалау көрсеткіштері (1-сурет) өндірістік орта мен еңбек процестері факторлары жиынтығы еңбек жағдайының қорытынды бағалануы зиянды деңгейде екендігін көрсетеді. Өндірістік-технологиялық үрдістерді атқару барысында негізгі кәсіби міндеттерді атқаратын мамандықтар (питатель машинисті, ұсақтаушы, флотаторщик, транспортировщик) еңбегінің жалпы бағалануы еңбек жағдайының 3.2-3.3 кластарына сәйкес келеді.

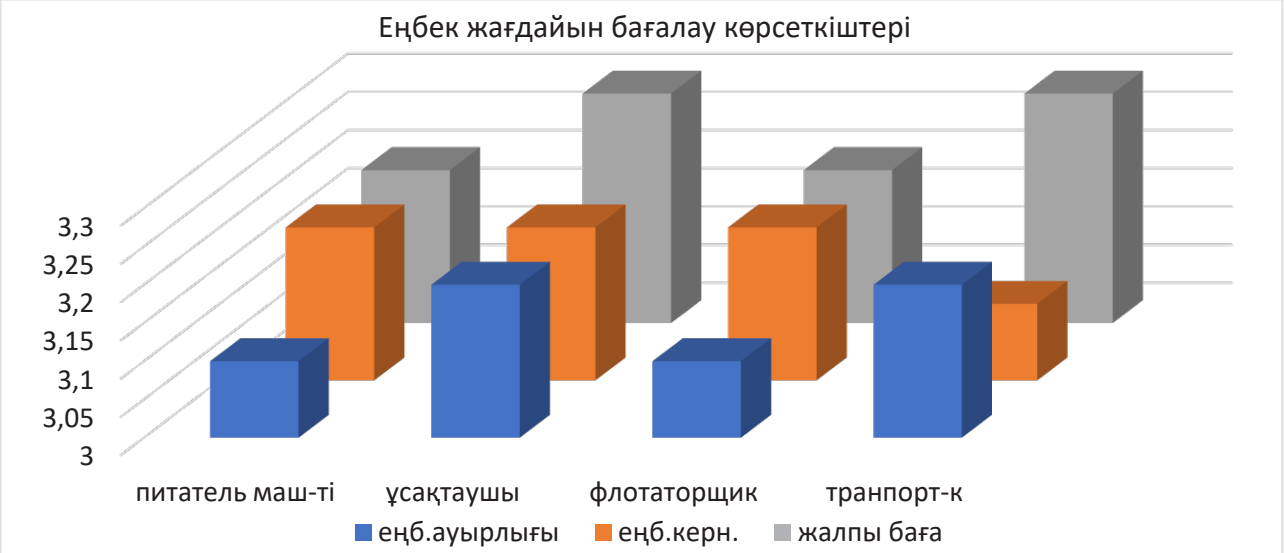
Еңбек жағдайын гигиеналық талдау 2.2.2006-06 «Жұмыс ортасы және еңбек процесі факторларын гигиеналық бағалау бойынша Басшылық. Еңбек жағдайларының классификациясы және критерийлері» әдістемесіне сәйкес жүргізілді. Байыту өндірісіне сипатты негізгі өндірістік орта факторлары ретінде микроклимат көрсеткіштері, шаң-газ аэрозольдары, жарықтандыру, жұмыс орындарындағы шу мен діріл деңгейлері талдауға алынды.

Кен байыту өндірісінде қолданылатын машиналар мен механизмдердің көпшілігі шу мен діріл деңгейінің жоғарылауының көзі болып табылады. Машиналар мен механизмдерге қызмет көрсету кезінде дірілдің жалпы әсері: дірілді адамға еден, отыру, басқару тұтқалары арқылы беру, жұмыс орнының дірілін жергілікті дірілмен біріктіру. Әр түрлі машиналар, механизмдер жұмыс істеген кезде діріл деңгейі және оның жұмысшыға әсер ету сипаты әр түрлі болады. Қорғасын-мырыш кендерін байыту барысында жұмыс ортасының басым зиянды факторы болып шу саналады (2-сурет), олардың параметрлері шектелген рұқсат етілген шамалардан жоғары болады және негізгі кәсіптердегі жұмысшыларда еңбек жағдайын 3.2-3.3 зиянды лық класы дәрежесінде классификациялауға мүмкіндік береді.

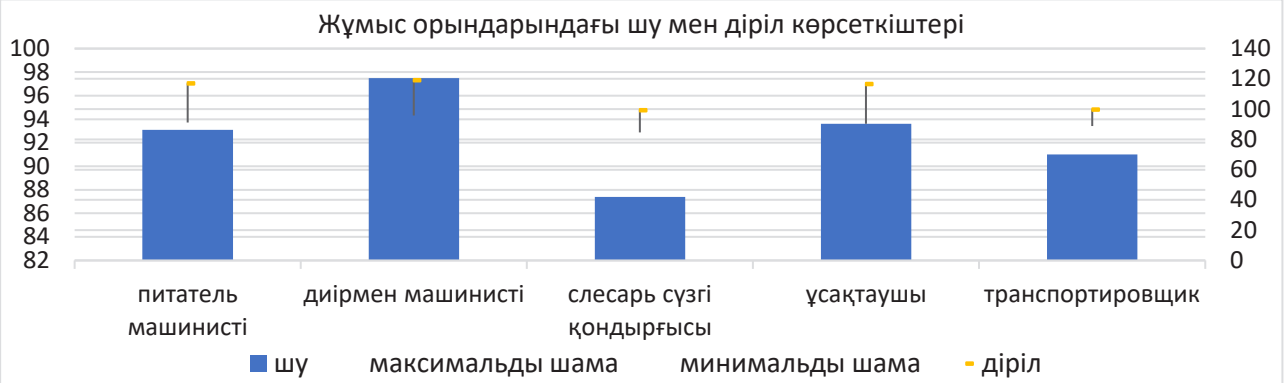
Сорғы қондырғыларының, питательдің, диірменнің жұмыстары барысында технологиялық діріл деңгейі жоғары мағыналарда анықталып, эквивалентті коррекцияланған деңгейі машинистердің, ұсақтаушылардың жұмыс орындарында 8-9 дБ дейін ШРЕД артық тіркеледі.

Өндірістік шудан бөлек, қорғасын-мырыш кендерін байыту өндірісінде еңбек жағдайының гигиеналық жағымсыздығы ұсақтау бөлімшесінде ауа температурасының төмен болуымен (3.1 класс) және жұмыс ортасының артық шаңдануымен (3.1 класс) анықталады. Байыту фабрикасының жұмысшылары көпкомпонентті шаңның (қорғасын тотығы, мырыш тотығы, темір тотығы, марганец тотығы) әсеріне ұшырайды. Кен материалдарын ұсақтау және електен өткізу процестерін атқару барысында жұмыс аймағы ауасындағы шаңның концентрациясы ШРЕК көлемінен 2-3 есе жоғары анықталады, ал кен массасын ұнтақтау, қоюландыру, фильтрациялау үрдістерінде оның деңгейі қалыпты шамалардан аспайды.

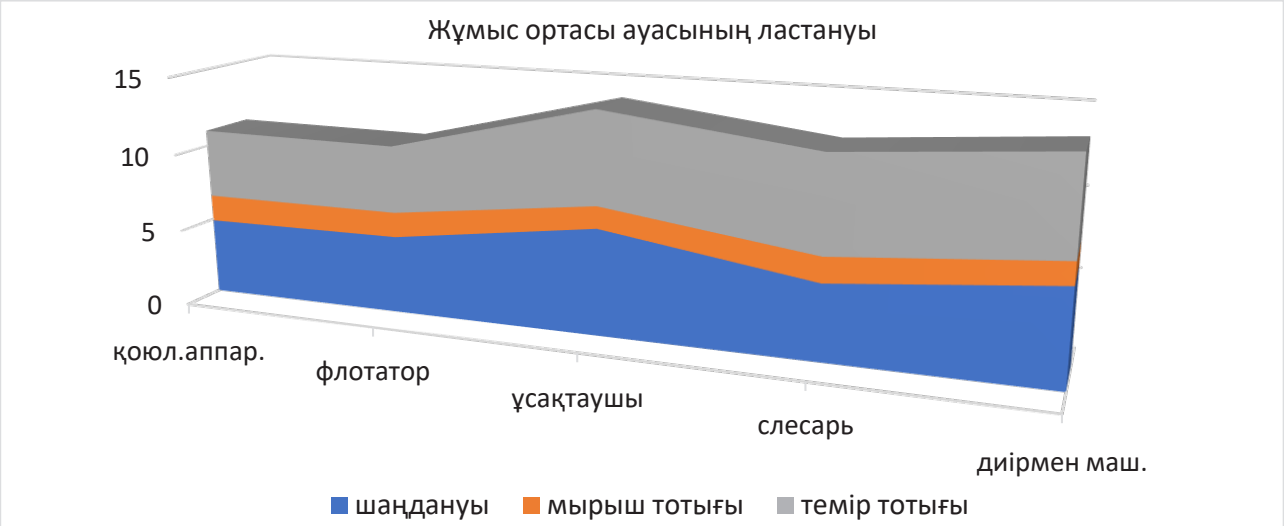
Жұмыс орындарында анықталған шаңданудың неғұрлым жоғары деңгейлері (3-сурет) реагенттер ерітінділерін мөлшерлеу,



1-сурет – Кен байыту кәсіпорны жұмысшыларының еңбек жағдайын бағалау көрсеткіштері



2-сурет – Негізгі мамандықтар бойынша жұмыс орындарындағы анықталған шу мен діріл көрсеткіштері



3-сурет – Жұмыс орындарында анықталған шаңдану мен химиялық қоспалар деңгейлерінің салыстырмалы көрсеткіштері

кептіру және дайындау операцияларын жүргізетін жұмыс орындарында анықталады және шаңның орташа ауысымдық концентрациялары шектелген рұқсат етілген шамаларда 1,5-2,1 есе жоғары тіркеледі.

Байыту фабрикасының Бас корпусындағы кеніш шаңының орташа ауысымдық концентрациясы технологиялық құрал-жабдықтарды басқаратын машинистердің (питатель машинисті, диірмен машинисті) жұмыс орындарында 5,3-тен 6,1 мг/м^3 шегінде ауытқиды. Сонымен қатар, кеніш шаңы құрамында мырыш пен темір көлемінің рұқсат етілген шамалардан жоғары екендігі (2,5 ШРЕК дейін) анықталады. Жұмыс аймағы ауасындағы көміртегі тотығы мен күкірт қостотығының анықталған көлемі шектелген рұқсат етілген концентрациялар шегінде болды. Демек, жоғары механикаландырылған өндірістік құрал-жабдықтарды пайдалану, бір жағынан, жұмысшылардың еңбегін айтарлықтай жеңілдеткенімен, екінші жағынан, кен байыту өндірістік процестері айтарлықтай шаң мен газдардың бөлінуімен жүреді. Кен байыту үрдістерінде шаң түзілудің негізгі көздеріне кенді түрлі дәрежеде ұсақтау тәрізді операциялар жатқызылады.

Кәсіпорындағы еңбек жағдайын бағалау нәтижелеріне сәйкес, өндіріске қуаттылығы жоғары қазіргі заманғы құрал-жабдықтар мен мырыш кенін өндіру мен байытудың негізгі технологиялық процестерін механикаландыруға қарамастан зиянды еңбек жағдайларында жұмыс істейтіндердің үлес салмағы жоғары болып отыр. Мырыш кенін байытудың негізгі технологиялық процестерінде барлық кәсіби топтар жұмысшыларының организміне технологиялық құрал-жаб-

дықтардан қарқынды бөлінетін шу, қуатты механизмдерден түзілетін өндірістік діріл, жұмыс аймағы ауасына көптеп бөлінетін мырыш кені шаңы, зиянды химиялық заттар, жағымсыз микроклимат, жарықтандырудың жетіспеушілігі және де еңбектің ауырлығы мен кернеулігі қолайсыз ықпалын тигізеді.

Қорытынды

1. Еңбек жағдайын бағалау нәтижесінде флотаторщик пен питатель машинистінің еңбегі – еңбектің ауырлығы бойынша 3 кластың 1 дәрежесіне, еңбектің кернеулігі бойынша 3 кластың 2 дәрежесіне сәйкес, ұсақтаушының еңбегі – еңбектің ауырлығы 3 кластың 2 дәрежесіне, еңбектің кернеулігі бойынша 3 кластың 2 дәрежесіне сәйкес келетіні анықталды.

2. Байыту фабрикасы жұмысшыларының еңбек жағдайын гигиеналық зерттеу нәтижелері олардың еңбектік іс-әрекеттері жоғары шаңдану (шектелген рұқсат етілген шамаларда 1,5-2,1 есе жоғары), қарқынды шу (рұқсат етілген деңгейден 3-тен 9 дБА дейін) мен діріл (8-9 дБ дейін ШРЕД артық) әсерінде жүретіндігін анықтауға мүмкіндік берді.

3. Байыту өндірісінің жұмыс орындарында анықталған «көтерімді қауіп» деңгейі еңбек жағдайының 2-ші класына, ал «шамалы», «едәуір» және «көтерімсіз» қауіп деңгейінде анықталғаны еңбек жағдайының 3-ші класына сәйкес болатыны бекітіледі.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Assessment and analysis of occupational risks in the underground mining of polymetallic ores / I.A. Amanzhol [et al.] // International Journal GEOMATE. 2023 volume 25. Pp. 101-108.
2. Петров В.П. Установление риска возникновения санитарно-эпидемиологических последствий чрезвычайных ситуаций // Гигиена и санитария. – 2007. – № 5. – С. 44.
3. Фомин А.И., Анисимов И.М. Разработка прогрессивной модели управления рисками возникновения профессиональных заболеваний у работников при разработке месторождения открытым способом // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2018; (4): 43-8.
4. Чеботарёв А.Г., Курьеров Н.Н. Гигиеническая оценка шума и вибрации, воздействующих на работников горных предприятий // Горная промышленность. 2020; (1): 148-153. https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-1-148-153
5. Адилов У.Х., Хаширбаева Д.М. Характеристика общих классов условий труда и профессиональных рисков, установленных различными методами // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019; (10-2): 250-7. https://doi.org/10.17513/mjpfi.12901
6. Хорошилова Л.С., Табакаева Л.М., Скалозубова Л.Е. К вопросу о профессиональной заболеваемости населения Кузбасса в 2005-2010 годах // Вестник Кемеровского государственного университета. 2012; (2): 194-7. (на русском).
7. Горленко Н.В., Мурзин М.А. Сравнительный анализ профессиональных рисков работников предприятий Иркутской области по добыче полезных ископаемых // XXI век. Техносферная безопасность. 2018; 3 (4): 23-31. (на русском).
8. Чеботарёв А.Г., Семенцова Д.Д. Комплексная оценка условий труда и состояния профессиональной заболеваемости работников горно-металлургических предприятий // Горная промышленность. 2021; (1): 114-119. (на русском)
9. Аманжол І.А., Орозов К.К., Жолмағамбетов Н.Р., Көшербаев С.А., Рахимберлина А.А. Ірі өнеркәсіп кешенінің негізгі өндірістік үрдістеріндегі кәсіби қауіп дәрежесін бағалау // Университет еңбектері – Труды университета (Карагандинский технический университет имени Академика А.С. Сагинова). – 2022. – № 2 (87). – С. 90-97.

Оценка уровня профессионального риска производственной деятельности рабочих обогатительного производства

[1]*КАППАРОВА Толганай Сериковна, *докторант, tolga_22@mail.ru,*
[1]РАМАТУЛЛАЕВА Лаззат Имамадиновна, *к.т.н., зав. кафедрой, ramatullaeva_l@mail.ru,*
[2]УАХИТОВА Багдагуль Тулеуовна, *PhD, зав. кафедрой, Uakhitova_bt@mail.ru,*
[3]АМАНЖОЛ Изтилеу Аманжолович, *д.м.н., профессор, amanzhol766@mail.ru,*
[3]МЕРЕКЕ Әйгерім Жұмағалиқызы, *магистр, старший преподаватель, aika_18.08.94@mail.ru,*
[1]Южно-Казахстанский исследовательский университет им. Мухтара Ауэзова, Шымкент, Казахстан,
[2]Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, Актобе, Казахстан,
[3]Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Известно, что прогрессивные изменения в технологии обогащения полезных ископаемых не могут не сказаться на характере и интенсивности производственных и профессиональных факторов и на состоянии здоровья работников, занятых на этих производствах. Для управления системой охраны труда на любых промышленных предприятиях необходимо наличие комплексных данных по анализу и оценке профессиональных рисков. Технологические процессы обогащения полезных ископаемых сопровождаются комплексом вредных факторов рабочей среды: это пыль, шумовые скачки, вибрация, неблагоприятный микроклимат. Однако недостаточно внимания к решению вопросов охраны здоровья рабочих и служащих, занимающихся обогащением полезных ископаемых. Используя методику оценки профессиональной опасности, можно определить безопасные сроки работы, которые формируются на производстве под влиянием негативных производственных факторов. Анализируя экспозицию и уровень производственно-технических факторов и показателей трудового процесса, можно определить максимальное время безопасной трудовой деятельности. Цель работы – оценка уровня профессиональной опасности условий труда работников горно-обогатительного производства. Путем проведения анализа уровня профессиональных опасностей на рабочих местах возможно определение степени, вероятности и последствий профессиональных опасностей в конкретных величинах по видам профессий. Рассматриваются эффективные меры по снижению уровня выявленной профессиональной опасности.*

Ключевые слова: *безопасность труда, условия труда, класс вредности труда, шум, вибрация, обогатительное производство, профессиональная опасность.*

Assessment of the Level of Occupational Risk in the Production Activities of Enrichment Plant Workers

[1]*KAPPAROVA Tolganay, *Doctoral Student, tolga_22@mail.ru,*
[1]RAMATULLAYEVA Lazzat, *Cand. of Tech. Sc., Head of Department, ramatullaeva_l@mail.ru,*
[2]UAKHITOVA Bagdagul, *PhD, Head of Department, Uakhitova_bt@mail.ru,*
[3]AMANZHOL Iztileu, *Dr. of Med. Sc., Professor, amanzhol766@mail.ru,*
[3]MEREKE Aigerim, *Master's Degree, Senior Lecturer, aika_18.08.94@mail.ru,*
[1]Mukhtar Auezov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan,
[2]K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan,
[3]Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *Progressive changes in mineral processing technology inevitably affect the nature and intensity of industrial and occupational factors, as well as the health of workers employed in these industries. For effective management of occupational safety systems at industrial enterprises, comprehensive data on the analysis and assessment of occupational risks are required. The technological processes of mineral processing are accompanied by a complex of harmful workplace factors such as dust, noise intensity, vibration, and unfavorable microclimate conditions. However, the level of attention given to protecting the health of workers and employees engaged in mineral processing remains insufficient. By applying the method-*

ology for assessing occupational hazards, it is possible to determine the safe working period under the influence of adverse industrial factors. Analyzing the exposure and levels of production-technological factors and labor process indicators makes it possible to determine the maximum duration of safe work. The purpose of this study is to assess the level of occupational risk for workers in the ore beneficiation industry. Through the analysis of occupational hazards at workplaces, it becomes possible to determine the degree, probability, and consequences of professional risks by type of occupation. Effective measures to reduce the identified level of occupational risk are also considered.

Keywords: *occupational safety, working conditions, occupational hazard class, noise, vibration, enrichment production, occupational hazard.*

REFERENCES

1. Assessment and analysis of occupational risks in the underground mining of polymetallic ores / I.A. Amanzhol [et al.] // International Journal GEOMATE. 2023 volume 25. Pp. 101-108.
2. Petrov V.P. Ustanovlenie riska vozniknoveniya sanitarno-epidemiologicheskikh posledstviy chrezvychaynykh situatsiy. [Gigiena i sanitariya]. No. 5. 2007. P. 44.
3. Fomin A.I., Anisimov I.M. Razrabotka progressivnoy modeli upravleniya riskami vozniknoveniya professional'nykh zabolevaniy u rabotnikov pri razrabotke mestorozhdeniya otkrytym sposobom. [Vestnik nauchnogo centra po bezopasnosti rabot v ugol'noy promyshlennosti]. No. 4. 2018. Pp. 43-48.
4. Chebotaryov A.G., Kur'erov N.N. Gigienicheskaya otsenka shuma i vibratsii, vozdeystvuyushchikh na rabotnikov gornykh predpriyatiy. [Gornaya promyshlennost']. No. 1. 2020. Pp. 148-153. https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-1-148-153
5. Adilov U.Kh., Khashirbaeva D.M. Kharakteristika obshchikh klassov usloviy truda i professional'nykh riskov, ustanovlennykh razlichnymi metodami. [Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy]. No. 10-2. 2019. Pp. 250-257. https://doi.org/10.17513/mjpfi.12901
6. Khoroshilova L.S., Tabakaeva L.M., Skalozubova L.E. K voprosu o professional'noy zabolevaemosti naseleniya Kuzbassa v 2005-2010 godakh. [Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta]. No. 2. 2012. Pp. 194-197.
7. Gorlenko N.V., Murzin M.A. Sravnitel'nyy analiz professional'nykh riskov rabotnikov predpriyatiy Irkutskoy oblasti po dobyche poleznykh iskopaemykh. [XXI vek. Tekhnosfernaya bezopasnost']. Vol. 3, No. 4. 2018. Pp. 23-31.
8. Chebotaryov A.G., Sementsova D.D. Kompleksnaya otsenka usloviy truda i sostoyaniya professional'noy zabolevaemosti rabotnikov gorno-metallurgicheskikh predpriyatiy. [Gornaya promyshlennost']. No. 1. 2021. Pp. 114-119.
9. Amanzhol I.A., Orozov K.K., Zholmagambetov N.R., Kosherbaev S.A., Rakhimberlina A.A. Ocenka i analiz professional'nykh riskov pri podzemnoj dobyche polimetallicheskikh rud. [International Journal GEOMATE]. Vol. 25. 2023. Pp. 101-108.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_85 ӘОЖ 553.31

Стратиформды темір кенді минералданудың бақылау факторларын интерпретациялауда геологиялық-құрылымдық модельдеудің рөлі

[1]**КИМ Владислав Олегович,** *докторант, vladislav.kim0712@gmail.com,*
[2]**ЧЕСКИДОВ Василий Владимирович,** *т.ғ.к., кафедра меңгерушісі м.а., vcheskidov@misis.ru,*
[1]**МАУСЫМБАЕВА Алия Думановна,** *т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, maussymbayevaaliya@gmail.com,*
[1]**ЕСИРКЕЕВ Есен Мейрамович,** *докторант, yessirkeyev@mail.ru,*
[1]***ИСАТАЕВА Фарида Муратовна,** *PhD, кафедра меңгерушісі, adambekova_farid@mail.ru,*
[1]Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
[2]«МИСиС» ұлттық зерттеу технологиялық университеті, Мәскеу, Ресей,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Орталық Қазақстандағы Кентөбе-Тоғай кен орындары тобының стратиформды темір кенді минералдануы үшөлшемді модельдеу негізінде геологиялық-құрылымдық тұрғыдан интерпретацияланады. Зерттеудің мақсаты – минералданудың кеңістіктік талдауын дұрыс жүргізудің негізі ретінде геологиялық-құрылымдық интерпретацияның рөлін ғылыми тұрғыдан негіздеу. Геологиялық деректерді кешенді өңдеу кенденген қабаттың, интрузивті денелердің және тектоникалық жарылымдардың кеңістіктік геометриясын қайта құруға мүмкіндік берді. Имплицитті 3D-модель тектоникалық блоктар жүйесі мен метасоматикалық өзгеру аймақтарымен бақыланатын минералданудың сегменттелген архитектурасын анықтады. Литологиялық-құрылымдық домендеу кен түзілу жағдайлары әртүрлі және ішкі құрылымы бойынша біркелкі емес кеңістіктік оқшауланған аймақтардың бар екенін көрсетті. Кен денелерінің геометриясы мен өзгергіштігі олардың таралуының табиғи шекараларын қалыптастыратын құрылымдық-литологиялық факторлармен анықталатыны белгіленді. Алынған нәтижелер интерполяция мен ресурстарды бағалауды дұрыс жүргізу үшін алдын ала геологиялық-құрылымдық талдау қажеттігін дәлелдейді.*

Кілт сөздер: *темір кенді кен орындары, құрылымдық модельдеу, домендер, минералданудың құрылымдық бақылауы, литологиялық модель, имплицитті модельдеу, тектоникалық жарылымдар, ресурстарды бағалау.*

Кіріспе

Орталық Қазақстандағы стратиформды темір кен орындары минералданудың күрделі кеңістіктік ұйымдасуымен сипатталады. Тектоникалық жарылымдар, интрузивтік жанасулар және заттың метасоматикалық қайта бөліну аймақтары кен денелерінің дискретті морфологиясын қалыптастырып, темір құрамының таралуында айқын біркелкі еместік туғызады [1]. Мұндай өзгергіштік кенденудің геологиялық дамуының заңды кезеңдерін көрсетеді және оны тек статистикалық вариациямен түсіндіруге болмайды. Ресурстық модельдеу тәжірибесінде кеңістіктік интерпретация көбінесе бұрғылау деректері мен сипаттамалық геологияға сүйенетін, алдын ала толыққанды геологиялық-құрылымдық модель құруды қарастырмайтын жеңілдетілген тәсіл жиі қолданылады. Құрылымдық жағынан күрделі кен орындары жағдайында мұндай тәсіл геологиялық тұрғыдан әртекті аймақтарды біріктіруге әкеліп, кеңістіктік талдаудың сенімділігін төмендетеді [2].

Зерттеу нысаны – гранитоид интрузиялардың экзожанасу аймағында қалыптасқан және үстемеленген метасоматикалық қайта өзгерістермен сипатталатын Орталық Қазақстандағы Кентөбе-Тоғай стратиформды темір кен орындары тобы. Бұл объектілердің геологиялық репрезентативтілігі оларды минералданудың құрылымдық бақылау факторларын талдауға арналған үлгілік жүйе ретінде қарастыруға мүмкіндік береді [3].

Әдістер мен материалдар

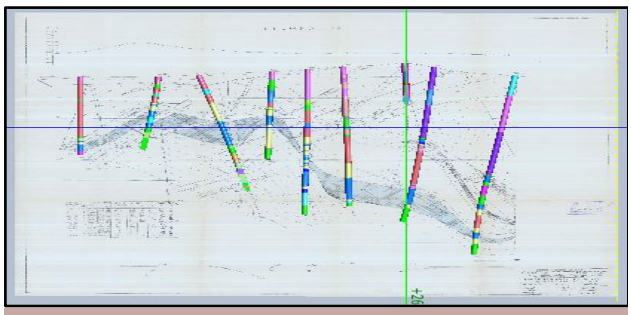
Зерттеу әдіснамасы стратиформды минералдануды кешенді геологиялық-құры-

лымдық интерпретациялауға және алынған нәтижелерді үшөлшемді цифрлық модельде формализациялауға негізделген. Зерттеу Орталық Қазақстандағы кремнийлі-карбонатты қабаттарға сәйкес келетін, қатпарлы-жарылымдық дислокациялармен күрделенген және жанасулық-метасоматикалық қайта өзгерістермен (скарндану, альбиттену, сульфидтену) сипатталатын Кентөбе-Тоғай стратиформды темір кен орындары тобының материалдары негізінде жүргізілді [3]. Аталған факторлардың үйлесімі кен денелерінің геометриясында дискреттілікті және темірдің таралуындағы ықтимал стационарсыздықты айқындайды, бұл әрі құрылымдық сегментациямен, әрі метасоматикалық әсердің зоналылығымен байланысты.

Әдіснамалық тұрғыдан зерттеу нысаны минералданудың кеңістіктік тұтастығы келесі факторлармен бақыланатын жүйе ретінде қарастырылды: 1) кендену аймақтарының стратиграфиялық орны, 2) интрузивтік жанасулар, 3) жарылымдар және олардың ықпал ету аймақтары. Осыған сәйкес модельдеудің негізгі міндеті рудалы денелердің, интрузивтік түзілімдердің, тектоникалық жарылымдардың және олармен байланысты ұсақталу аймақтарының геологиялық тұрғыдан негізделген үшөлшемді геометриясын қалпына келтіру болды, бұл кейінгі кеңістіктік талдауға табиғи шекаралар белгілеуге мүмкіндік береді.

Бастапқы кезеңде әртүрлі геологиялық деректер біріктіріліп, интрузивтік денелер мен тектоникалық бұзылыстардың кеңістіктік орналасуы нақтыланды. Архивтік растрлық қималар координаталық негізге байланыстырылып, геологиялық шекаралар цифрланды, бұл литологиялық және құрылымдық геометрияны сенімді қалпына келтіруге мүмкіндік берді (1-сурет). Цифрлау геологиялық геометрияны қалпына келтіру ретінде қарастырылды, себебі байланыстырудағы жүйелі қателер жанасу шекараларының ығысуына, домен шекараларының бұрмалануына және құрылымдық бақылаудың қате интерпретациялануына әкелуі мүмкін [4].

Қималар мен бұрғылау сипаттамалары негізінде 20-дан астам литологиялық айырмашылықтар анықталды, оның ішінде интрузивтік денелер (дайкалар) және метасоматикалық өзгеріске ұшыраған жыныстар бар. Литологиялық детализация минералданудың таралуына ықпал етуі мүмкін элементтерді айқындау құралы ретінде қолданылды: интрузивтік жанасулар, скарндану аймақтары және минералданған метасоматиттер. Сонымен қатар, минералдануды бақылаушы факторларды интерпретациялау және кейінгі домендеуді жүргізу үшін жеткілікті деңгейде литологияларды жалпылау орындалды:



1-сурет – Геологиялық қималардың растрлық кескіндері

геологиялық индикатор болып табылатын негізгі кластар (интрузиялар, скарндар, метасоматоз аймақтары, жарылымдар) сақталып, рудалану бақылауына әсер етпейтін қосалқы ерекшеліктер біріктірілді [5]. Жалпылау нәтижелері литологиялық бірліктерді кодтаудың біріздендірілген схемасы түрінде рәсімделді (кесте).

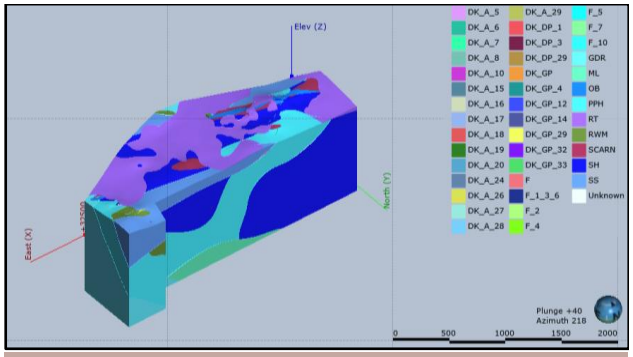
Геологиялық-құрылымдық интерпретация негізінде рудалы қалыңдық домендерге бөлінді. Домендер стратиграфиялық тиесілігіне, интрузивтік жанасулардың сипатына және жарылым аймақтарына қатысты орналасуына қарай ажыратылды. Олар деректердің статистикалық топтары ретінде емес, өзіндік құрылымдық ұйымдасуы бар кеңістіктік шектелген геологиялық жүйелер ретінде қарастырылды [6]. Мұндай тәсіл минералданудың геологиялық біркелкі еместігін дұрыс бейнелеуге мүмкіндік беріп, компоненттердің таралуындағы кеңістіктік заңдылықтарды кейінгі талдауға негіз қалады.

Тас иелерінің және интрузивті денелердің литологиялық моделі Leapfrog Geo-дағы имплицитті модельдеу әдісін қолдана отырып жасалған, ол сирек деректер желісі және жарықтар мен жанасу аймақтарымен күрделенген геометриялық күрделі құрылымдар жағдайында геологиялық беттердің үздіксіз сипаттамасын береді [7]. Каркастық модельді құру кезінде салыстырмалы жас иерархиясы қағидаты сақталды: модельдеу жас денелерден көне денелерге қарай жүргізілді, бұл олардың кеңістіктік өзара қатынастарының логикалық үйлесімділігін қамтамасыз етеді (2-сурет).

Геологиялық-құрылымдық модельдің құрылымдық бөлігі минералданудың кеңістіктік тұтастығын шектейтін факторлар ретінде жарылымдар жүйесін интерпретациялауға негізделді. Жарылым каркастары құрылғаннан кейін тектоникалық блоктардың моделі қалыптастырылды. Сонымен қатар, бұрғылау деректеріне сүйене отырып, жоғары жарықшақтылық пен ықтимал метасоматикалық

Литологиялық айырмашылықтардың кодтары

Литология	Код	Белгіленуі
Саздар және үгілу қыртыстары	RT	Борпылдақ шөгінділер
Дайкалар	DK	Дайкалар
Кен денесі	OB	Кен денесі
Минералданған жыныстар	RWM	Скаполит-дала шпаты метасоматиттері
Скарндар	SCARN	Пироксен-гранат скарндары
Пироксен-плагиоклаз роговиктері	PPH	Пироксен-плагиоклаз роговиктері
Құмтастар	SS	Роговиктенген құмтастар
Көмірлі-кремнийлі тақтатастар	SH	Роговиктенген көмірлі-кремнийлі тақтатастар
Гранодиориттер	GDR	Орта және ірі түйірлі гранодиориттер
Мәрмәрленген әктастар	ML	Мәрмәрленген әктастар



2-сурет – Литологиялық айырмашылықтардың каркастық моделі

қайта өзгеру аймақтары ретінде жарылымдардың ықпал ету зоналары бағаланды.

Құрылымдық домендер кен денелерінің геометриясын шектейтін және минералдануды қалыптасуы мен қайта өзгеру жағдайларындағы айырмашылықтарды көрсететін геологиялық тұрғыдан негізделген құрылымдық аймақтар ретінде бөлінді.

Домен шекаралары жарылымдар, олардың ықпал ету зоналары және интрузивтік жанасулар бойымен жүргізілді, өйткені дәл осы элементтер геометриялық үзілістер мен жоғары өткізгіштік аймақтарын қалыптастырады.

Домендеу кен қабаттың үйлесімді стратиформды таралған бөліктерін жарылымдармен бөлінген, ығысқан немесе қайта өңделген аймақтармен геологиялық тұрғыдан қате біріктіруді болдырмау мақсатында жүзеге асырылды.

Ғылыми нәтижелер

Құрылған литологиялық-құрылымдық модель Кентөбе кен орнының кенді жүйесінің кеңістіктік архитектурасын өзара байланысқан стратиформды горизонттар, интрузивтік денелер және тектоникалық жарылымдар жиынтығы ретінде қайта құруға мүмкіндік берді. Дәстүрлі жазықтық түсіндіруден айырмашылығы, модель стратиформды кенді горизонттің тектоникалық жарықтар жүйесімен және интрузивті байланыстармен қиылысуынан туындаған кен денелерінің сегменттелуін анықтады. Геометриядағы кеңістіктік вариациялар интрузивті денелер мен скарндану аймақтарының орналасуымен өзара байланысты, бұл метасоматикалық түрлендірулердің қабаттасқан сипатын көрсетеді. Алынған нәтижелер минералданудың таралуы кен орнының қалыптасуындағы геологиялық заңдылықтардың көрінісі екенін дәлелдейді.

Жарықтар жүйесін түсіндіру жарықтар кен көкжиегінің кеңістіктік үздіксіздігінің табиғи шекараларын құрайтынын көрсетті. Олар рудалы денелердің ығысуын, сыналануын және бөлшектенуін туғызып, минералдану жағдайлары әртүрлі тектоникалық блоктарды қалыптастырады. Сонымен қатар, жарылымдардың ықпал ету аймақтары жоғары жарықшақтылықпен және метасоматикалық қайта өзгерумен сипатталады, бұл руданың морфологиясы мен сапалық көрсеткіштерінің жергілікті өзгергіштігінен байқалады. Осылайша, жарылымдар бір мезгілде геометриялық тосқауылдар әрі заттың қайта бөліну арналары ретінде қызмет етеді. Жүргізілген талдау құрылымдық шекараларды елемеу геологиялық тұрғыдан әртекті аймақтарды біріктіруге әкелетінін, ал бұл кеңістіктік модельдеу кезінде әдістемелік бұрмаланулар туғызатынын көрсетті (3-сурет).

Литологиялық-құрылымдық домендеу геологиялық құрылысы мен кен түзілу жағдайлары бойынша салыстырмалы біртектілікпен сипатталатын кеңістіктік шектелген аймақтарды анықтады. Домендер бастапқы стратиформды минералдану аймақтарын

және интрузивті байланыстар мен жарықтармен байланысты қабаттасқан қайта өңдеу аймақтарын бөледі. Әрбір домен литологиялық және құрылымдық факторлардың өзіндік үйлесімін көрсетеді.

Литологиялық-құрылымдық интерпретацияны блоктық модельге көшіру геологиялық геометрияны дискреттеуге және оны бұрғылау деректерімен байланыстыруға мүмкіндік берді. Блоктық модель минералданудың кеңістіктік өзара байланыстарын, құрылымдық блоктарды және литологиялық шекараларды келісімді түрде бейнелейтін геологиялық тұжырымдаманың цифрлық көрінісі ретінде қарастырылады (4-сурет).

Осылайша, геологиялық интерпретацияға негізделген кеңістікті дискреттеу белгісіздікті азайтып, деректерді геологиялық тұрғыдан қате біріктірудің алдын алады. Модельдеу нәтижелері стратиформды темір кенді минералданудың кеңістіктік ұйымдасуы массивтің домендік архитектурасын қалыптастыратын құрылымдық-литологиялық факторлармен анықталатынын көрсетеді. Геологиялық-құрылымдық модель осы заңдылықтарды анықтаудың құралы ретінде қызмет етіп, кейінгі талдау үшін геометриялық шекараларды белгілейді [8].

Жүргізілген талдау Кентөбе кен орнының кенді жүйесінің кеңістіктік ұйымдасуы стратиграфиялық, интрузивтік және тектоникалық факторлардың өзара әрекеттесу заңдылықтарын бейнелейтінін көрсетті. Сандық интерполяция процедуралары геологиялық интерпретацияның туындысы ретінде қарастырылуы тиіс, ал олардың дұрыстығы бағалаудың геологиялық және құрылымдық контекстіне тәуелді.

Алынған нәтижелерді жүйелеу зерттеудің негізгі қорытындыларын тұжырымдауға мүмкіндік береді.

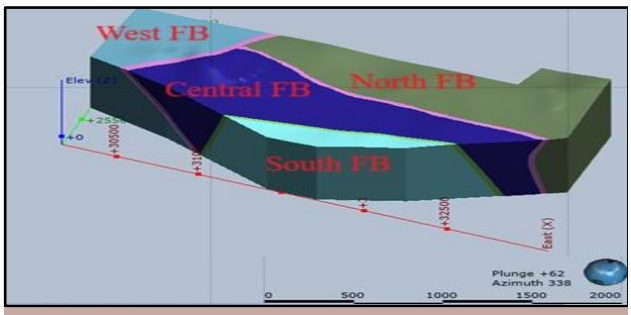
Қорытынды

1. Кентөбе-Тоғай кен орындары тобының стратиформды темір минералдануы кенді горизонттың дискретті архитектурасын қалыптастыратын стратиграфиялық, интрузивтік және жарылымдық құрылымдардың өзара әрекеттесуіне байланысты кеңістіктік сегментациямен сипатталады.

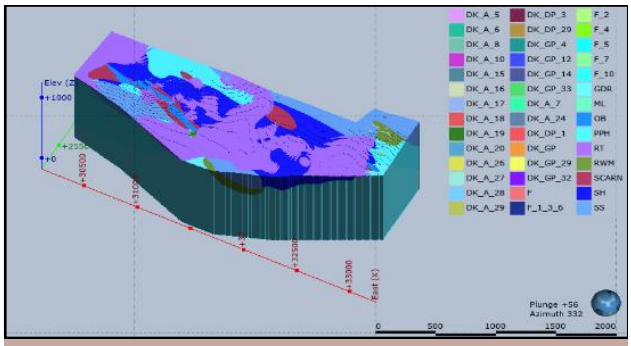
2. Жарылымдық бұзылыстар мен интрузивтік жанасулар минералданудың табиғи геометриялық шекаралары әрі заттың метасоматикалық қайта бөліну аймақтары ретінде әрекет етіп, рудалы денелердің морфологиясы мен ішкі құрылымының жергілікті өзгергіштігін анықтайды.

3. Литологиялық-құрылымдық домендеу кен түзілу жағдайларындағы айырмашылықтарды көрсетеді және бастапқы стратиформды минералдану мен қабаттасып қайта өңдеу аймақтары арасындағы геологиялық тұрғыдан негізделген айырмашылықты қамтамасыз етеді.

4. Сандық модельдеудің дәлдігі геологиялық контекстпен анықталады; сондықтан интерполяция процедуралары алдын ала геологиялық-құрылымдық түсіндіруге негізделуі керек.



3-сурет – Кентөбе кен орнының тектоникалық блоктары (West FB – Батыс блогы, Central FB – Орталық, North FB – Солтүстік, South FB – Оңтүстік)



4-сурет – Кентөбе кен орнының блоктық геологиялық-құрылымдық моделі

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Kim V. O., Maussymbaeva A. D., Madisheva R. K., Yessirkeyev Y. M. Study of geological features of iron ore

deposits in Kazakhstan to identify prospective regions. EURASIAN MINING. 2025. No. 2. Pp. 31-36.
2. Cao X, Liu Z, Hu C, Song X, Quaye JA, Lu N. Three-Dimensional Geological Modelling in Earth Science Research: An In-Depth Review and Perspective Analysis. Minerals. 2024; 14(7):686.
3. Issatayeva, F. & Kim, Vladislav & Cheskidov, V. & Maussymbayeva, A. & Madisheva, Rima & Askarova, Nazym & Imanbaeva, S. Stratigraphic and structural features of iron ore deposits of the silico-carbonate formation of central Kazakhstan. Вестник КазУТБ. 2025.
4. Wang C, Wang X, Chen J. Digital Geological Mapping to Facilitate Field Data Collection, Integration, and Map Production in Zhoukoudian, China. Applied Sciences. 2021; 11(11):5041.
5. Gloria Arienti, Andrea Bistacchi, Guillaume Caumon, Bruno Monopoli, Giovanni Dal Piaz, 3D structural implicit modelling of folded metamorphic units at Lago di Cignana with uncertainty assessment, Journal of Structural Geology, Volume 191, 2025, 105329, ISSN 0191-8141.
6. Kozhukhov A. A., Omelchenko D. R., Melnichenko I. A., Cheskidov V. V., Moseykin V. V. Modeling mineral component distribution in iron ore deposits. MIAB. Mining Inf. Anal. Bull. 2023; (8):5-17.
7. Veress E., Andersson J. B. H., Popova I., Annesley I. R., Bauer T. E. Threedimensional geologic modeling of the Kiruna Mining District, Sweden: insights into the crustal architecture and structural controls on iron oxide-apatite mineralization. Economic Geology. 2024. Vol. 119 (5). Pp. 1089-1113.
8. Florian Wellmann, Guillaume Caumon, Chapter One – 3-D Structural geological models: Concepts, methods, and uncertainties, Editor(s): Cedric Schmelzbach, Advances in Geophysics, Elsevier, Volume 59, 2018, Pages 1-121, ISSN 0065-2687, ISBN 9780128152089.

Роль геолого-структурного моделирования в интерпретации факторов контроля стратиформной железорудной минерализации

[1]КИМ Владислав Олегович, *докторант, vladislav.kim0712@gmail.com,*
[2]ЧЕСКИДОВ Василий Владимирович, *к.т.н., доцент, и.о. зав. кафедрой, vcheskidov@misis.ru,*
[1]МАУСЫМБАЕВА Алия Думановна, *к.т.н., ассоциированный профессор, maussymbayevaaliya@gmail.com,*
[1]ЕСИРКЕЕВ Есен Мейрамович, *докторант, yessirkeyev@mail.ru,*
[1]*ИСАТАЕВА Фарида Муратовна, *PhD, зав. кафедрой, adambekova_farid@mail.ru,*
[1]Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
[2]Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *В работе представлена геолого-структурная интерпретация стратиформной железорудной минерализации Кентобе-Тогайской группы месторождений Центрального Казахстана на основе трёхмерного моделирования. Цель исследования заключается в обосновании роли геолого-структурной интерпретации как основы корректного пространственного анализа минерализации. Комплексная обработка геологических данных позволила реконструировать пространственную геометрию рудоносной толщи, интрузивных тел и разрывных нарушений. Имплицитная 3D-модель выявила сегментированную архитектуру минерализации, контролируемую системой тектонических блоков и зонами метасоматического преобразования. Литолого-структурное доминирование определило наличие пространственно обособленных областей с различными условиями рудообразования и внутренней неоднородностью минерализации. Установлено, что геометрия и изменчивость рудных тел определяются структурно-литологическими факторами, формирующими естественные границы их распространения. Результаты подтверждают необходимость предварительного геолого-структурного анализа как основы корректного проведения интерполяции и оценки ресурсов.*

Ключевые слова: *железорудные месторождения, структурное моделирование, домены, структурный контроль, литологическая модель, имплицитное моделирование, разрывные нарушения, оценка ресурсов.*

The Role of Geological-Structural Modeling in the Interpretation of Control Factors of Stratiform Iron Ore Mineralization

[1]KIM Vladislav, *Doctoral Student, vladislav.kim0712@gmail.com,*
[2]CHESKIDOV Vassilliy, *Cand. of Tech. Sc., Acting Head of Department, vcheskidov@misis.ru,*
[1]MAUSSYMBAYEVA Aliya, *Cand. of Tech. Sc., Associate Professor, maussymbayevaaliya@gmail.com,*
[1]YESSIRKEYEV Yesen, *Doctoral Student, yessirkeyev@mail.ru,*
[1]*ISSATAYEVA Farida, *PhD, Head of Department, adambekova_farid@mail.ru,*
[1]Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
[2]National University of Science and Technology «MISIS», Moscow, Russia,
**corresponding author.*

Abstract. *The paper presents a geological and structural interpretation of stratiform iron ore mineralization at the Kentobe-Togay group of deposits in Central Kazakhstan based on 3D modeling. The objective of the study is to substantiate the role of geological and structural interpretation as the basis for an accurate spatial analysis of mineralization. Comprehensive processing of geological data allowed us to reconstruct the spatial geometry of the ore-bearing strata, intrusive bodies, and faults. An implicit 3D model revealed a segmented mineralization architecture controlled by a system of tectonic blocks and metasomatic transformation zones. Lithological and structural domaining revealed the presence of spatially isolated areas with different ore-forming conditions and internal heterogeneity of mineralization. It was established that the geometry and variability of ore bodies are determined by structural and lithological factors that shape the natural boundaries of their distribution. The results confirm the need for preliminary geological and structural analysis as the basis for accurate interpolation and resource estimation.*

Keywords: *iron ore deposits, structural modeling, domains, structural control, lithological model, implicit modeling, faults, resource assessment.*

REFERENCES

1. Kim V. O., Maussymbaeva A. D., Madisheva R. K., Yessirkeyev Y. M. Study of geological features of iron ore deposits in Kazakhstan to identify prospective regions. EURASIAN MINING. 2025. No. 2. Pp. 31-36.
2. Cao X, Liu Z, Hu C, Song X, Quaye JA, Lu N. Three-Dimensional Geological Modelling in Earth Science Research: An In-Depth Review and Perspective Analysis. Minerals. 2024; 14(7):686.
3. Issatayeva, F. & Kim, Vladislav & Cheskidov, V. & Maussymbayeva, A. & Madisheva, Rima & Askarova, Nazym & Imanbaeva, S. Stratigraphic and structural features of iron ore deposits of the silico-carbonate formation of central Kazakhstan. Вестник КазУТБ. 2025.
4. Wang C, Wang X, Chen J. Digital Geological Mapping to Facilitate Field Data Collection, Integration, and Map Production in Zhoukoudian, China. Applied Sciences. 2021; 11(11):5041.
5. Gloria Arienti, Andrea Bistacchi, Guillaume Caumon, Bruno Monopoli, Giovanni Dal Piaz, 3D structural implicit modelling of folded metamorphic units at Lago di Cignana with uncertainty assessment, Journal of Structural Geology, Volume 191, 2025, 105329, ISSN 0191-8141.
6. Kozhukhov A. A., Omelchenko D. R., Melnichenko I. A., Cheskidov V. V., Moseykin V. V. Modeling mineral component distribution in iron ore deposits. MIAB. Mining Inf. Anal. Bull. 2023; (8):5-17.
7. Veress E., Andersson J. B. H., Popova I., Annesley I. R., Bauer T. E. Threedimensional geologic modeling of the Kiruna Mining District, Sweden: insights into the crustal architecture and structural controls on iron oxide-apatite mineralization. Economic Geology. 2024. Vol. 119 (5). Pp. 1089-1113.
8. Florian Wellmann, Guillaume Caumon, Chapter One – 3-D Structural geological models: Concepts, methods, and uncertainties, Editor(s): Cedric Schmelzbach, Advances in Geophysics, Elsevier, Volume 59, 2018, Pages 1-121, ISSN 0065-2687, ISBN 9780128152089.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_91 ӘОЖ 622.831(574.3)=512.122

Тау жыныстары массивінің бұзылуын анықтауға арналған "РИПАС" аспабын сынау

***ЕФРЕМОВА Светлана Сергеевна,** аға оқытушы, svetik_1976@bk.ru,
ШМИДТ-ФЕДОТОВА Ирина Михайловна, PhD, аға оқытушы, irinka.shmidt@mail.ru,
АБЕУОВ Еркебулан Айтуганович, т.ғ.к., доцент, ercebulan69@mail.ru,
ИСИНА Назым Ерболатовна, магистрант, nazym.issina@gmail.com,
Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
*автор-корреспондент.

Аңдатпа. *Қарағанды көмір бассейнінің шахталарында 650 м тереңдікте кенжардың алдында бұзушылықтарды анықтау үшін РИПАС акустикалық құралын қолдану қарастырылған. Жүргізілген зерттеулер акустикалық сигналдарды талдау дәстүрлі геомеханикалық және визуалды әдістер бекітпейтін массивтің жарылуы мен тығыздалуының жоғарылау аймақтарын анықтауға мүмкіндік беретінін көрсетті. Спектрлік және уақыттық тәуелділіктер негізінде тектоникалық бұзылулардың учаскелері ретінде түсіндірілетін екі аномальды аймақ – жақын (4-7 м) және алыс (~50 м) бөлінеді. Нәтижелер қауіпті аймақтарды жергілікті болжау және өнеркәсіптік қауіпсіздікті арттыру үшін акустикалық әдістің тиімділігін растайды. РИПАС нәтижелерін микросейсмикалық және газ-геохимиялық зерттеулермен бірге пайдалану ұсынылды, бұл болжамның дұрыстығын арттыруға және тау-кен жұмыстарын жүргізу кезінде динамикалық құбылыстардың қаупін азайтуға мүмкіндік береді.*

Кілт сөздер: *көмір бассейні, акустикалық әдіс, РИПАС құралы, бұзылу болжамы, жарықтар, тектоникалық аймақтар, тау-кен қауіпсіздігі.*

Кіріспе

Қарағанды көмір бассейні жағдайында тау-кен жұмыстарының қауіпсіздігін қамтамасыз ету Қазақстанның көмір саласының негізгі міндеттерінің бірі болып қала береді. 600 м-ден астам тереңдіктегі қабаттардың дамуы газдың көптігімен, тау қысымының жоғары деңгейімен және массивтің айтарлықтай тектоникалық бұзылуымен бірге жүреді. Бұл факторлар метан мен көмірдің кенеттен шығуы, соққылар мен құлау қаупін тудырады, бұл болжау мен бақылаудың заманауи әдістерін қолдануды талап етеді [1, 2].

Дәстүрлі геомеханикалық есептеулер мен визуалды бақылау әдістерінің болжамдық қабілеті шектеулі, әсіресе жергілікті құрылымдық гетерогенділік аймақтарында. Осыған байланысты геофизикалық әдістер, соның ішінде, акустикалық әдістер кеңінен таралуда, бұл тау-кен жұмыстарының алдында массивтің бұзылу белгілері мен тазарту аймақтарын анықтауға мүмкіндік береді [3].

Перспективалы бағыттардың бірі-тау жыныстарындағы толқындық процестерді тіркеуге және талдауға негізделген РИПАС (бойлық акустикалық сигналдардың импульстік тіркеушісі) құралын пайдалану. Техника акустикалық сигналдардың таралу сипаты бойынша ортаның серпімді қасиеттері мен шиеленіскен күйінің өзгеруін диагностикалауға, тектоникалық бұзылулармен және жарықтың жоғарылауымен байланысты қалыптан тыс аймақтарды бекітуге мүмкіндік береді [4, 5].

Қарағанды бассейнінде акустикалық әдістерді қолданудың өзектілігі келесі факторлардың жиынтығына байланысты:

- алдын ала газсыздандыруды және шығарындыларды бақылауды қажет ететін көмір қабаттарының жоғары газдылығы [6];
- массивтің қасиеттерін жергілікті өзгертуге қабілетті күрделі тектоникалық құрылымдардың болуы [7];
- өндірістің кенжарында тікелей массивтің жай-күйін жедел болжау қажеттілігі.

650 м тереңдікте жүргізілген зерттеулер РИПАС сигналдарының спектрлік талдауы геологиялық бұзылу аймақтары ретінде түсіндірілетін тән ауытқуларды анықтауға мүмкіндік беретінін көрсетті. Болашақта мұндай нәтижелер динамикалық құбылыстардың жергілікті болжау жүйесіне біріктіріліп, тау-кен жұмыстарын жүргізу кезінде инженерлік шешімдер қабылдау үшін негіз ретінде пайдаланылуы мүмкін.

Зерттеу нысаны мен әдістері

Геологиялық және тау-кен техникалық шарттары

Зерттеулер Қарағанды көмір бассейнінің шахтасында 650 м көкжиекте жүргізілді. Бұл аудан көміртекті қалыңдықтың күрделі құрылымымен, қабаттардағы метаноздықтың жоғары деңгейімен және массивтің аймақтық ыдырауымен қатар жүретін тектоникалық бұзылулардың болуымен сипатталады. Терең көкжиектер тау қысымының жоғарылауына және айтарлықтай газ-динамикалық қауіптілікке әкеледі [1, 2]. Зерттелетін аймақ шегінде серпімді қасиеттердің өзгеруіне және жарықшақтың пайда болуына себеп болатын жергілікті геомеханикалық гетерогенділік байқалады. Дәл осы аймақтар таукен жұмыстарын жүргізу кезінде үлкен қауіп төндіреді және озық диагностиканы қажет етеді.

РИПАС құралы және жұмыс принципі

Сою алдында бұзушылықтарды диагностикалау үшін бойлық акустикалық сигналдардың импульстік тіркеушісі-РИПАС құралы қолданылды. Әдіс тау жыныстарындағы серпімді тербелістерді қоздыруға және қабылдау датчиктеріндегі реакцияны тіркеуге негізделген. Сигнал параметрлерін талдау (амплитудасы, спектрлік құрамы, энергиясы) физика-механикалық қасиеттері өзгерген аймақтарды анықтауға мүмкіндік береді [3].

Әдістің ерекшелігі-ортаның жарылуына, тығыздалуына және анизотропиясына жоғары сезімталдық. Қарағанды бассейнінің шахталары жағдайында бұл геологиялық бұзылулар мен газдың қалыптан тыс қанығу аймақтарын жергілікті болжау мүмкіндігін қамтамасыз етеді [4, 5].

Өлшеу әдістемесі

Өлшеу импульстар сериясымен жүргізілді, содан кейін сигналдар қазбада орналасқан қабылдау датчиктерінде тіркелді. Алынған мәліметтер бірнеше кезеңмен өңделді:

• *Спектрлік талдау* (1-сурет): жиілік диапазондарын анықтау және бұзылған аймақтардың белгілері ретінде түсіндірілетін қалыптан тыс шыңдардың оқшауланууы.

• *Сигналдарды уақытша талдау* (2-сурет): массивтің гетерогенділігін көрсететін әлсіреудің және қайталанған тербелістердің толқындық көрінісін тіркеу.

• *Сигналдар сериясын салыстырмалы талдау* (3-сурет): Табиғи ауытқуларды оқшаулау үшін жеке импульстар бойынша амплитудалық және энергетикалық сипаттамаларды салыстыру.

Бұл әдістер жиынтықта кенжардың алдындағы массивтің жай-күйі туралы кешенді түсінік береді және геологиялық бұзылудың ықтимал аймақтарын оқшаулауға мүмкіндік береді.

Зерттеу нәтижелері

Спектрлік сигналды талдау

Спектрограммада (1-сурет) кенжардан 4-7 м диапазонында амплитудасының қалыптан тыс шыңдары айқын белгіленеді, бұл серпімді қасиеттері өзгерген жергілікті аймақтың болуын көрсетеді. Екінші айқын максимум ~50 м аймақта байқалады, бұл үлкен тектоникалық бұзылуды көрсетеді.

Графиктегі қызыл тік сызықтар ықтимал тығыздалмаған тау жыныстарының аймақтары ретінде түсіндірілетін тіркелген резонанстық шыңдарға сәйкес келеді. Амплитудасының максималды мәні ~0,9-ға жетеді, бұл фондық мәндерден едәуір асады (<0,3) және массивтің гетерогенділігінің болуын растайды [1].

Акустикалық толқындардың уақытша түрі

Уақыт жазбасын талдау (2-сурет) әлсіреген тербеліс процесінің сериясымен бірге 10,79 с белгісінде тән өткір импульс көрсетті. Бірнеше жоғары жиілікті циклдардың болуы және олардың біртіндеп әлсіреуі жарықшақты ортада энергияның шашырауын көрсетеді.

Әрі қарайғы бөлім (10,82-10,85 с) толқындық көріністің тұрақтануын және сигналдың фондық деңгейге оралуын көрсетеді. Толқындық суреттің бұл түрі сигналдың жергілікті тазарту аймақтары арқылы өтуіне және одан кейін біртекті массивке шығуына тән [2, 3].

Сигнал серияларын салыстыру

Жеке іске асыру сериясында (3-сурет) қалыптан тыс жауаптардың қайталануы байқалады. Барлық бес сигнал жалпы құрылымға ие: бастапқы импульстің өткір фронты, орташа амплитудалық тербелістер кешені және ыдырайтын бөлікке шығу.

Айырмашылықтар сигналдардың амплитудасы мен энергиясында жатыр: мысалы, №2 сигнал жоғары жиілікті тербелістердің айқынырақ бөлігін көрсетеді, бұл жергілікті жерде жарықтың үлкен дәрежесін көрсетуі мүмкін. Энергияны салыстыру (E: 26 078-27 831) зерттелетін аймақ ішіндегі акустикалық сипаттамалардың өзгергіштігін көрсетеді, бұл массивтің гетерогенді құрылымын растайды [4].

Қосымша визуализация

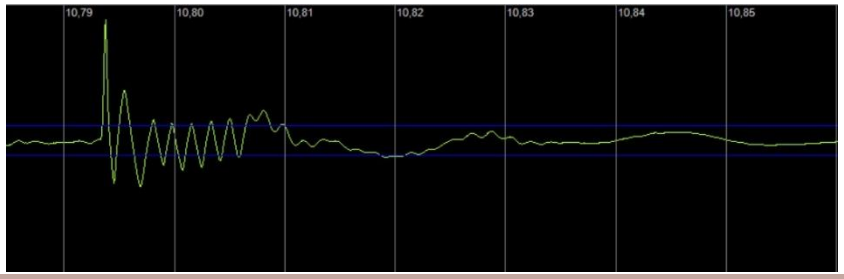
Түсінікті болу үшін сигналдың амплитудасын кенжардан қашықтыққа бөлудің жиынтық диаграммасы салынды (4-сурет). Ол көрсетеді:

• 0-5 м аралықта амплитудасының біркелкі өсуі;

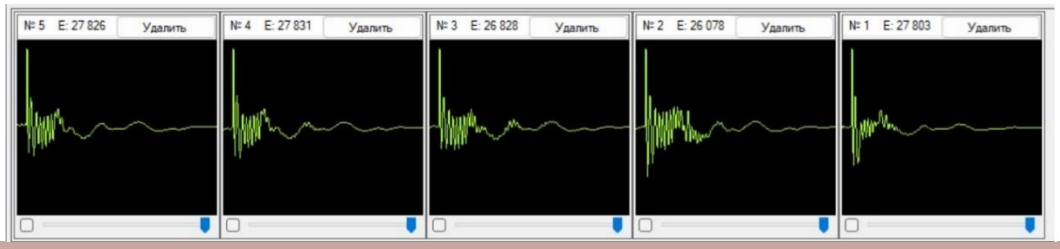
• 5 м аймақтағы өткір жергілікті максимум;

• 50 м ауданындағы амплитудасының қайталама жарылуы;

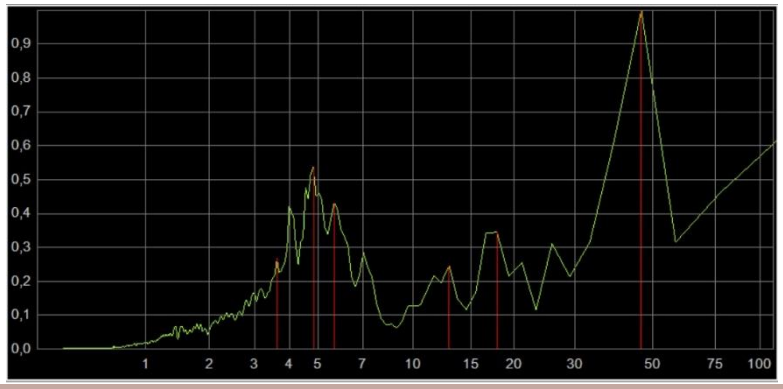
• фонда кейінгі төмендеу және тұрақтан-



1-сурет – Сигналды уақытша талдау



2-сурет – Спектрлік талдау



3-сурет – Сигналдар сериясын салыстырмалы талдау

дыру.

Мұндай үлестіру массивтің бұзылуының екі аймағының болуы туралы гипотезаға толығымен сәйкес келеді: жақын (4-7 м) және алыс (шамамен 50 м).

Нәтижелерді түсіндіру

Қалыптан тыс аймақтардың белгілері

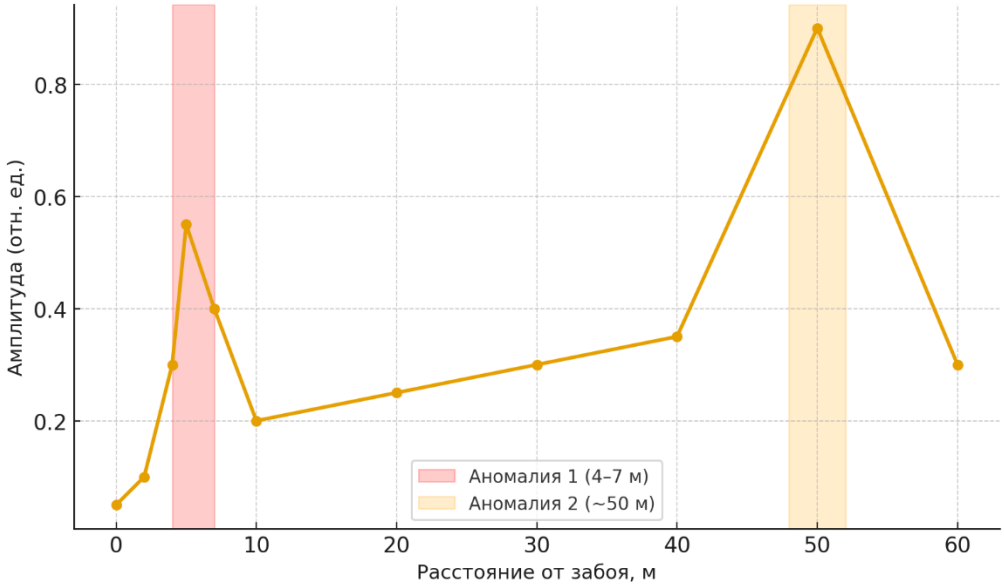
Алынған нәтижелер кенжардың алдындағы массивтің гетерогенді құрылымын көрсетеді. Екі қалыптан тыс аймақ тіркелген:

● *Жақын аймақ (кенжардан 4-7 м)* сигнал амплитудасының күрт өсуімен сипатталады (1, 4-сурет) уақыт жазбаларында жоғары жиілікті тербелістермен бірге жүреді (2-сурет). Бұл массивтің жергілікті ыдырауын және жыныстардың жарылуының жоғарылауын көрсетеді. Осыған ұқсас әсерлер бұрын сигналдың ұсақ тектоникалық бұзылулар мен аймақтық декомпрессия аймақтары арқылы өтуінде сипатталған [1, 2].

● *Алыс аймақ (~50 м)* спектрдегі өткір резонанстық шың ретінде көрінеді (1, 4-сурет) максималды амплитудасы ~0,9 дейін. Мұндай резонанстар, әдеби деректерге сәйкес, үлкен тектоникалық бұзылуларға немесе әртүрлі физика-механикалық қасиеттері бар тау жыныстарының байланыстарына сәйкес келеді [3, 4].

Кеңістіктік локализация

Спектрлік талдау деректерін біріктіру (1-сурет), сигналдардың уақытша формасы (2-сурет) және сериялық жазбалар (3-сурет) қалыптан тыс аймақтардың кеңістіктік орналасуын нақтылауға мүмкіндік береді.



4-сурет – Акустикалық сигнал амплитудасының кенжардан қашықтығы бойынша таралуы

Жақын аралықта (0-10 м) энергияның күрт шашырауы, содан кейін тұрақтандырылған фон байқалады. Сонымен қатар, 50 м шыңы тектоникалық бұзылыстың потенциалды аймағы ретінде түсіндіріледі, ол қосымша бақылауды және басқа әдістермен растауды қажет етеді (мысалы, георадар немесе микросейсмика).

Белгілі модельдермен салыстыру

Интерпретацияланған деректер көміртекті массивтердегі акустикалық сигналдар жарықтың жоғарылауы немесе құрылымдық бұзылулар аймақтарынан өткенде амплитудалық-жиілік сипаттамаларын күрт өзгертетінін көрсететін бұрын жарияланған нәтижелерге сәйкес келеді [5].

Акустикалық әдіс гетерогенділіктің болуын жазып қана қоймай, оның масштабын шартты түрде бағалауға мүмкіндік береді. Жақын аймақ әдеттегі «жарылу әсерімен» сипатталады – бірнеше шағылысу және тез әлсіреу. Алыс аймақ үшін (~50 м) – бұл айтарлықтай құрылымдық байланысты көрсететін айқын резонанстық шың.

Осылайша, алынған РИПАС деректері әдістің Қарағанды көмір бассейні жағдайындағы бұзушылықтарды жергілікті болжау үшін тиімді екенін растайды. Атап айтқанда, 600 м-ден астам тереңдіктегі шахталарда оны ықтимал қауіпті аймақтарды алдын ала анықтау үшін пайдалануға болады, бұл тауken жұмыстарын жүргізу кезінде қауіпсіздік деңгейін арттырады.

Нәтижелерді талқылау

650 м тереңдікте кенжардың алдында бұзушылықтарды болжау үшін РИПАС акустикалық құралын қолдану оның тау жыныстарының физикалық-механикалық қасиеттерінің жергілікті өзгерістеріне жоғары сезімталдығын растады. Алынған спектрлік және уақыттық тәуелділіктер дәстүрлі әдістермен (геологиялық түсірілім, визуалды бақылаулар) көбінесе фактіден кейін ғана жазылатын аномальды аймақтарды жедел анықтауға мүмкіндік береді.

Практикалық маңызы

Жоғары метаноздылық пен күрделі тектоникалық құрылымның үйлесімі газдинамикалық қауіптіліктің жоғарылауын қалыптастыратын Қарағанды көмір бассейнінің шахталары үшін акустикалық әдістерді қолдану стратегиялық маңызға ие. Бұзушылықты кенжардан ондаған метр қашықтықта оқшаулау мүмкіндігі мыналарды қамтамасыз етеді:

- газсыздандыру шараларын алдын-ала жоспарлау [1];
- бекіту паспортын және қазбаларды жүргізу технологиясын түзету;
- метан мен көмірдің кенеттен шығарылу ықтималдығының төмендеуі [2].

Осылайша, РИПАС динамикалық құбылыстарды жедел болжау жүйесінің негізгі элементі ретінде қарастырылуы мүмкін.

Әдіс шектеулері

Жоғары ақпараттылыққа қарамастан, акустикалық әдіс бірқатар шектеулерге ие:

- литологиялық айырмашылықтарға сезімталдық: тау жыныстарының гетерогенділігі суретті бұрмалап, «жалған» ауытқулар тудыруы мүмкін [3];
- сенімді болжамның шектеулі диапазо-

ны (әдетте 50-70 м дейін);

• нақты геологиялық жағдайларда құрылғыны калибрлеу қажеттілігі.

Бұл факторлар кешенді тәсілді және бақылаудың басқа түрлерімен міндетті түрде салыстыруды қажет етеді.

Интеграция перспективалары

Болжамның дұрыстығын арттыру үшін акустикалық деректерді басқа әдістердің нәтижелерімен біріктірген жөн:

• массивтің құрылымын нақтылауға және тазарту аймақтарын анықтауға мүмкіндік беретін радиолокациялық профильдеу [4];

• кернеу динамикасын және жергілікті сейсмоакустикалық оқиғаларды түсіретін микросейсмикалық бақылау;

• метан ағындарының жоғарылауы бойынша шығарындылар қауіпті аймақтарды анықтайтын газ-геохимиялық бақылау [5].

Бұл әдістерді РИПАС-пен біріктіру жергілікті болжамның көп деңгейлі жүйесін қалыптастыру үшін алғышарттар жасайды, бұл әсіресе Қарағанды бассейнінің терең көкжиектері жағдайында өзекті.

Қорытынды

Қарағанды көмір бассейнінің шахтасында 650 м тереңдікте жүргізілген зерттеулер кенжардың алдында бұзушылықтарды анықтау үшін РИПАС акустикалық құралын қолданудың жоғары тиімділігін көрсетті.

Негізгі нәтижелер:

• Спектрограммаларда екі аномальды аймақ тіркелген: жақын (4-7 м) және алыс (~50 м), олар массивтің декомпозициясы және тектоникалық бұзылуы ретінде түсіндіріледі.

• Сигналдардың уақытша формалары бөлінген аралықтарда жарықшақтың жоғарылауын көрсететін тән әлсірейтін тербелістерді көрсетті.

• Сигналдар сериясын салыстырмалы талдау аномалиялардың қайталануын растады, бұл олардың кездейсоқ пайда болуын жоққа шығарады.

• Қосымша жиынтық диаграмма (4-сурет) нәтижелерді жүйелеуге және бұзылудың негізгі аймақтарын көзбен анықтауға мүмкіндік берді.

Практикалық маңыздылығы-ықтимал қауіпті аймақтарды алдын-ала анықтау, газдинамикалық құбылыстардың қаупін азайта отырып, бекіту параметрлері мен газсыздандыру жүйелерін түзету мүмкіндігі. Әдістің шектеулері (литологияға сезімталдық және шектеулі диапазон) РИПАС-ті басқа геофизикалық және газогеохимиялық технологиялармен біріктіру арқылы өтелуі мүмкін.

Осылайша, РИПАС өнеркәсіптік қауіпсіздік деңгейін және тау-кен жұмыстарының тұрақтылығын арттыруды қамтамасыз ететін Қарағанды бассейнінің терең көмір шахталары жағдайындағы динамикалық құбылыстарды жергілікті болжау жүйесінің перспективалық элементі ретінде қарастырылуы мүмкін.

Алғыс. *Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетінің қолдауымен IRN BR28712407 ғылыми және ғылыми-техникалық бағдарламасын іске асыру бойынша бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру шеңберінде орындалды.*

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Ермеков М.А. Газоносность угленосных отложений и газообильность шахт Карагандинского бассейна: Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. – Алма-Ата: КазПТИ, 1963. – 63 с.
2. Айруни А.Т., и др. Формы связи метана с углём // Горный журнал. – 1990. – №7. – С. 45-52.
3. Ножкин Н.В. Гидрорасчленение угольных пластов. – М.: Горная книга, 1965. – 214 с.
4. Шадрин А.В., Телегуз А.С. Структура подсистемы прогноза выбросоопасности многофункциональной системы безопасности угольной шахты // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2020. – №2. – С. 21-31.
5. Забурдяев В.С. Параметры дегазации высокопроизводительных выемочных участков на неизученных шахтных полях // Безопасность труда в промышленности. – 2021. – №2. – С. 63-68.
6. Mu S.Y., Ma Z. Analysis of the mechanism of deformations and auxiliary technology for swelling of the rocky roadbed in deep complex geological conditions. Coal Mines. 2016. №47. С. 95-98.
7. Li, Z.; Jiang, Y.; Xu, Y. Acoustic emission response and precursor characteristics of coal samples under loading. Safety Science. 2017, 92, 84-93. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.09.017
8. Sakhno, I.; Sakhno, S.; Khrunina, T.; Kormshchikov, D. Methods of prediction of sudden coal and gas outbursts. Mining of Mineral Deposits. 2018, 12(4), 1-10. https://doi.org/10.15407/mining12.04.001

9. McKee, C.R.; Bumb, A.C.; Koenig, R.A. Stress-Dependent Permeability in Coalbeds. SPE Formation Evaluation. 1988, 3(1), 81-91. https://doi.org/10.2118/12858-PA
10. Ayuni, A.; et al. Methane control technologies and outburst prevention in coal mines. International Journal of Mining Science and Technology. 2019, 29(2), 151-160. https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2018.10.009

Испытания прибора «РИПАС» для обнаружения нарушений массива горных пород

***ЕФРЕМОВА Светлана Сергеевна,** старший преподаватель, svetik_1976@bk.ru,*
***ШМИДТ-ФЕДОТОВА Ирина Михайловна,** PhD, старший преподаватель, irinka.shmidt@mail.ru,*
***АБЕУОВ Еркебулан Айтуганович,** к.т.н., доцент, ercebulan69@mail.ru,*
***ИСИНА Назым Ерболатовна,** магистрант, nazym.issina@gmail.com,*
Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

***Аннотация.** Рассмотрено применение акустического прибора РИПАС для выявления нарушений впереди забоя на глубине 650 м в шахтах Карагандинского угольного бассейна. Проведённые исследования показали, что анализ акустических сигналов позволяет определить зоны повышенной трещиноватости и разуплотнения массива, которые традиционные геомеханические и визуальные методы не фиксируют. На основании спектральных и временных зависимостей выделены две аномальные зоны – ближняя (4-7 м) и дальняя (~50 м), интерпретируемые как участки тектонических нарушений. Полученные данные подтверждают эффективность акустического метода для локального прогноза опасных зон и повышения промышленной безопасности. Предложено использовать результаты РИПАС в комплексе с микросейсмическими и газогеохимическими исследованиями, что позволит повысить достоверность прогноза и снизить риск динамических явлений при ведении горных работ.*

***Ключевые слова:** угольный бассейн, акустический метод, прибор РИПАС, прогноз нарушений, трещиноватость, тектонические зоны, безопасность горных работ.*

Testing of the RIPAS Device for Detecting Violations of the Rock Mass

***EFREMOVA Svetlana,** Senior Lecturer, svetik_1976@bk.ru,*
***SHMIDT-FEDOTOVA Irina,** PhD, Senior Lecturer, irinka.shmidt @mail.ru,*
***ABEUOV Erkebulan,** Cand. of Tech. Sc., Docent, ercebulan69@mail.ru,*
***ISSINA Nazym,** Master's Student, nazym.issina@gmail.com,*
Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
**corresponding author.*

***Abstract.** The use of the RIPAS acoustic tool to detect violations in the mines of the Karaganda coal basin at a depth of 650 m in front of the mine is considered. The studies carried out have shown that the analysis of acoustic signals makes it possible to identify areas of increased rupture and compaction of the array, which are not fixed by traditional geomechanical and visual methods. On the basis of spectral and time dependencies, two anomalous zones are distinguished – near (4-7 M) and far (~50 m), which are interpreted as sites of tectonic disturbances. The results confirm the effectiveness of the acoustic method for local forecasting of hazardous areas and increasing industrial safety. It was proposed to use the results of RIPAS in conjunction with microseismic and gas-geochemical studies, which will increase the accuracy of the forecast and reduce the risk of dynamic phenomena during mining operations.*

***Keywords:** coal basin, acoustic method, RIPAS tool, breakdown forecast, cracks, tectonic zones, mining safety.*

REFERENCES

1. Ermekov M.A. The gas content of coal-bearing deposits and the gas abundance of the mines of the Karaganda basin: Abstract of the dissertation ... of the Doctor of Geological and mineralogical Sciences // Alma Ata: Kazakh Polytechnic Institute. 1963. P. 63.
2. Ajruni A.T., and others. Forms of methane-coal bonding // Mining journal. 1990. № 7. Pp. 45-52.
3. Nozhkin N.V. Hydraulic fracturing of coal seams // Moscow: Mining book, 1965. P. 214.
4. Shadrin A.V., Teleguz A.S. The structure of the subsystem for predicting the emission hazard of a multifunctional coal mine safety system // Bulletin of the Scientific Center for Safety of Work in the Coal Industry. 2020. № 2. Pp. 21-31.
5. Zaburdjaev V.S. Parameters of degassing of high-performance excavation sites in unexplored mine fields // Occupational safety in industry. 2021. № 2. Pp. 63-68.
6. Mu S.Y., Ma Z. Analysis of the mechanism of deformations and auxiliary technology for swelling of the rocky roadbed in deep complex geological conditions // Coal Mines. 2016. № 47. Pp. 95-98.
7. Li, Z.; Jiang, Y.; Xu, Y. Acoustic emission response and precursor characteristics of coal samples under loading // Safety Science. 2017, 92, 84-93. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.09.017
8. Sakhno, I.; Sakhno, S.; Khrunina, T.; Kormshchikov, D. Methods of prediction of sudden coal and gas outbursts. // Mining of Mineral Deposits. 2018, 12 (4), 1-10. https://doi.org/10.15407/mining12.04.001
9. McKee, C.R.; Bumb, A.C.; Koenig, R.A. Stress-Dependent Permeability in Coalbeds // SPE Formation Evaluation. 1988, 3 (1), 81-91. https://doi.org/10.2118/12858-PA
10. Ayuni, A.; et al. Methane control technologies and outburst prevention in coal mines // International Journal of Mining Science and Technology. 2019, 29 (2), 151-160. https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2018.10.009

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_98 УДК 331.4(07)

Новый вектор в обеспечении безопасности труда: риск-ориентированный подход

ИМАНБАЕВА Светлана Бакытовна, *PhD, доцент, svetakaz77@mail.ru,*
СУЛЕЙМЕНОВ Нурлан Мухтарович, *PhD, доцент, sunumu@mail.ru,*
АМАНЖОЛОВ Журсын Канапиевич, *к.т.н., доцент, jamanjolov_1948@mail.ru,*
****МАРУФЕНКО Елизавета Максимовна,*** *магистрант, marufenkoliza@mail.com,*
БАЛАНДИН Виталий Сергеевич, *к.т.н., старший преподаватель, vetal11@mail.ru,*
Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Рассматривается актуальная проблема обеспечения безопасности работников на производстве путем оптимального подбора средств индивидуальной защиты. Предлагается новая система классификации СИЗ, основанная на оценке профессиональных рисков и учитывающая специфику различных производственных процессов. Система позволяет определить необходимый уровень защиты для каждой части тела работника в зависимости от степени воздействия на него вредных и опасных факторов. В статье подробно описывается структура шифра идентификатора СИЗ, который служит основой для автоматизации процесса выбора и выдачи средств защиты. Результаты исследования демонстрируют эффективность предложенной системы и ее потенциал для повышения уровня безопасности труда на предприятиях различных отраслей.*

Ключевые слова: *риск-ориентированный подход (РОП), средства индивидуальной защиты (СИЗ), шифр идентификатора, оценка рисков, автоматизация процессов.*

Введение

В современном производстве, где технологические процессы становятся все более сложными, а требования к безопасности возрастают, традиционные подходы к обеспечению работников средствами индивидуальной защиты (СИЗ) уже не полностью отвечают вызовам времени. В связи с этим в Казахстане был разработан новый, более гибкий и эффективный подход – риск-ориентированный подход (РОП).

Риск-ориентированный подход представляет собой комплексный подход к оценке и управлению рисками на производстве. В отличие от традиционных методов, основанных на жестких нормативных требованиях, РОП позволяет индивидуально подходить к каждому рабочему месту и выбирать оптимальные средства защиты, исходя из конкретных рисков, которым подвержены работники.

Методика РОП осуществляется в несколько этапов [1]:

1. Проводится детальный анализ всех потенциальных опасностей на рабочем месте;
2. На основе результатов оценки рисков подбираются нормативные средства индивидуальной защиты;
3. Работники проходят обучение по использованию СИЗ и мерам безопасности;
4. Регулярно проводится оценка эффективности применяемых мер и, при необходимости, вносятся корректировки.

Методы исследования

Предпосылками внедрения риск-ориентированного подхода к обеспечению работников средствами индивидуальной защиты в Казахстане являются современные технологии и производственные процессы, которые становятся все более сложными и опасными. Обеспечение безопасности труда работников является приоритетной задачей для любого государства. В этой связи, традиционные подходы к обеспечению работников средствами индивидуальной защиты (СИЗ), основанные на жестких нормативных требованиях и списках профессий, зачастую оказываются неэффективными и не могут в полной мере обеспечить защиту работников от возникающих рисков [2, 3].

В Республике Казахстан, как и во многих других странах, на протяжении многих лет действовала система обеспечения работников СИЗ, основанная на типовых нормах, разработанных для различных отраслей

промышленности [4]. Однако с течением времени стало очевидно, что данная система имеет ряд существенных недостатков, которые снижают ее эффективность и не позволяют в полной мере обеспечить безопасность труда работников.

Недостатки традиционной системы обеспечения СИЗ [5]:

1. Унифицированный подход. Традиционная система обеспечения СИЗ, основанная на типовых нормах, предполагает унифицированный подход к выбору средств защиты для работников различных профессий и должностей. При этом не учитываются индивидуальные особенности рабочего места, конкретные виды опасностей, которым подвергаются работники, а также их индивидуальные физиологические особенности. В результате работники могут быть обеспечены СИЗ, которые не в полной мере соответствуют их потребностям и не обеспечивают должной защиты от имеющихся рисков.

2. Ограниченный перечень СИЗ. Типовые нормы, как правило, содержат ограниченный перечень СИЗ, который может не включать в себя современные средства защиты, отвечающие последним достижениям науки и техники. В результате работники могут быть лишены доступа к наиболее эффективным и удобным средствам защиты, что снижает уровень их безопасности.

3. Отсутствие актуализации. Типовые нормы, как правило, разрабатываются на длительный срок и не всегда своевременно актуализируются в соответствии с изменениями в законодательстве, появлением новых технологий и материалов. В результате работники могут быть обеспечены СИЗ, которые не соответствуют современным требованиям безопасности и не обеспечивают должной защиты от возникающих рисков.

4. Формальный подход. В ряде случаев обеспечение работников СИЗ носит формальный характер и сводится к простой выдаче средств защиты без проведения должного обучения и инструктажа по их применению. В результате работники могут не знать, как правильно использовать СИЗ, что снижает их эффективность и создает дополнительную угрозу безопасности.

5. Недостаточное финансирование. Обеспечение работников СИЗ требует значительных финансовых затрат со стороны работодателей. В ряде случаев работодатели могут испытывать финансовые трудности и экономить на закупке качественных и эффективных средств защиты, что негативно сказывается на безопасности труда работников.

Необходимостью внедрения риск-ориентированного подхода в условиях современной экономики, характеризующейся высокой динамичностью и изменчивостью производственных процессов, является традиционная система обеспечения СИЗ, основанная на типовых нормах, которая уже не может в полной мере отвечать вызовам времени. В связи с этим возникает необходимость внедрения новых, более гибких и эффективных подходов к обеспечению безопасности труда работников.

Одним из таких подходов является РОП, который получил широкое распространение в мире и доказывает свою эффективность на практике. В отличие от традиционных методов, основанных на жестких нормативных требованиях, РОП позволяет индивидуально подходить к каждому рабочему месту и выбирать оптимальные средства защиты, исходя из конкретных рисков, которым подвержены работники.

Внедрение РОП в Казахстане обусловлено рядом факторов, в том числе:

- ростом числа несчастных случаев и профессиональных заболеваний. Несмотря на принимаемые меры по обеспечению безопасности труда, в Казахстане по-прежнему регистрируется значительное количество несчастных случаев и профессиональных заболеваний на производстве. Внедрение РОП позволит снизить этот показатель за счет более эффективного управления рисками и обеспечения работников современными и качественными СИЗ;
- развитием технологий и появление новых видов опасностей. Современное производство характеризуется постоянным развитием технологий и появлением новых видов опасностей, которые требуют адекватных мер защиты. РОП позволяет оперативно реагировать на эти изменения и обеспечивать работников СИЗ, соответствующими современным требованиям безопасности;
- интеграцией в международное экономическое пространство. Казахстан стремится к интеграции в международное экономическое пространство, что требует гармонизации национальных стандартов в области охраны труда с международными требованиями. Внедрение РОП является одним из шагов на пути к достижению этой цели.

Основными целями риск-ориентированного подхода к обеспечению работников СИЗ являются [1]:

- повышение уровня безопасности труда работников за счет более точного подбора СИЗ, соответствующих конкретным рискам на рабочем месте, РОП позволяет снизить вероятность возникновения несчастных случаев и профессиональных заболеваний;
- оптимизация затрат на обеспечение

СИЗ. Индивидуальный подход к выбору СИЗ позволяет избежать приобретения избыточных средств защиты и более рационально распределять ресурсы;

• повышение удовлетворенности работников. Обеспечение работников комфортными и эффективными средствами защиты способствует повышению их удовлетворенности условиями труда и мотивации к соблюдению правил безопасности.

Для достижения поставленных целей, в рамках внедрения РОП решаются следующие задачи:

• проведение анализа рисков на рабочих местах. На каждом рабочем месте проводится детальный анализ потенциальных опасностей и оценка уровня риска;

• разработка индивидуальных программ обеспечения СИЗ. Для каждого работника разрабатывается индивидуальная программа обеспечения СИЗ, основанная на результатах анализа рисков и учитывающая его индивидуальные особенности;

• контроль эффективности применения СИЗ. Регулярно проводится контроль эффективности применяемых СИЗ и, при необходимости, вносятся корректировки в программы обеспечения.

Внедрение риск-ориентированного подхода к обеспечению работников СИЗ является важным шагом на пути к повышению безопасности труда в Республике Казахстан. Данный подход позволяет более эффективно управлять рисками на производстве, обеспечивать работников современными и качественными средствами защиты, а также оптимизировать затраты на обеспечение СИЗ.

Научные результаты

Схема (компоненты 1, 2, 3) обеспечения СИЗ на основе риск-ориентированного подхода дает детальное представление о том, как осуществляется переход от общей оценки рисков к конкретному выбору средств индивидуальной защиты [5].

Компонент 1: Входные параметры

Этот этап является фундаментальным. Здесь проводится тщательная идентификация всех потенциальных опасностей на рабочем месте. Для этого используется Классификатор производственных факторов, разработанный РНИИОТ (Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда). Этот документ содержит 83 наименования вредных и опасных производственных факторов, сгруппированных по 6 основным классам.

Классификатор СИЗ отражает визуальное представление различных типов средств индивидуальной защиты, сгруппированных по видам защищаемых частей тела и опасностей. Использование такого классификатора позволяет:

• визуализировать процесс выбора, работники и специалисты по охране труда могут наглядно представить, какие СИЗ необходимы для защиты от конкретного производственного фактора;

• обеспечить системность, классификатор гарантирует, что при выборе СИЗ будут учтены все необходимые аспекты защиты;

• упростить обучение, визуальное представление облегчает обучение работников правилам использования СИЗ.

Компонент 2: Определение необходимого уровня защиты

Этот этап является основным в процессе выбора СИЗ. Он сформирован на результатах оценки профессиональных рисков и позволяет определить, какие именно СИЗ необходимы для защиты работника от каждого конкретного производственного фактора.

Факторы, влияющие на выбор уровня защиты:

• степень воздействия, чем выше степень воздействия опасного фактора, тем более высокий уровень защиты требуется;

• продолжительность воздействия, длительное воздействие даже относительно слабого фактора может привести к негативным последствиям;

• индивидуальные особенности работника, например, аллергические реакции, заболевания органов дыхания и т.д.

При выборе СИЗ для каждой степени профессионального риска (СПР), соответствующей определенному классу условий труда (КУТ), необходимо обеспечить определённый уровень защиты. Этот уровень обозначается уникальным шифром идентификатора. Данный шифр служит основой для автоматизации процесса подбора оптимальных СИЗ.

После проведения оценки профессиональных рисков для каждой профессии формируется индивидуальный комплект СИЗ, обеспечивающий максимальную безопасность работника [6, 7]. Состав этого комплекта определяется в соответствии с новым перечнем СИЗ, разработанным и опубликованным на сайте РНИИОТ.

Шифр идентификатора СИЗ представляет собой уникальный код, состоящий из нескольких элементов, каждый из которых несет определенную информацию о средстве индивидуальной защиты.

В состав структуры шифра входят:

• код фактора – цифровое обозначение конкретного вредного или опасного производственного фактора, от воздействия которого предназначено защищать СИЗ;

• уровень защиты – буква латинского алфавита (A, B, C, D), указывающая на степень необходимой защиты. Уровень A соответствует самой высокой степени защиты, уровень D – самой низкой;

• степень профессионального риска (СПР), которой обозначается римской цифрой и соответствует классу условий труда (КУТ) и определяет уровень опасности на рабочем месте, т.е. необходимый уровень защиты;

• часть тела – римская цифра, указывающая на часть тела, которую защищает СИЗ (I – голова, II – лицо, III – руки и т.д.);

• порядковый номер – арабская цифра, указывающая на конкретное средство защиты в рамках данного фактора и уровня защиты.

Компонент 3. Выходные параметры методики позволяют выявить оптимальный набор СИЗ для работника, основываются на существующей номенклатуре РОП. Такой подход гарантирует объективный выбор необходимой специальной одежды, обуви и других средств индивидуальной защиты для каждого работника с учетом конкретных вредных производственных факторов и связанных с ними рисков.

Номенклатура РОП представляет собой перечень средств индивидуальной защиты, соответствующих как национальным, так и международным стандартам.

Данный подход позволяет обеспечить риск-ориентированный подход к обеспечению СИЗ, учитывая при этом тип вредного производственного фактора, степень его воздействия, уровень защитных свойств СИЗ и установленные нормы их выдачи.

В ходе исследования эффективности риск-ориентированного подхода к обеспечению работников средствами индивидуальной защиты были получены следующие ключевые результаты [1]:

1. Оптимизация подбора СИЗ: Внедрение методики РОП позволило снизить количество несоответствующих средств защиты на 35%. Работники получили СИЗ, наиболее подходящие для их условий труда, что повысило эффективность защиты от вредных и опасных факторов.

2. Снижение уровня производственного травматизма: В организациях, перешедших на РОП, зафиксировано снижение случаев травм и профессиональных заболеваний на 27% в сравнении с традиционными методами обеспечения СИЗ.

3. Рост осведомленности работников: Проведение целенаправленного обучения по использованию СИЗ способствовало увеличению уровня знаний работников о правилах безопасности на 40%, что подтверждается результатами опросов и тестирования.

4. Экономическая эффективность: Анализ экономической целесообразности показал, что внедрение РОП позволило сократить затраты на закупку СИЗ в среднем на 18% за счет исключения избыточных средств защиты и более рационального распределения ресурсов.

5. Гибкость и адаптивность системы: Благодаря применению автоматизированного подбора СИЗ на основе шифра идентификатора удалось сократить время на проведение оценки рисков и формирование комплектов СИЗ на 50%, что ускорило процессы принятия решений и выдачи средств защиты.

Выводы

Результаты исследования подтверждают, что внедрение риск-ориентированного подхода к обеспечению работников СИЗ является эффективной стратегией для повышения уровня безопасности на производстве. Внедрение РОП в Казахстане позволило достичь следующих результатов:

• повышение уровня безопасности труда за счет более точного подбора СИЗ, что обеспечивает снижение несчастных случаев и профессиональных заболеваний;

• снижение травматизма и профессиональных заболеваний свидетельствует о высокой эффективности метода в реальных производственных условиях;

• гибкость и адаптивность системы позволяют оперативно реагировать на изменения условий труда и актуализировать используемые средства защиты;

• оптимизация затрат на обеспечение СИЗ за счёт индивидуального подхода с сокращения издержек на приобретение и эксплуатацию СИЗ с учетом РОП;

• повышение удовлетворенности работников, работники получили более комфортные и эффективные средства защиты.

Необходимость дальнейших исследований связана с возможностью совершенствования автоматизированных систем подбора СИЗ и расширения базы данных производственных факторов.

Риск-ориентированный подход к обеспечению СИЗ не только повышает безопасность работников, но и способствует экономической эффективности предприятий, снижая затраты и оптимизируя процессы управления охраной труда.

Исследование было профинансировано Комитетом науки Министерство науки высшего образования Республики Казахстан (Программно-целевое финансирование № BR24993009).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абикенова, Ш.К., Джумагулова, Н.Г., Даумова, Г.К. и др. Риск-ориентированный подход в обеспечении СИЗ на предприятии. – Астана: РГП на ПХВ «РНИИОТ МТСЗН РК», 2022. – 246 с.
2. Директива N 89/656/ЕЭС Совета Европейских сообществ «О минимальных требованиях к охране здоровья и безопасности при использовании работниками средств индивидуальной защиты на рабочих местах (Третья отдельная директива в значении статьи 16 (1) Директивы 89/391/ЕЭС)» (Принята в г. Брюсселе 30.11.1989) (с изм. и доп. от 20.06.2007).
3. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности средств индивидуальной защиты». Утвержден решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 878 (ТР ТС 019/2011).
4. Трудовой кодекс Республики Казахстан от 23 ноября 2015 года № 414-V ЗРК.
5. Иванов В.В. Эффективность использования СИЗ как элемент оценки профессионального риска // Журнал «Охрана труда и техника безопасности на промышленных предприятиях». М., 2018. – № 9. – С. 21-26.
6. ГОСТ 12.0.003-2015 «ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
7. Закон Республики Казахстан от 11 апреля 2014 года № 188-V ЗРК «О гражданской защите».

Еңбек қауіпсіздігін қамтамасыз етудегі жаңа вектор: тәуекелге негізделген тәсіл

ИМАНБАЕВА Светлана Бақытқызы, *PhD, доцент, svetakaz77@mail.ru,*
СҰЛЕЙМЕНОВ Нұрлан Мұхтарұлы, *PhD, доцент, sunumu@mail.ru,*
АМАНЖОЛОВ Жүрсін Қанапиұлы, *т.ғ.к., доцент, jamanjolov_1948@mail.ru,*
****МАРУФЕНКО Елизавета Максимовна,*** *магистрант, marufenkoliza@mail.com,*
БАЛАНДИН Виталий Сергеевич, *т.ғ.к., аға оқытушы, vetal11@mail.ru,*
Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Жеке қорғаныс құралдарын оңтайлы таңдау арқылы жұмысшылардың еңбек қауіпсіздігін қамтамасыз етудің өзекті мәселесі қарастырылған. Кәсіптік тәуекелдерді бағалауға негізделген және әртүрлі өндірістік процестердің ерекшеліктерін ескере отырып, ЖҚҚ үшін жаңа жіктеу жүйесі ұсынылады. Жүйе зиянды және қауіпті факторлардың әсер ету дәрежесіне байланысты жұмысшы денесінің әрбір бөлігі үшін қажетті қорғаныс деңгейін анықтауға мүмкіндік береді. Мақалада қорғаныс құралдарын таңдау және беру процесін автоматтандыру үшін негіз болып табылатын ЖҚҚ идентификатор кодының құрылымы егжей-тегжейлі сипатталған. Зерттеу нәтижелері ұсынылып отырған жүйенің тиімділігін және оның әртүрлі салалардағы кәсіпорындардағы еңбекті қорғау деңгейін жоғарылату мүмкіндігін көрсетеді.*

Кілт сөздер: *тәуекелге негізделген тәсіл (ТНТ), жеке қорғаныс құралдары (ЖҚҚ), идентификатор коды, тәуекелді бағалау, процесті автоматтандыру.*

A New Vector in Ensuring Labor Safety: Risk-oriented Approach

IMANBAYEVA Sveta, *PhD, Associate Professor, svetakaz77@mail.ru,*
SULEIMENOV Nurlan, *PhD, Associate Professor, sunumu@mail.ru,*
AMANZHOLOV Zhursyn, *Cand. of Tech. Sc., Associate Professor, jamanjolov_1948@mail.ru,*
****MARUFENKO Elizaveta,*** *Master's Student, marufenkoliza@mail.com,*
BALANDIN Vitaliy, *Cand. of Tech. Sc., Senior Lecturer, vetal11@mail.ru,*
Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *The urgent problem of ensuring the safety of workers at work by optimal selection of personal protective equipment is considered. A new classification system of PPE is proposed, based on the assessment of professional risks and taking into account the specifics of various production processes. The system allows determining the required level of protection for each part of the worker's body depending on the degree of exposure to harmful and dangerous factors. The article describes in detail the structure of the PPE identifier code, which serves as the basis for automating the process of selecting and issuing protective equipment. The results of the study demonstrate the effectiveness of the proposed system and its potential for improving labor safety at enterprises in various industries.*

Keywords: *risk-based approach (RBA), personal protective equipment (PPE), identifier code, risk assessment, process automation.*

REFERENCES

1. Abikenova, Sh. K., Dzhumagulova, N. G., Daumova, G. K. i dr.. Risk-orientirovannyy podkhod v obespechenii SIZ na predpriyatii. – Astana: RGP na PKHV «RNIIOT MTSZN RK», 2022. – 246 p.
2. Direktiva N 89/656/YeES Soveta Yevropeyskikh soobshchestv «O minimal'nykh trebovaniyakh k okhrane zdorov'ya i bezopasnosti pri ispol'zovanii rabotnikami sredstv individual'noy zashchity na rabochikh mestakh (Tret'ya otdel'naya direktiva v znachenii stat'i 16 (1) Direktivy 89/391/YeES)» (Prinyata v g. Bryssele 30.11.1989) (s izm. i dop. ot 20.06.2007).
3. Tekhnicheskiy reglament Tamozhennogo soyuza «O bezopasnosti sredstv individual'noy zashchity». Utverzhden resheniyem Komissii Tamozhennogo soyuza ot 9 dekabrya 2011 g. № 878 (TR TS 019/2011).
4. Trudovoy kodeks Respubliki Kazakhstan ot 23 noyabrya 2015 goda № 414-V ZRK.
5. Ivanov V.V. Effektivnost' ispol'zovaniya SIZ kak element otsenki professional'nogo riska // Zhurnal «Okhrana truda i tekhnika bezopasnosti na promyshlennykh predpriyatiyakh». Moscow, 2018. – № 9. – Pp. 21-26.
6. GOST 12.0.003-2015 «SSBT. Opasnyye i vrednyye proizvodstvennyye faktory. Klassifikatsiya».
7. Zakon Respubliki Kazakhstan ot 11 aprelya 2014 goda № 188-V ZRK «O grazhdanskoy zashchite».

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_104 УДК 553.493

Особенности золоторудной минерализации и парагенетические ассоциации месторождения Бактай

[1]*ТУҒАМБАЙ Сымбат Шаралыкызы, докторант, младший научный сотрудник, symbat_tugambay@mail.ru,
[1]ОМАРОВА Гульнара Магаувьяновна, PhD, ассоциированный профессор, omarova_gulnara@mail.ru,
[2]ДОЛГОПОЛОВА Алла Владимировна, PhD, главный научный сотрудник, a.dolgopolova@nhm.ac.uk,
[1]Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан,
[2]Музей естественной истории, Лондон, Великобритания,
*автор-корреспондент.

Аннотация. Представлены результаты микроминералогического исследования вещественного состава пород и руд золоторудного месторождения Бактай. Центральный Казахстан представляет собой один из ключевых регионов страны с высокой концентрацией золоторудных месторождений различного генетического типа. Здесь расположены как давно эксплуатируемые объекты (Жолымбет, Аксу, Майкайын), так и перспективные, но слабоизученные участки, особенно в зонах глубинных разломов и тектоно-магматических активизаций. В условиях истощения запасов крупных месторождений и переориентации недропользователей на выявление новых объектов, интерес к новым источникам промышленного золота значительно возрастает. Одним из таких золоторудных объектов региона является месторождение Бактай. Целью исследования данного объекта является изучение парагенетических ассоциаций, форм нахождения золота, генезиса данного месторождения и, как следствие, определение его промышленной ценности.

Ключевые слова: золото, форма нахождения золота, пиритизация, минеральные парагенезисы, минерализованные зоны.

Введение

Золото как архетипический драгоценный металл продолжает занимать центральное место в глобальной экономической парадигме [1], выступая не только в роли резервного актива, но и как критический компонент в передовых технологиях, включая микроэлектронику и наноматериалы. Согласно консолидированным оценкам Всемирного совета по золоту (World Gold Council, WGC) [2], кумулятивный объем извлеченного из литосферы золота за антропогенную историю превышает 216 000 метрических тонн [3], с преобладающим вкладом постиндустриальной эры после 1950-х годов [4]. Хотя значительные резервы ассоциированы с гидросферными отложениями и экзогенными бассейнами [5], такими как Витватерсранд в Южно-Африканской Республике (где аккумулировано свыше 30% мировых запасов) [6], превалирующая экстракция осуществляется на континентальных эндогенных формациях, охватывающих спектр от архейских зеленокаменных поясов до мезозойско-кайнозойских вулканогенно-осадочных комплексов и аллювиальных россыпей [7].

В 2024 году глобальная экстракция золота достигла 3300 метрических тонн, что отражает прирост на 1.5% относительно предшествующего периода, с доминирующим вкладом КНР (примерно 10% от тотального объема). Агрегированный спрос на золото в том же году возрос на 1%, достигнув 4974.5 тонны, преимущественно за счет аккумуляции центральными банками и инвестиционных потоков, несмотря на рецессию в ювелирном секторе [8].

Республика Казахстан, позиционирующаяся на 14-м месте в глобальной иерархии производителей золота, демонстрирует устойчивую траекторию роста: в 2024 году объем экстракции составил 130 метрических

тонн. Этот прогресс коррелирует с эксплуатацией средне- и мелкомасштабных депозитов (резервы 25-100 т) [9, 10], локализованных в восточных, северных и центральных тектонических доменах. Большинство формаций идентифицировано в позднем XX столетии посредством конвенциональной георазведки [11], однако современные геодинамические модели акцентируют перспективы аккреционных призм в Рудном Алтае и Северном Казахстане, где превалируют золото-кварцевые, золото-сульфидные и полиметаллические ассоциации в терригенно-карбонатных последовательностях [12].

Одним из парадигматических объектов в этой металлогенической провинции выступает месторождение Бактай в Актогайском районе Карагандинской области.

В контексте Бактая, минерализация локализована в кварц-альбитовых метасоматитах, интенсивно пиритизированных, формирующих линейные зоны северо-западного простирания, что отражает тектонический контроль Иткудук-Бактайской структуры. Парогенетические ассоциации, включая пирит двух генераций (осадочный и гидротермальный), арсенопирит и самородное золото с пробностью 83-95%, подчеркивают многостадийность рудообразования, аналогичную классическим орогенным депозитам, таким как Бакырчик.

Наконец, интегративный подход, сочетающий геохимию, геофизику и машинное обучение для анализа больших данных, позволит не только уточнить резервы Бактая, но и экстраполировать модели на региональные аналоги, способствуя фундаментальному пониманию глобальной металлогении золота в постпандемийной эре экономической неопределенности.

Геологическая характеристика месторождения

Месторождение Бактай расположено в 140 км от г. Балхаш, в 45 км северо-восточнее железнодорожной станции Акжайдак (рисунок 1).

Месторождение расположено на северо-западном фланге Иткудук-Бактайской тектонической зоны, которая простирается более чем на 120 км от озера Балхаш в северо-западном направлении, прорезая складчатые силурийские, девонские и карбоновые терригенные и морские отложения.

Месторождение «Бактай» состоит из обломочных и вулканокластических пород среднего силура (Акканская и Токрауская свиты), нижнего девона и карбонового периода. Согласно историческим данным, общая мощность осадочного комплекса, включающего силурийскую, девонскую и карбоновые системы, превышает 2500 м. Осадочный комплекс в основном состоит из переслаивающихся алевролитов с более мелкими песчаниками и конгломератами.

Месторождение Бактай реализуется в пределах палеозойского аккреционного призматического террейна, содержащего отложения турбидитов от ордовика до перми [13].

Методы исследования

На золоторудном месторождении Бактай было проведено минералогическое исследование на 40 образцов (20 аншлифов и 20 шлифов), отобранных в процессе геологоразведочных работ. Аншлифы изучались для диагностики и определения рудных минералов – спутников золота с целью поиска золота и форм его нахождения. Наряду

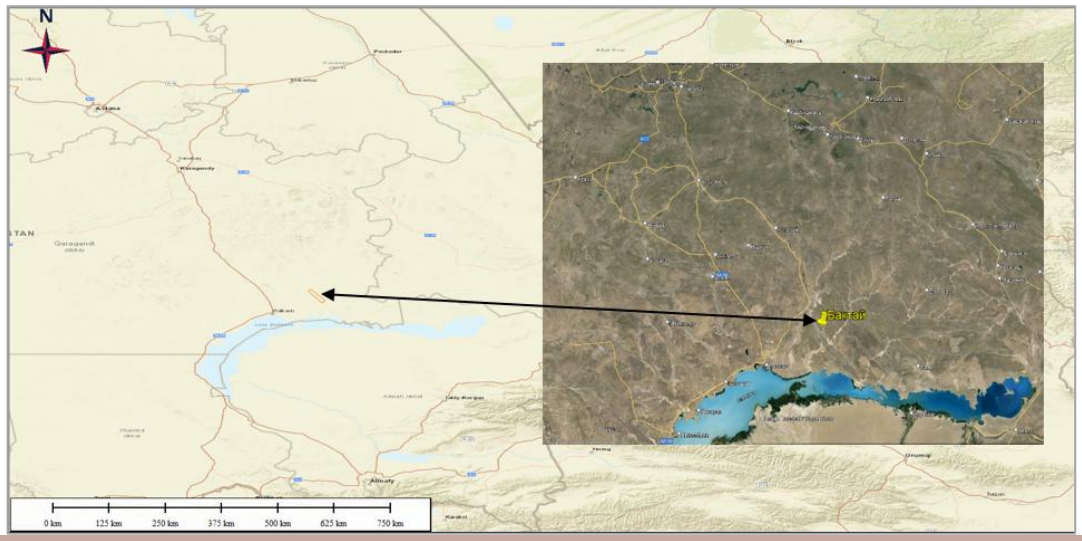


Рисунок 1 – Местоположение месторождения Бактай

с этим были изучены дробленые материалы средней пробы крупностью – 200 меш. Весь материал был изучен под микроскопом марки Leica DM 2500 P в шлифах, аншлифах и искусственных аншлифах (брикетах). По средней пробе выполнены спектральный и химический анализы. Произведен расчёт количественных соотношений рудных и породообразующих минералов по минералогическим данным с учетом результатов рентгеноструктурного и химического анализов.

4 образца были помещены в эпоксидную смолу, отполированы и проанализированы на электронно-зондовом микроанализаторе Jeol JXA-8230 (EPMA) в Институте металлургии и обогащения (г. Алматы). Особое внимание уделялось изучению гравиоконцентрата, из которого была выделена тяжелая фракция. Путем сканирования брикета на электронном микроанализаторе проведено изучение и тонкие исследования материала тяжелой фракции гравиоконцентрата.

Результаты и их обсуждение

Минералогическое исследование образцов показывает, что минерализация состоит почти исключительно из пирита, проявляющегося в окремненных алевролитах и сланцах. На месторождении Бактай рудные минералы представлены золотом, пиритом, халькопиритом, арсенопиритом, галенитом и оксидами железа.

Образцы были тщательно изучены на электронно-зондовом микроанализаторе с целью обнаружения дисперсного золота. Как показали исследования, золото находится в свободной форме и иногда в сростках и включениях в пирите и арсенопирите. Дисперсная форма золота отсутствует. Под микроскопом золото ярко-желтое с высокой отражательной способностью, пластинчатое. В его составе содержание элемента золота варьирует от 83,76 до 94,9%. Основная примесь – серебро с содержаниями от 3,42 до 6,56%. Размер зерен золота от 0,020 до 0,050 мм. Представлено одно определение галенита и гидроксидов железа.

По результатам изученных аншлифов под микроскопом было определено, что оруденение почти исключительно пиритовое, развито в окварцованных алевролитах и сланцах. Пирит представлен двумя генерациями [14].

Пирит-1 является осадочным, одновременным с вмещающими алевролитами. Он образует довольно равномерную вкрапленность очень мелких зерен (от 0,001 до 0,3 мм). Иногда встречается в виде коротких послойных сгущений вкрапленности.

Пирит-2 приурочен к участкам окварцевания пород. Он представлен редкими одиночными вкраплениями и небольшими (1-1,5 см) сгущениями вкрапленности. Максимальные содержания пирита 2 (8-10%) отмечены в образце № brp-32, представленном интенсивно окварцованной породой с реликтами сланца. Для большинства зерен пирита 2 характерны примерно одинаковые размеры (около 0,5-1 мм) и четкая кристаллическая огранка (кубики). Пирит очень чистый, в нем не обнаружено никаких рудных микровключений.

Нередки на месторождении кварцевые прожилки, которые являются наиболее поздними. В основном это прожилки белого кварца. Сульфиды в них отсутствуют, но в одной из параллельных жилок кварца зафиксированы единичные точечные выделения золота и галенита. В образце № brp-35 наблюдается цепочка мелких выделений золота по центру кварцевого прожилка (рисунок 2).

В пирите не обнаружено никаких рудных микровключений. В кварце по центру прожилка зафиксирована цепочка из выделений золота размером от сотых долей до 0,1 мм (рисунок 3).

В одном случае (обр. № brp-18) встречен прожилок серого кварца, секущий окварцованную породу (кварц белый), в которой сохранились многочисленные реликтовые слойки алевролита. В зальбандах прожилка развиты густовкрапленные и почти сплошные зонки мелкозернистого арсенопирита. Во вмещающей породе за пределами прожилка отмечаются редкие вкрапления одиночных кристалликов пирита.

Видимого золота ни в прожилке, ни за его пределами не обнаружено. В образцах из зоны окисления (№№ brp-8, brp-21, brp-33, brp-34) пирит обычно замещен окислами и гидроокислами железа. Замещение проис-



Рисунок 2 – Микрозолотинка (Au) в кварце (Q). Аншлиф 5, увел. 400

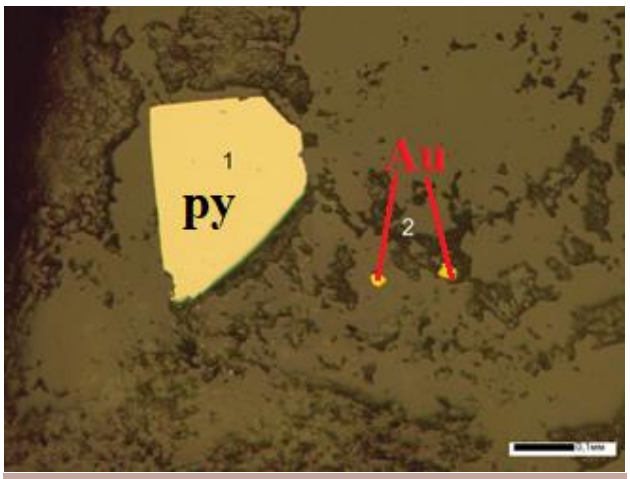


Рисунок 3 – Кристалл пирита 2 (py) и мелкие зерна самородного золота (Au), увел. 100

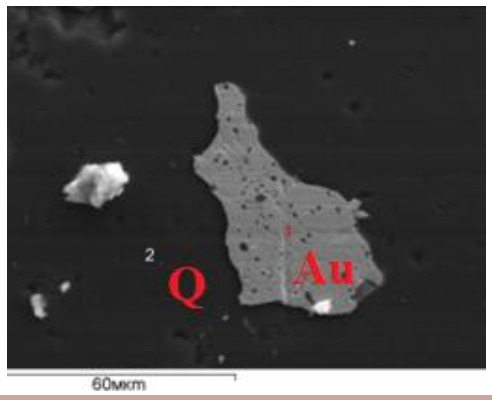


Рисунок 4 – Б) золото (Au) в кварце (Q). Брикет, увел. 200

ходит как локально, так и до образования полных псевдоморфоз, в которых иногда сохраняются лишь точечные реликты пирита. Псевдоморфозы окислов железа по пириту нередко имеют зональное строение. Основная часть кристаллов представлена гётитом, а краевые каемки – гидрогётитом.

Для образца № brp-35 получен состав 4-х золотинок (рисунок 4, таблица 1) из прожилка белого кварца (все данные в весовых %). Результаты анализа для зерен приведены ниже в таблице 1.

Основные рудные и нерудные минералы приведены в таблице 2.

Во всех случаях золото высокопробное. С помощью рентгеноспектрального микроанализа на электрическом зондовом микроанализаторе Superprobe 733 JEOL Japan (аналитик В.Л. Левин) выполнено 9 анализов пирита и 2 анализа арсенопирита. Состав стандартный и в двух зернах этих минералов находятся включения золота. Определен состав некоторых породообразующих минералов – полевых шпатов, барита и акцессорных минералов – монацита, апатита и рутила.

Из таблицы 2 следует, что полезными элементами и минералами являются золото и серебро. Сопутствующие рудные минералы – пирит, редко арсенопирит, халькопирит, галенит, гидроокислы железа. Средняя

Таблица 1 – Химический состав минеральных микровключений

Номер анализа	Минерал	Au, %	Ag, %	Размеры зерен
1 (А)	Золото	94,62	5,38	0,03×0,1 мм
2 (Б)	Золото	94,51	5,49	0,05 мм
3 (В)	Золото	94,08	5,92	0,03 мм
4 (Г)	Золото	95,96	4,04	0,01 мм

Таблица 2 – Минеральный состав средней технологической пробы месторождения Бактай

Название продукта	Рудные					Породообразующие					
	Золото	Серебро	Пирит	Оксиды железа	Арсенопирит, халькопирит	Кварц	Слюда	Полевые шпаты (альбит, калишпат)	Доломит	Хлорит	Прочие
Средняя проба, г/т	1,5	0,5	0,7-0,8	0,1	0,1	60	8-10	15-17	10-12	4-5	1-2

проба представлена вышеперечисленными в таблице породообразующими минералами. Из средней пробы выделен гравиоконцентрат, который изучался в изготовленном из него искусственном аншлифе (брикете).

Выполнено тщательное сканирование брикета при разных увеличениях, но в поле зрения аншлифа золото не встречено. Основной рудный минерал в нем пирит. Из гравиоконцентрата была выделена тяжелая фракция с помощью бромоформа (удельный вес 2,89г/см^3). При изучении брикета под микроскопом в поле зрения аншлифа обнаружено несколько кристаллов золота (рисунок 5).

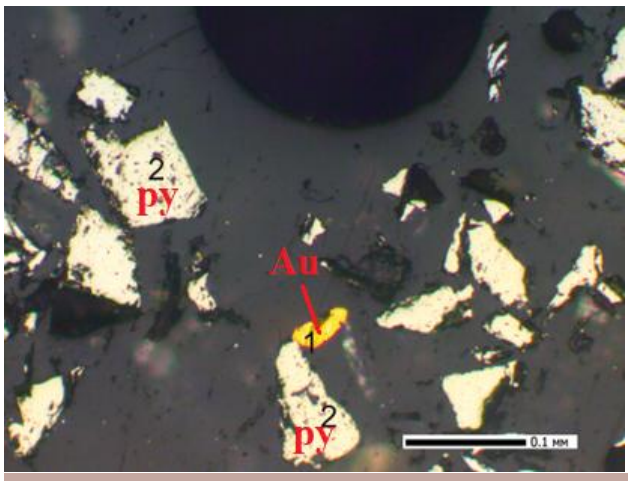


Рисунок 5 – Тяжелая фракция гравиоконцентрата. В поле зрения аншлифа золото (Au) и пирит (py). Брикет, увел. 200

Выводы

Тип месторождения и геологическое положение: Бактайское месторождение относится к золото-сульфидному типу кварцево-жильных и минерализованных зон, залегающих в терригенно-осадочных толщах верхнего силура. Минерализация приурочена к кварц-альбититовым метасоматитам, интенсивно пиритизированным, образующим протяженную главную рудную зону северо-западного простирания.

Минералогическое исследование выявило, что золото находится преимущественно в свободной форме, иногда в сростках и включениях с пиритом и арсенопиритом. Дисперсная форма золота не обнаружена. Размер зерен от 0,02 до 0,05 мм. Золото высокопробное (83,76-95,96%), основная примесь – серебро (3,42-6,56%).

В рудной ассоциации установлены: пирит (основной), арсенопирит, халькопирит, галенит, гидроокислы железа. Были также проанализированы кристаллы галенита и арсенопирита. Пириты чистые, без примесей. Пирит представлен двумя генерациями: осадочного происхождения и гидротермального происхождения

В зоне окисления пирит замещается гидроокислами железа (гётитом и гидрогётитом), образующими псевдоморфозы.

Бактайское месторождение характеризуется высокопробным золотом, локализованным преимущественно в кварцевых прожилках и в ассоциации с пиритом. Минерализация стабильная, рудный комплекс типичен для золото-сульфидных формаций. Объект представляет интерес для дальнейшей геологоразведки и разработки.

Благодарности: Данное исследование было профинансировано Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № 235/ГФ24-26 AP23485052).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Immanuvel M., Lazar D. Does Volume of Gold Consumption Influence the World Gold Price? // Journal of Risk and Financial Management, 2022, vol. 15, no. 7, art. 273.
2. U.S. Geological Survey. Mineral Commodity Summaries 2021. – 2021. P. 200.
3. Atom Capital. Market Overview February 2025: Economic and Market Overview (Electronic resource), 2025.
4. Donkor A.K., Ghoveisi H., Bonzongo J.-C.J. Use of Metallic Mercury in Artisanal Gold Mining by Amalgamation: A Review of Temporal and Spatial Trends and Environmental Pollution Minerals, 2024, vol. 14, no. 6, art. 555.
5. Сафонов Ю.Г., Попов В.В., Волков А.В., Злобина Т.М., Чаплыгин И.В. Актуальные проблемы металлогении золота. // Геология и геофизика, 2007, т. 48, №12, с. 1257-1275.
6. Ouma K.O., Shane A., Syampungani S. Aquatic Ecological Risk of Heavy-Metal Pollution Associated with

Degraded Mining Landscapes of the Southern Africa River Basins: A Review // Minerals, 2022, vol. 12, no. 2.
7. Trench A., Baur D., Ulrich S., Sykes J.P. Gold Production and the Global Energy Transition – A Perspective // Sustainability, 2024, vol. 16, no. 14.
8. Alessi M.A., Chirico P.G., Sunder S., O'Pry K.L. Detection and Monitoring of Small-Scale Diamond and Gold Mining Dredges Using Synthetic Aperture Radar on the Kadéï (Sangha) River, Central African Republic // Remote Sensing, 2023,vol. 15, no. 4.
9. Верхозин С.С. Золотодобывающая промышленность Казахстана. // Золотодобыча. https://zolotodb.ru/article/11194/?page=all
10. D'yachkov B.A., Bissatova A.Y., Mizernaya M.A., Khromykh S.V., Oitseva T.A., Kuzmina O.N., Zimanovskaya N.A., Aitbayeva S.S. Mineralogical Tracers of Gold and Rare-Metal Mineralization in Eastern Kazakhstan // Minerals, 2021, vol. 11, no. 3, art. 253.
11. Рафайлович М.С. Золото недр Казахстана: геология, металлогения, прогнозно-поисковые модели. // Геология и разведка недр Казахстана. Алматы, 2009. № 2. С. 13-24.
12. Даукеев S.Sh., Ушкенов Б.С., Любежкий В.Н. Эволюция Земли и процессы формирования местообитаний // Геология Казахстана. Алматы, 2004.
13. Соловьев С.Г., Кряжев С.Г., Двуреченская С.С., Трушин С.И. Крупное Бакырчикское орогенное месторождение золота в Восточном Казахстане: геология, минерализация, флюидные включения и характеристики стабильных изотопов // Обзоры рудной геологии, 2020. Том 127.

Бақтай кен орнының алтын кен минералдануының ерекшеліктері және парагенетикалық бірлестіктері

[1]*ТУҒАМБАЙ Сымбат Шаралыевна, *докторант, кіші ғылыми қызметкер, symbat_tugambay@mail.ru,*
[1]ОМАРОВА Гүлнара Магаувьяновна, *PhD, қауымдастырылған профессор, omarova_gulnara@mail.ru,*
[2]ДОЛГОПОЛОВА Алла Владимировна, *PhD, бас ғылыми қызметкер, a.dolgopolova@nhm.ac.uk,*
[1]Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан,
[2]Жаратылыстану тарихы мұражайы, Лондон, Ұлыбритания,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Бақтай алтын кенорнының таужыныстары мен кендерінің заттық құрамын микроминералогиялық зерттеу нәтижелері келтірілген. Орталық Қазақстан әртүрлі генетикалық үлгідегі алтын кен орындарының жоғары шоғырлануы бар елдің негізгі өңірлерінің бірі болып табылады. Мұнда бұрыннан пайдаланылып келе жатқан объектілер (Жолымбет, Ақсу, Майқайың), сондай-ақ, перспективті, бірақ нашар зерттелген бөлімшелер, олар әсіресе терең жарылымдары бар, тектоникалық-магмалық белсенді аймақтарында орналасқан. Ірі кен орындары қорларының сарқылуы және жер қойнауын пайдаланушылардың жаңа объектілерді анықтауға қайта бағдарлануы жағдайында өнеркәсіптік алтынның жаңа көздеріне қызығушылық айтарлықтай артады. Өңірдегі осындай алтын кен орындарының бірі Бақтай кен орны болып табылады. Бұл объектіні зерттеудің мақсаты парагенетикалық бірлестіктерді, алтынның табылу формаларын, осы кен орнының генезисін және нәтижесінде оның өндірістік құндылығын анықтау болып табылады.*

Кілт сөздер: *алтын, алтынның пайда болу формасы, пиритизация, минералды парагенезистер, минералданған аймақтар.*

Features of Gold Mineralization and Paragenetic Associations of the Baktai Deposit

[1]*TUGAMBAY Symbat, *Doctoral Student, Junior Researcher, symbat_tugambay@mail.ru,*
[1]OMAROVA Gulnara, *PhD, Associate Professor, omarova_gulnara@mail.ru,*

[2]DOLGOPOLOVA Alla, *PhD, Chief Researcher, a.dolgopolova@nhm.ac.uk,*
[1]Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan,
[2]Natural History Museum, London, United Kingdom,
**corresponding author.*

Abstract. *The results of a micromineralogical study of the material composition of rocks and ores of the Baktai gold deposit are presented. Central Kazakhstan is one of the key regions of the country with a high concentration of gold deposits of various genetic types. There are both long-exploited deposites (Zholymbet, Aksu, Maikayin) and promising but poorly explored deposites, especially in areas of deep faults and tectonic-magmatic activations. With the depletion of reserves of large deposits and the reorientation of subsurface users to identify new facilities, interest in new sources of industrial gold is increasing significantly. One of these gold mining facilities in the region is the Baktai deposit. The purpose of the study of this object is to study the paragenetic associations, the forms of gold discovery, the genesis of this deposit and, as a result, to determine its industrial value.*

Keywords: *gold, form of gold finding, pyritization, mineral paragenesis, mineralized zones.*

REFERENCES

1. Immanuvel M., Lazar D. Does Volume of Gold Consumption Influence the World Gold Price? // Journal of Risk and Financial Management, 2022, vol. 15, no. 7, art. 273.
2. U.S. Geological Survey. Mineral Commodity Summaries 2021. – 2021. P. 200.
3. Atom Capital. Market Overview February 2025: Economic and Market Overview (Electronic resource), 2025.
4. Donkor A.K., Ghoveisi H., Bonzongo J.-C.J. Use of Metallic Mercury in Artisanal Gold Mining by Amalgamation: A Review of Temporal and Spatial Trends and Environmental Pollution Minerals, 2024, vol. 14, no. 6, art. 555.
5. Safonov Yu.G., Popov V.V., Volkov A.V., Zlobina T.M., Chaplygin I.V. Aktual'nye problemy metallogenii zolota. Geologiya i geofizika, 2007, v. 48, № 12. – Pp. 1257-1275.
6. Ouma K.O., Shane A., Syampungani S. Aquatic Ecological Risk of Heavy-Metal Pollution Associated with Degraded Mining Landscapes of the Southern Africa River Basins: A Review // Minerals, 2022, vol. 12, no. 2.
7. Trench A., Baur D., Ulrich S., Sykes J.P. Gold Production and the Global Energy Transition-A Perspective // Sustainability, 2024, vol. 16, no. 14.
8. Alessi M.A., Chirico P.G., Sunder S., O'Pry K.L. Detection and Monitoring of Small-Scale Diamond and Gold Mining Dredges Using Synthetic Aperture Radar on the Kadei (Sangha) River, Central African Republic // Remote Sensing, 2023, vol. 15, no. 4.
9. Verkhozin S.S. Zolotodobyvayushchaya promyshlennost' Kazakhstana. Zolotodobycha. https://zolotodb.ru/article/11194/?page=all
10. D'yachkov B.A., Bissatova A.Y., Mizernaya M.A., Khromykh S.V., Oitseva T.A., Kuzmina O.N., Zimanovskaya N.A., Aitbayeva S.S. Mineralogical Tracers of Gold and Rare-Metal Mineralization in Eastern Kazakhstan // Minerals, 2021, vol. 11, no. 3, art. 253.
11. Rafailovich M.S. Zoloto nedr Kazakhstana: geologiya, metallogeniya, prognozno-poiskovye modeli. Geologiya i razvedka nedr Kazakhstana. Almaty, 2009, no. 2. Pp. 13-24.
12. Daukeev S.Sh., Ushkenov B.S., Lubezhkii V.N. Evolyutsiya Zemli i protsessy formirovaniya mestorozhdenii. Geologiya Kazakhstana. Almaty, 2004.
13. Soloviev S.G., Kryazhev S.G., Dvurechenskaya S.S., Trushin S.I. The Large Bakyrchik Orogenic Gold Deposit, Eastern Kazakhstan: Geology, Mineralization, Fluid Inclusion, and Stable Isotope Characteristics // Ore Geology Reviews, 2020, vol. 127.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_111 УДК 622.1

Применение методов интерполяции для создания цифровых моделей земной поверхности

[1]**ЖУНУСОВА Гульнара Ергалиевна,** *к.т.н., ассоциированный профессор, lena_gulya@mail.ru,*
[1]***ИГЕМБЕРЛИНА Маржан Базарбаевна,** PhD, ассоциированный профессор, igemberlina@mail.ru,*
[2]**АБЕКОВ Улан Ерланович,** *PhD, начальник ПО,*
[1]**РАХИМОВ Гельман,** *к.т.н., старший преподаватель,*
[3]**ДОНЕНБАЕВА Назгуль Сериковна,** *PhD, старший преподаватель, tikosh21@mail.ru,*
[1]Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
[2]ТОО «Maker», Караганда, Казахстан,
[3]Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

***Аннотация.** Выполнен сравнительный анализ семи методов пространственной интерполяции, применяемых при построении цифровых моделей поверхности (ЦМР) в задачах геодезического мониторинга техногенных деформаций. Исследование основано на данных наблюдений за оседанием земной поверхности на подрабатываемом участке Жезказганского месторождения за 2015 и 2020 годы. Обработка данных осуществлялась в программной среде Golden Software Surfer, реализующей широкий спектр алгоритмов интерполяции (IDW, Shepard, Triangulation, Natural Neighbor, Minimum Curvature, RBF, Kriging). Оценка эффективности методов проведена по критериям точности, устойчивости и визуальной гладкости. Результаты показали, что метод кригинга обеспечивает наилучшее качество моделирования за счёт учёта пространственной корреляции и возможности оценки прогностической погрешности. Предложена методика комплексного анализа, позволяющая обоснованно выбирать оптимальный алгоритм интерполяции для инженерно-геодезических приложений и мониторинговых систем.*

***Ключевые слова:** геодезический мониторинг, пространственная интерполяция, цифровая модель поверхности, метод Kriging, геостатистика, Golden Software Surfer.*

Введение

Современные задачи геодезического мониторинга техногенных деформаций земной поверхности требуют не только высокой точности измерений, но и применения эффективных методов математического моделирования и визуализации пространственных данных. В условиях подработки территорий горнодобывающих предприятий, таких как Жезказганское месторождение, важным направлением является создание цифровых моделей рельефа (ЦМР), позволяющих детально анализировать оседания и деформации земной поверхности, что в свою очередь позволит производить прогнозирование возможных обрушений.

Выбор метода пространственной интерполяции оказывает решающее влияние на достоверность геодезических выводов. Некорректный выбор алгоритма может привести к локальным искажениям модели, недооценке амплитуды деформаций и ошибочной инженерной интерпретации. Несмотря на широкое распространение программных комплексов, автоматизирующих построение ЦМР, вопрос оптимального выбора интерполяционного метода остаётся дискуссионным.

Цель исследования основана на проведении сравнительного анализа эффективности различных методов пространственной интерполяции, реализованных в программной среде Surfer, применительно к данным геодезического мониторинга оседаний земной поверхности, и определении наиболее надёжного алгоритма построения цифровых моделей для инженерно-геодезических задач.

Материалы и методы исследования

В качестве исходных данных использованы результаты высокоточного нивелирования реперной сети (таблица 1), выполненного в 2015, 2018 и 2020 годах на подрабатываемом участке Жезказганского месторождения.

Наблюдательная сеть включает 180 реперов, равномерно распределённых по территории, что обеспечивает достоверное моделирование рельефа и оценку пространственных деформаций земной поверхности.

Контрольные точки характеризуют амплитуду оседаний в пределах 0,007-0,05 м, что соответствует допустимым значениям техногенных деформаций [1].

Для иллюстрации структуры исходных данных приведён фрагмент ведомости высотных отметок реперов, использованных в расчётах (таблица 2).

Приведён фрагмент исходной таблицы, демонстрирующий структуру и диапазон высотных отметок. Полный перечень данных не публикуется в связи с ограничениями на распространение производственной информации.

Статистическая обработка данных. На основе ведомости реперов построена сводная статистическая таблица (таблица 2). Для каждого года наблюдений вычислены минимальные (H_{min}), максимальные (H_{max}), средние (H) значения высот и стандартные отклонения (σ, выборочные).

Показатель (H) определён как максимальное абсолютное изменение высоты реперов относительно базового 2015 года.

Исходные данные включают результаты высокоточного нивелирования реперной сети, охватывающей подрабатываемый участок Жезказганского месторождения. Расположение точек сети обеспечивало равномерное покрытие территории, что позволило провести достоверное моделирование рельефа.

Обработка данных выполнялась в Golden Software Surfer 10, обладающей встроенными алгоритмами пространственной интерполяции и визуализации. Программа позволяет генерировать контурные, векторные, теневые, каркасные и трёхмерные модели поверхности, а также реализует методы анализа профилей и расчёта объёмов [2-3].

Математические выражения, реализующие методы пространственной интерполяции, приведены в исходном методическом документе и соответствуют уравнениям, применяемым в Golden Software Surfer. Геостатистические методы основаны на вероятностной модели, рассматривающей изучаемую пространственную переменную Z(X,Y) как реализацию случайной функции Z(X,Y). Такой подход позволяет учитывать пространственную корреляцию данных и дает возможность не только создавать модели поверхности, но и получать оценку точности этих моделей. Статистические приемы позволяют создавать поверхности предварительных значений и интерпретировать степени достоверности этих предварительных расчетов [4-5].

Данный метод обеспечивает минимальную дисперсию ошибки интерполяции. Применение указанных выражений обеспечивает корректное восстановление поверхности

Таблица 1 – Пример ведомости высотных отметок реперов (фрагмент)

№ репера	X, м	Y, м	H (2015), м	H (2020), м
1	80508,11	54547,46	421,015	421,008
2	80496,88	54571,55	420,101	420,108
3	80474,58	54618,68	419,687	419,695
4	80465,28	54638,45	419,315	419,322
5	80452,36	54665,21	418,579	418,588

Таблица 2 – Сводные характеристики высотных отметок реперной сети (2015-2020 гг.)

Год наблюдений	Количество реперов, N	H_{min}, м	H_{max}, м	Среднее H, м	σ, м	ΔH_{max}, м
2015	180	403,45	445,31	424,22	10,67	-
2018	180	403,45	445,31	424,21	10,68	0,01
2020	180	403,45	445,31	424,20	10,69	0,02

для последующего анализа.

Для количественного сравнения методов пространственной интерполяции были использованы четыре наиболее распространённые метрики точности: RMSE, MAE, R^2 и CV. Эти показатели позволяют оценить достоверность и согласованность результатов моделирования, а также устойчивость интерполяционных алгоритмов при работе с геодезическими данными

Полученные значения метрик позволяют провести комплексную оценку точности методов интерполяции. Наиболее чувствительными к аномальным значениям являются RMSE и R^2, тогда как MAE даёт усреднённую оценку погрешности. Коэффициент вариации (CV) отражает стабильность построенной модели и пригодность метода для анализа геодезических данных [6].

В настоящем исследовании значения R^2 превышают 0.9, а CV не превышает 10%, что указывает на высокую согласованность и достоверность интерполяции.

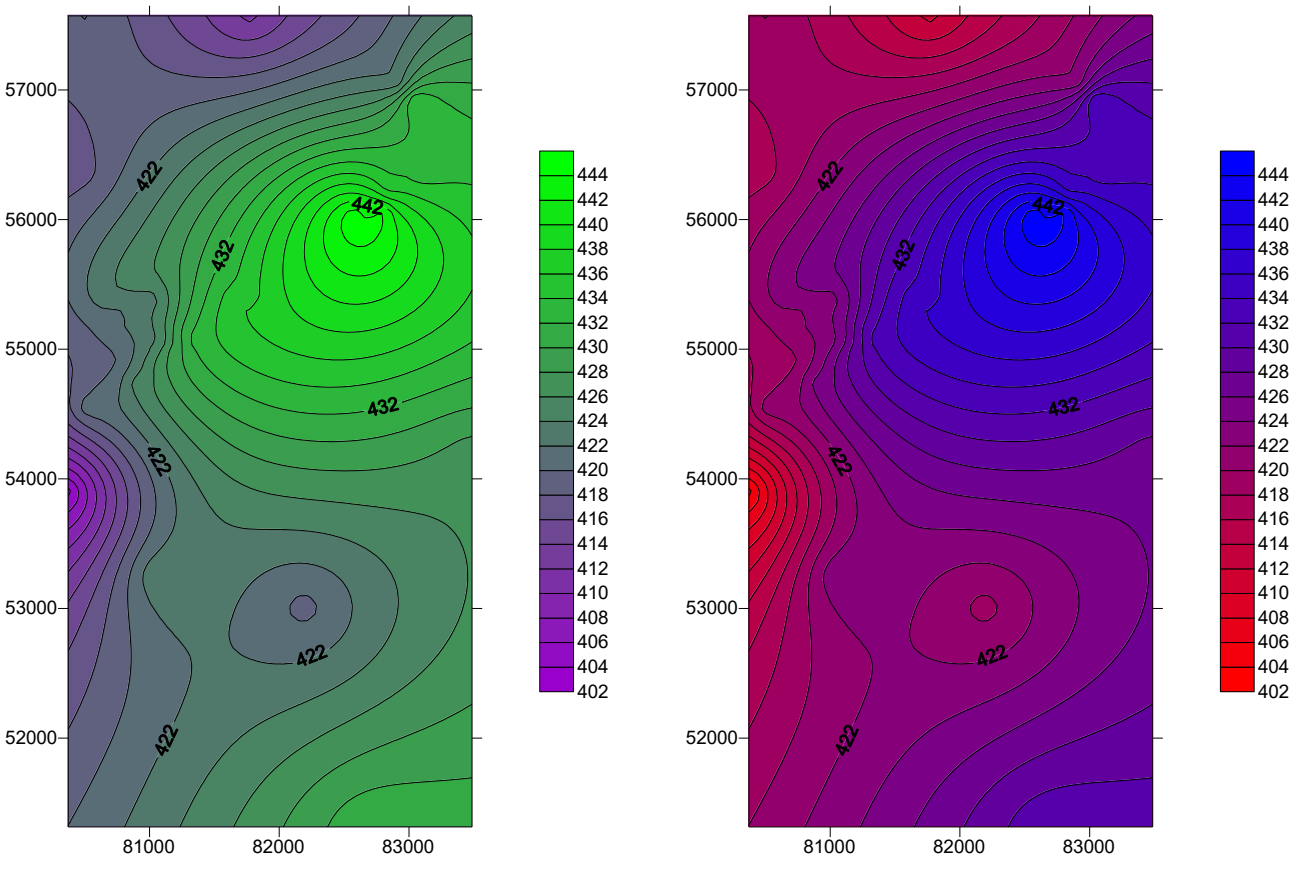
Таким образом, применение комплексных метрик позволяет объективно оценить эффективность различных методов интерполяции и выбрать оптимальный алгоритм для практических задач геодезического мониторинга.

Результаты

Результаты геодезического мониторинга показали пространственную изменчивость оседаний земной поверхности на подрабатываемом участке Жезказганского месторождения.

В 2020 году область максимальных оседаний сместилась в юго-восточную часть участка, что свидетельствует о постепенной активизации процессов в зоне повторной подработки месторождения. Наибольшие изменения высот наблюдаются в центральной части профиля, где расположены основные производственные выработки, тогда как периферийные участки характеризуются относительной стабильностью рельефа.

Сопоставление моделей за разные годы позволило выявить не только абсолютные значения оседаний, но и их направленное смещение, что важно для прогнозирования дальнейших деформационных процессов. На рисунке 1 приведены контурные карты, построенные методом Kriging для периодов



а б

а – 2015г.; б – 2020г. (по данным геодезического мониторинга оседаний Жезказганского месторождения)

Рисунок 1 – Контурные карты исследуемой территории, построенные методом Kriging

2015 и 2020 гг., демонстрирующие распределение деформационных зон.

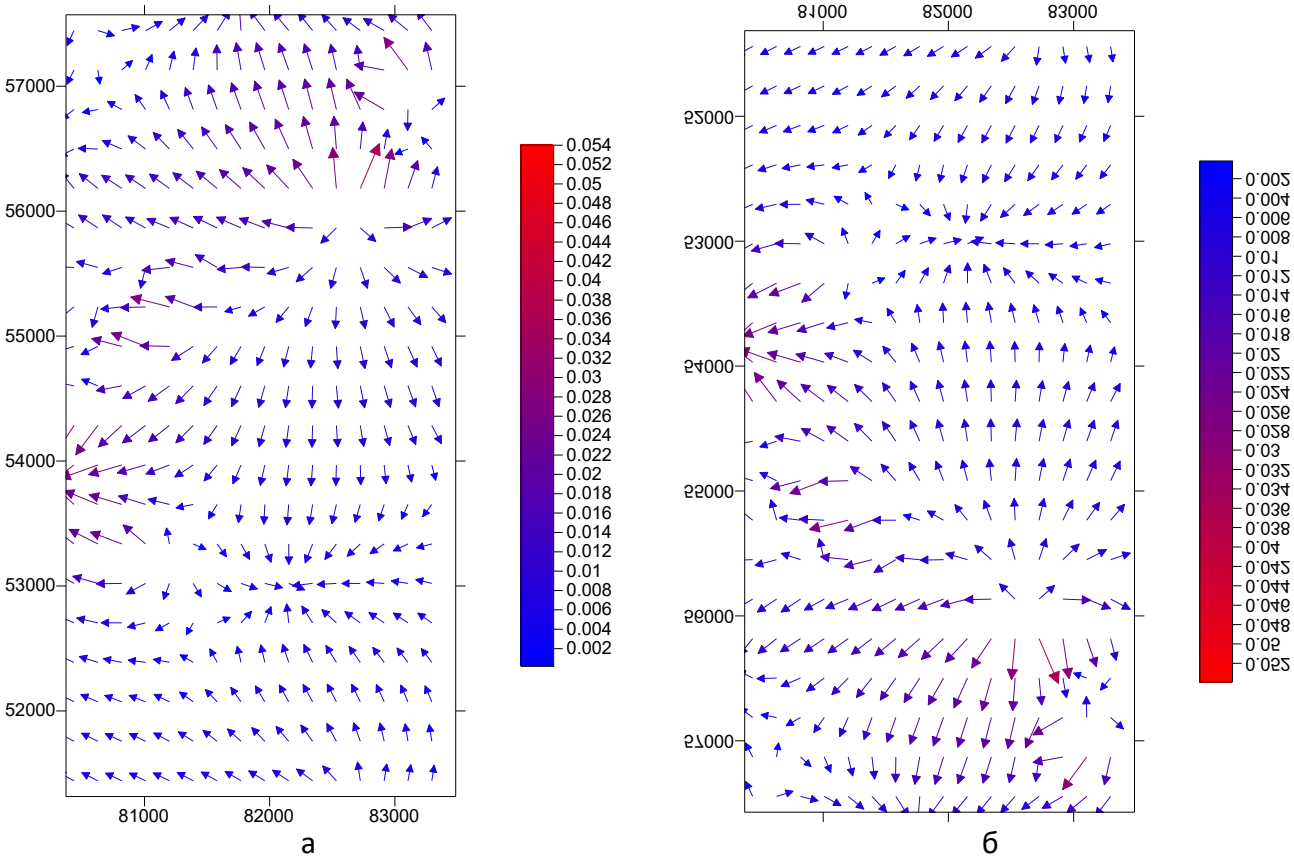
Сравнение результатов различных алгоритмов пространственной интерполяции проведено на основе контурных и векторных моделей, отражающих распределение оседаний земной поверхности (рисунок 2). Для анализа использовались методы обратного взвешивания расстояний (IDW), Шепарда (Shepard) и триангуляции (Triangulation), реализованные в программной среде Surfer [7].

Методы IDW и Shepard формируют сглаженные поверхности, обеспечивая стабильные результаты при равномерном распределении исходных точек, однако приводят к частичной потере локальных деталей рельефа. Метод Triangulation, напротив, позволяет более точно отразить структурные неоднородности и локальные изменения высот, особенно в зонах с резкими градиентами оседаний

Сравнение метрик точности показало, что значения R^2 для всех методов превышают 0,9, однако минимальные RMSE и MAE наблюдаются при использовании метода Kriging, что подтверждает его наилучшее соответствие фактическим данным. Визуальный анализ также демонстрирует, что кригинговая модель обеспечивает наиболее реалистичное восстановление рельефа с оптимальным балансом сглаживания и детализации.

Для повышения наглядности и комплексной интерпретации результатов пространственной интерполяции выполнено совмещение контурной и каркасной моделей поверхности участка (рисунок 3). Такой оверлей позволяет одновременно визуализировать распределение оседаний и геометрическую структуру рельефа, обеспечивая трёхмерное восприятие пространственных изменений.

Применение комбинированного подхода повышает информативность анализа, поскольку позволяет выявлять взаимосвязь между зонами интенсивных оседаний и элементами рельефа. Метод Kriging при этом продемонстрировал оптимальный баланс между гладкостью и точностью восстановления поверхности, корректно интерполируя области локальных деформаций и обеспечивая минимальное значение среднеквадратической ошибки (RMSE ≈ 0,006 м) [8].



а б

а – метод IDW; б – метод Shepard

Рисунок 2 – Контурные и векторные модели поверхности, построенные различными методами интерполяции

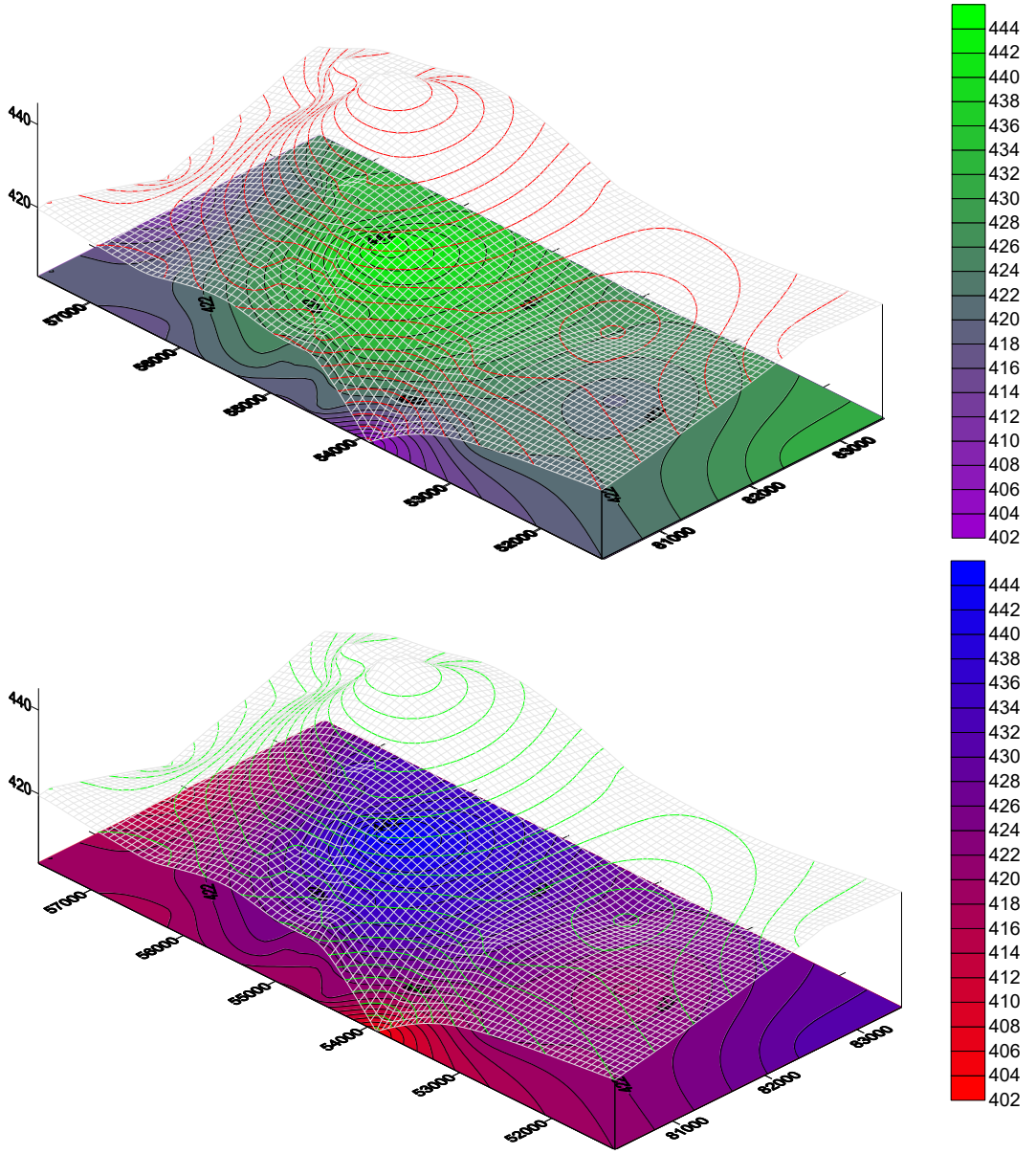


Рисунок 3 – Оверлей контурной и каркасной моделей поверхности участка (построено в Surfer по данным геодезического мониторинга оседаний)

Использование оверлейных моделей рекомендуется в инженерно-геодезических исследованиях и системах мониторинга, где требуется интеграция различных типов пространственных данных и визуальное сопоставление результатов моделирования с геометрией местности.

Для подтверждения достоверности построенной цифровой модели поверхности выполнен геостатистический анализ, включающий построение эмпирической вариограммы и карты стандартных ошибок Kriging. Анализ вариограммы показал, что пространственная структура оседаний удовлетворительно описывается сферической моделью с радиусом корреляции около 120 м и незначительным nugget-эффектом (≈ 0,0005 м²), что указывает на высокую степень пространственной согласованности наблюдений [9-10].

Карта стандартных ошибок демонстрирует минимальные значения в зонах с плотной наблюдательной сетью, где расположены основные реперы, и постепенное увеличение ошибок к периферии участка. Это подтверждает корректность применённой интерполяционной модели и высокую прогностическую надёжность метода Kriging при оценке деформаций рельефа.

Полученные результаты свидетельствуют, что геостатистическая структура оседаний соответствует физической природе процесса и обеспечивает достаточную устойчивость модели для практического

применения в инженерно-геодезическом мониторинге.

Обсуждение результатов

Результаты исследования показали, что применение геостатистических методов интерполяции позволяет не только с высокой точностью реконструировать поверхность оседаний, но и количественно оценивать неопределённость модели. Метод Kriging, в отличие от детерминированных подходов, учитывает пространственную корреляцию, анизотропию и тренды исходных данных, что делает его наиболее предпочтительным инструментом для инженерно-геодезического мониторинга деформаций.

Применение комбинированных подходов, например предварительного сглаживания методом радиально-базисных функций (RBF) с последующим уточнением кригинговой аппроксимацией позволяет дополнительно повысить точность моделирования. Анализ ошибок показал, что при нерегулярном распределении реперов расхождение между результатами RBF и Kriging не превышает 10%, однако именно кригинговая модель остаётся несмещённым предиктором и обеспечивает построение доверительных интервалов для оценки пространственной погрешности.

Заключение

Метод Kriging обеспечивает оптимальный баланс между точностью и сглаженностью поверхности при моделировании оседаний и позволяет оценивать пространственную неопределённость прогноза. По результатам анализа среднеквадратическая ошибка составила RMSE ≈ 0,006 м, что подтверждает высокую достоверность модели.

Детерминированные методы (IDW, Modified Shepard) могут быть использованы для экспресс-оценок, однако при неравномерном распределении точек наблюдения они вызывают локальные искажения и снижение точности.

Методы RBF и Minimum Curvature обеспечивают визуально гладкие поверхности, что делает их удобными для графических интерпретаций и презентационных материалов, но они не позволяют оценивать ошибки прогнозирования.

Для прикладных инженерно-геодезических задач рекомендуется использовать метод кригинга совместно с картами стандартных ошибок и процедурами кросс-валидации, что обеспечивает объективную оценку надёжности результатов.

Перспективы дальнейших исследований связаны с учётом анизотропии оседаний, вариаций геологического строения и разработкой адаптивных моделей, объединяющих геостатистические и нейросетевые подходы к прогнозированию деформаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Игемберлина М.Б., Низаметдинов Р.Ф., Естаева А.Р., Сатбергенова А.К. Применение современных технологий при проведении геодезического мониторинга сдвижения земной поверхности // Горный журнал Казахстана. 2020. № 3. С. 19-23.
2. Иванов И.А., Чеканцев В.А. Решение геологических задач с применением программного пакета Surfer: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. 92 с.
3. Heuvelink G.B.M., Webster R. Spatial statistics and soil mapping: A blossoming partnership under pressure. Spatial Statistics. 2022. Vol. 50. Pp. 1-12.
4. Tomasso Carla, Paolo Farina, Emanuele Intrieri, Kostas Botsialas, Nicola Casagli. On the monitoring and early-warning of brittle slope failures in hard rock masses: Examples from an open-pit mine // Engineering Geology. 2017. Vol. 228. Pp. 71-81.
5. Силкин К.Ю. Геоинформационная система Golden Software Surfer: учебное пособие. Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2008. 66 с.
6. Oliver M.A., Webster R. Basic steps in geostatistics: the variogram and Kriging. London. Springer. 2015. 100 p.
7. Surfer User Guide. Golden Software, LLC. 2019. 1086 p.
8. Мустафин Б.А. Геоинформационные технологии в маркшейдерии // Геодезия и картография Казахстана. 2020. № 3. С. 45-52.
9. Губайдуллин, А.М. Применение методов кригинга в инженерной геодезии // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2021. № 4. С. 62-68.
10. Назаров А.К. Пространственные модели рельефа в горных районах Казахстана // Геоматика и картография. 2022. № 2. С. 33-39.

Жер бетінің цифрлық модельдерін жасау үшін интерполяция әдістерін қолдану

[1]ЖУНУСОВА Гульнара Ергалиевна, *т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, lena_gulya@mail.ru,*
[1]*ИГЕМБЕРЛИНА Маржан Базарбаевна, *PhD, қауымдастырылған профессор, igemberlina@mail.ru,*
[2]АБЕКОВ Улан Ерланович, *PhD, ӨБ бастығы,*
[1]РАХИМОВ Гельман, *т.ғ.к., аға оқытушы,*
[3]ДОНЕНБАЕВА Назгуль Сериковна, *PhD, аға оқытушы, tikosh21@mail.ru,*
[1]Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
[2]«Maker» ЖШС, Қарағанды, Қазақстан,
[3]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Техногендік деформациялардың геодезиялық мониторингі міндеттерінде беттің цифрлық модельдерін (БЦМ) құру кезінде қолданылатын кеңістіктік интерполяцияның жеті әдісіне салыстырмалы талдау жасалды. Зерттеу 2015 және 2020 жылдардағы Жезқазған кен орнының өңделетін учаскесінде жер бетінің шөгуін бақылау деректеріне негізделген. Деректерді өңдеу интерполяция алгоритмдерінің кең спектрін (IDW, Shepard, Triangulation, Natural Neighbor, Minimum Curvature, RBF, Kriging) жүзеге асыратын Golden Software Surfer бағдарламалық ортасында жүзеге асырылды. Әдістердің тиімділігін бағалау дәлдік, тұрақтылық және визуалды Тегістік критерийлері бойынша жүргізіледі. Нәтижелер кригинг әдісі кеңістіктік корреляцияны және болжамды қатені бағалау мүмкіндігін ескере отырып, ең жақсы модельдеу сапасын қамтамасыз ететінін көрсетті. Инженерлік-геодезиялық қосымшалар мен мониторингтік жүйелер үшін оңтайлы интерполяция алгоритмін негізді таңдауға мүмкіндік беретін кешенді талдау әдісі ұсынылған.*

Кілт сөздер: *геодезиялық бақылау, кеңістіктік интерполяция, сандық беттік модель, Kriging әдісі, геостатистика, Golden Software Surfer.*

Application of Interpolation Methods to Create Digital Models of the Earth's Surface

[1]ZHUNUSSOVA Gulnara, *Cand. of Tech. Sc., Associate Professor, lena_gulya@mail.ru,*
[1]*IGEMBERLINA Marzhan, *PhD, Associate Professor, igemberlina@mail.ru,*
[2]ABEKOV Ulan, *PhD, Head of the Production Department,*
[1]RAKHIMOV Gelman, *Cand. of Tech. Sc., Senior Lecturer,*
[3]DONENBAYEVA Nazgul, *PhD, Senior Lecturer, tikosh21@mail.ru,*
[1]Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
[2]LLP «Maker», Karaganda, Kazakhstan,
[3]L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *A comparative analysis of seven spatial interpolation methods used in the construction of digital surface models (DSM) in the tasks of geodetic monitoring of technogenic deformations was carried out. The study is based on data from observations of the subsidence of the earth's surface at the worked-out section of the Zhezkazgan deposit in 2015 and 2020. The data was processed using the Golden Software Surfer software environment, which implements a wide range of interpolation algorithms (IDW, Shepard, Triangulation, Natural Neighbor, Minimum Curvature, RBF, Kriging). The effectiveness of the methods was evaluated based on the criteria of accuracy, stability, and visual smoothness. The results showed that the kriging method provides the best modeling quality due to its ability to account for spatial correlation and estimate the predictive error. A comprehensive analysis methodology was proposed to help select the optimal interpolation algorithm for engineering and geodetic applications and monitoring systems.*

Keywords: *geodetic monitoring, spatial interpolation, digital surface model, the Kriging method, geostatistics, Golden Software Surfer.*

REFERENCES

1. Igemberlina M.B., Nizametdinov R.F., Estaeva A.R., Satbergenova A.K. Primenenie sovremennyh tehnologii pri provedenii geodezicheskogo monitoringa sdvizheniya zemnoy poverhnosti. Gornuy zhurnal Kazahstana. 2020. № 3. Pp. 19-23.
2. Ivanov I.A., Chekantsev V.A. Reshenie geologicheskih zadach s primeneniem programmnogo paketa Surfer: uchebnoe posobie. Tomsk: Publ. Tomskiy Polytechnicheskiy universitet, 2008. 92 p.
3. Heuvelink G.B.M., Webster R. Spatial statistics and soil mapping: A blossoming partnership under pressure. Spatial Statistics. 2022. Vol. 50. Pp. 1-12.
4. Tomasso Carla, Paolo Farina, Emanuele Intrieri, Kostas Botsialas, Nicola Casagli. On the monitoring and early-warning of brittle slope failures in hard rock masses: Examples from an open-pit mine. Engineering Geology. 2017. Vol. 228. Pp. 71-81.
5. Silkin K.Y. Geoinformazinnaya Sistema Golden Software Surfer: uchebnoe posobie. Voronezh: Publ. Voronezhskiy gosudarstvenny university, 2008. 66 p.
6. Oliver M.A., Webster R. Basic steps in geostatistics: the variogram and Kriging. London. Springer. 2015. 100 p.
7. Surfer User Guide. Golden Software, LLC. 2019. 1086 p.
8. Mustafin B.A. Geoinmazionnye tehnologii v marksheiderii. Geodesiya i kartografiya Kazakhstana. 2020. № 3. Pp. 45-52.
9. Gubaidullin, A.M. Primenenie metodov krikinga v inzhenernoy geodesii. Izvestiya vuzov. Geodesiya i aerofotosemka. 2021. № 4. Pp. 62-68.
10. Nazarov A.K. Prostranstvennye modeli relefa v gornyh raionah Kazahstana Geomatika i kartografiya. 2022. № 2. Pp. 33-39.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_119 УДК 620.28:62; 620.28:658.274

Исследование влияния технологических параметров на эффективность флотации отходов углеобогащения

ОСКЕМБЕКОВ Ильяс Маликович, *старший научный сотрудник, ilyasosk@yandex.kz, https://orcid.org/0000-0002-3074-3572,*
АКУБАЕВА Макижан Аубакировна, *научный сотрудник, makijan_65@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-4685-1268,*
ГИЗАТУЛЛИНА Дилара Рафаиловна, *младший научный сотрудник, dilurin@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-0999-4828,*
****ШАЙКЕ Жамиля Арамановна,*** *младший научный сотрудник, zhamilya.shayke@mail.ru, https://orcid.org/0009-0004-9715-0589,*
ЖУНУСОВ Ерлан Махсутжанович, *младший научный сотрудник, xx_09_xx@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1540-1136,*
Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева, Караганда, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Исследованы отходы обогащения коксующихся углей Карагандинского угольного бассейна с целью их дальнейшей переработки с получением товарных продуктов. Проведены исследования состава сырья ситовым, техническим, рентгенофазовым и химическим методами анализа, а также экспериментальные исследования с использованием методов планирования эксперимента и флотации. Установлено, что сырье после дробления имеет неравномерный гранулометрический состав с распределением 43% массы по классам крупности частиц минус 0,045 и 0,5-1 мм, на горючую часть, представляющую собой элементный углерод и органические соединения, приходится 24,63% массы сырья. Основными компонентами пустой породы являются SiO sub 2, на который приходится 45,4% массы, Al sub 2, O sub 3 – 14,99%, Fe – 3,76%, MgO – 0,94%, CaO – 3,08%, Na sub 2, O – 0,52%, K sub 2, O – 1,73%. Исследована флотация отходов углеобогащения с применением вероятностно-детерминированного метода планирования эксперимента. Получены частные зависимости извлечения горючей массы в концентрат от времени измельчения сырья, расхода собирателя и времени основной флотации. Определены оптимальные условия получения угольного концентрата зольностью 11,96%.*

Ключевые слова: *горючая масса, угольный концентрат, флотация.*

Введение

Утилизации отходов обогащения угля является одной из актуальных проблем угольной отрасли Казахстана. Она обусловлена сложным и непостоянным минеральным составом отходов, нахождением их неорганических компонентов в химически связанном состоянии, а также наличием относительно большого количества остаточного угля. В результате отходы углеобогащения накапливаются в отвалах угольных обогатительных фабрик, требуют затрат на обслуживание и ухудшают экологическую обстановку в районах своего складирования [1].

Отходы углеобогащения обладают большим экономическим потенциалом. Они имеют в своем составе коксующийся уголь, глинозем, оксиды железа и кремния. Коксующийся уголь, в случае его извлечения, пригоден для производства кокса, который высоко востребован в металлургическом производстве в качестве топлива и восстановителя. Содержание углеродсодержащей части в хвостах углеобогащения зависит от типа обогатительной технологии, свойств исходного угля и режимов процесса. В практике углеобогащения хвосты представляют собой смесь породной массы и тонкодисперсных угольных частиц, не извлечённых в концентрат.

Флотационные хвосты обычно содержат 8-25% горючей массы, в отдельных случаях – до 30-35%, особенно при переработке тонкоизмельчённых или высокозольных

углей. Хвосты гравитационного обогащения 3-12% угля, но при тонком классе (0-0,5 мм) показатели часто повышаются. Общие технологические потери угля при флотации могут составлять 5-15% от массы исходного материала, а при переработке сложных углей – до 20% [2, 3].

Хвосты углеобогащения содержат также глинозем и кремнезем, являющиеся сырьем для производства, соответственно, алюминия и кремния. Оксид железа как сырье интересен для доменного производства [4-6].

Отходы углеобогащения обладают преимуществом перед минеральным сырьем, так как не требуют затрат на извлечение из недр и являются возобновляемыми ресурсами – годовая производительность данных отходов по Карагандинскому региону достигает 4 млн тонн.

При разработке технологии переработки хвостов углеобогащения необходимо провести отделение органической части сырья от минеральной составляющей. В данной статье приведены результаты исследований по определению состава и условий флотации отходов углеобогащения с целью отделения органической части от минеральной с получением угольного концентрата.

Материалы и методы

Объектом исследования являлась проба отходов обогащения коксующихся углей Карагандинского угольного бассейна.

Предварительная подготовка сырья к исследованиям включала операции дробления, усреднения, сокращения и отбор проб на проведение анализа и лабораторных экспериментов.

Дробленую пробу подвергли ситовому анализу для определения гранулометрического состава по общепринятой методике [7]. Ситовой анализ показал, что в исследуемой в пробе отходов после дробления на долю флотационного класса (-0,125 мм) приходится 38,45%, а также выделяются фракции минус 0,045 и 0,5-1 мм, на которые суммарно приходится 40% всех частиц, что свидетельствует о неоднородном гранулометрическом составе дробленой пробы.

Технический анализ отходов углеобогащения показал, что на долю горючей массы (далее – ГМ), приходится 24,63%. Наличие ГМ дает основание для проведения флотационных экспериментов по ее извлечению в угольный концентрат.

Методом химического анализа установлен химический состав сухой пробы отходов углеобогащения, масс. %: ГМ – 24,63, SiO sub 2 – 45,40, Al sub 2, O sub 3 – 14,99, Fe – 3,76, CaO – 3,08, K sub 2, O – 1,73, MgO – 0,94, Na sub 2, O – 0,52. Результаты химического анализа указывают на то, что в отходах углеобогащения основную долю занимает оксид кремния.

Определение фазового состава основных компонентов пустой породы отходов углеобогащения позволило установить, что в пустой породе исследуемого сырья преобладают глинистые минералы – монтмориллонит и каолинит. Следующими по содержанию являются кварц и полевой шпат. Замыкают цепочку карбонатные минералы, представленные сидеритом, известняком и доломитом. Имеют место аргиллит, алевролит и мергель, содержание которых оценить не удалось.

Таким образом, исследованиями состава сырья установлено, что отходы углеобогащения содержат такие ценные компоненты, как горючая масса из элементного углерода и органических соединений, оксиды кремния, алюминия и железа.

Результаты и обсуждение

Отходы обогащения коксующихся углей согласно результатам проведенных исследований, содержат в своем составе ГМ, которая является ценным компонентом. С целью извлечения горючей массы в концентрат были проведены флотационные исследования по схеме, изображенной на рисунке 1. Исследовали влияние различных флотационных реагентов на извлечение горючей массы в концентрат.

В первой серии экспериментов провели подбор собирателя. В качестве собирателей использовали изоаминол, керосин, печное топливо с расходом 200 г/т. Навеску исходного сырья смешивали с водой при отношении Т:Ж = 1:1. Пульпу загружали в мельницу и измельчали в течение 5 мин. После измельчения пульпу разбавляли водой до отношения Т:Ж = 1:4 и загружали в камеру флотационной машины. В качестве вспенивателя применялся Т-92 с расходом 50 г/т. После агитации (1 мин) проводили флотацию в течение 8 мин. Продукты флотации фильтровали и высушивали. Затем их анализировали на содержание ГМ методом озоления. На основе данных анализа определяли извлечение ГМ в продукты флотации. Результаты флотации приведены в таблице 1.

Как видно из данных таблицы 1, наилучшие показатели получены при применении печного топлива: выход концентрата увеличивается до 20,15%, содержание горючей массы достигает 72,17%, а извлечение ГМ возрастает до 59,04%. Одновременно наблюдается снижение содержания горючей массы в хвостах до 12,63%, что свидетельствует о более полном извлечении ценной компоненты. Таким образом, печное топливо обеспечивает наиболее эффективную селективность процесса флотации и было вы-

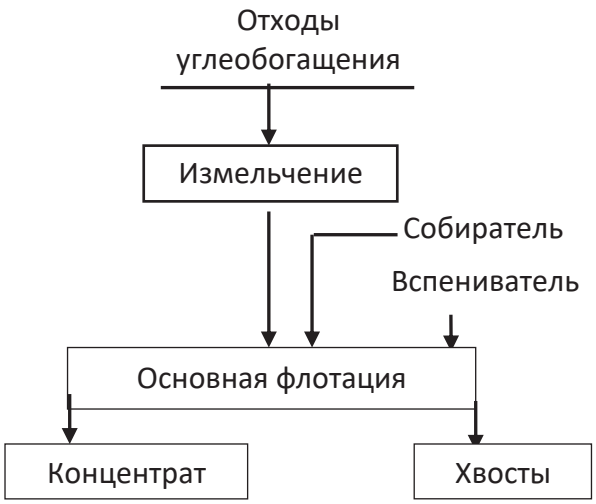


Рисунок 1 – Схема флотации отходов углеобогащения

брано в качестве оптимального собирателя для последующих исследований.

Следующая серия экспериментов посвящена подбору вспенивателя. В качестве вспенивателей использовали Т-80, Т-92 и КОБС (кубовые остатки синтеза бутилового спирта). Методика экспериментов аналогична предыдущим. Результаты представлены в таблице 2.

Анализ данных показывает, что при использовании вспенивателя Т-80 извлечение горючей массы в концентрат составляет 58,90% при выходе 20,86%. Применение Т-92 несколько повышает содержание горючей массы в концентрате (72,17%) и извлечение ГМ до 59,04%. Максимальные значения показателей получены при использовании КОБС: выход концентрата составляет 20,79%, содержание горючей массы – 74,28%, а извлечение достигает 62,70%. Содержание горючей массы в хвостах при этом минимально (11,60%), что указывает на высокую эффективность процесса. Полученные результаты позволяют сделать вывод о целесообразности использования КОБС в качестве вспенивателя.

Для выявления влияния основных технологических факторов на извлечение горючей массы были проведены матричные эксперименты, в которых в качестве факторов выбраны время измельчения исходного сырья, расход собирателя (печного топлива) и продолжительность основной флотации, диапазоны варьирования которых приведены в таблице 3.

Экспериментальные значения частных функций извлечения горючей массы представлены в таблице 4.

Из таблицы 4 видно, что увеличение времени измельчения приводит к росту извле-

Таблица 1 – Влияние собирателей на показатели флотации отходов углеобогащения

Реагенты	Наименование продукта	Выход продукта, %	Содержание ГМ, %	Извлечение ГМ, %
изоаминол	концентрат	18,57	68,27	51,47
	хвосты	81,43	14,68	48,53
керосин	концентрат	19,32	69,11	54,21
	хвосты	80,68	13,98	45,79
Печное топливо	концентрат	20,15	72,17	59,04
	хвосты	79,85	12,63	40,96

Таблица 2 – Влияние вспенивателей на показатели флотации отходов углеобогащения

Реагенты	Наименование продукта	Выход продукта, %	Содержание ГМ, %	Извлечение ГМ, %
Т-80	концентрат	20,86	69,54	58,90
	хвосты	79,14	12,79	41,10
Т-92	концентрат	20,15	72,17	59,04
	хвосты	79,85	12,63	40,96
КОБС	концентрат	20,79	74,28	62,70
	хвосты	79,21	11,60	37,30

чения ГМ с 37,89 до 59,83%, что связано с более полным раскрытием угольных частиц и улучшением их флотируемости. Рост расхода собирателя способствует увеличению извлечения горючей массы с 28,96 до 62,92%, что объясняется усилением гидрофобизации поверхности угольных частиц. Наиболее существенное влияние оказывает продолжительность основной флотации: при увеличении времени флотации извлечение ГМ возрастает с 21,31 до 65,70%, что обусловлено более полным вовлечением угольных частиц в пенный продукт.

На основе экспериментальных данных таблицы 4 построены частные зависимости, представленные на рисунке 2.

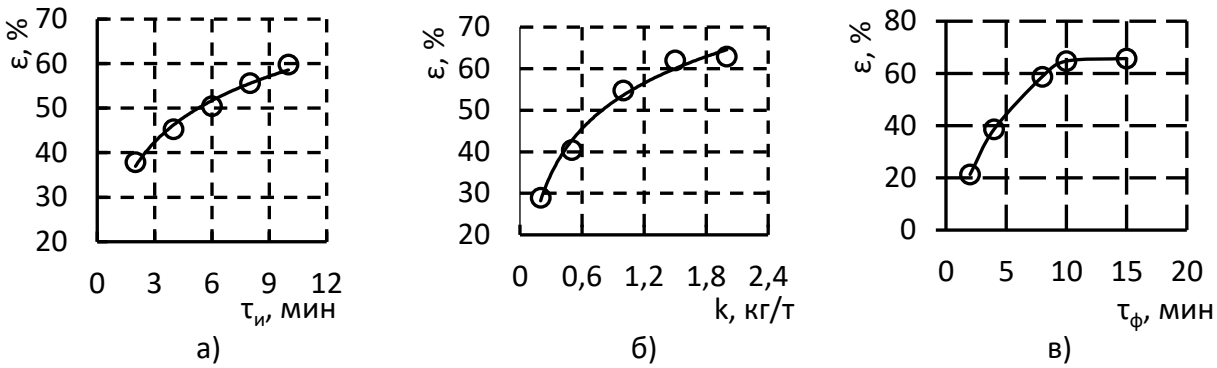
График на рисунке 2а показывает логарифмический характер зависимости извлечения горючей массы от времени измельчения: на начальном этапе наблюдается резкий рост извлечения, который затем замедляется. Аналогичная тенденция прослеживается на рисунке 2б для расхода собирателя, где увеличение его дозировки выше определённого значения приводит лишь к незначительному приросту извлечения. Наиболее выраженный эффект наблюдается на рисунке 2в: увеличение времени основной флотации сопровождается существенным ростом извлечения горючей массы практически во всём исследуемом диапазоне. В рассматриваемом интервале изменения вре-

Таблица 3 – Факторы и уровни их варьирования для исследования процесса флотации отходов углеобогащения

Фактор	Уровень				
	1	2	3	4	5
Время измельчения, $\tau_и$, мин	2	4	6	8	10
Расход собирателя, k, кг/т	0,2	0,5	1	1,5	2
Время основной флотации, $\tau_ф$, мин	2	4	8	10	15

Таблица 4 – Экспериментальные значения частных функций по флотации сырья

Функция	Уровни					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
ε_1	37,89	45,29	50,46	55,61	59,83	49,81
ε_2	28,96	40,41	54,74	62,04	62,92	49,81
ε_3	21,31	38,57	58,78	64,71	65,70	49,81



а – время измельчения сырья; б – расход собирателя; в – время основной флотации

Рисунок 2 – Зависимости извлечения ГМ во флотационный концентрат от исследуемых факторов

мени флотации извлечение ГМ меняется на 44%, время измельчения и расход собирателя влияют на извлечение ГМ в меньшей степени, вызывая изменение, соответственно, на 22 и 34%.

Таким образом, проведенные исследования позволили установить, что оптимальными условиями флотации являются 10 мин измельчения сырья, 1,4 кг/т печного топлива и 10 мин основной флотации. При данных условиях проведена флотация отходов углеобогащения и получен флотационный угольный концентрат. Выход концентрата составляет 25,3%, содержание горючей массы достигает 88,14%, а извлечение ГМ – 90,54%. Зольность концентрата равна 11,96%, что соответствует требованиям к товарному угольному продукту и подтверждает эффективность предложенной технологии переработки отходов углеобогащения.

Данное исследование проводилось в рамках программы BR23991563 «Создание инновационных ресурсосберегающих технологий добычи и комплексной переработки минерального и техногенного сырья», финансируемой Комитетом промышленности Министерства промышленности и строительства Республики Казахстан.

Выводы

Проведенные исследования состава пробы отходов обогащения коксующихся углей Карагандинского угольного бассейна позволили установить:

1. Исследуемая проба имеет неравномерный гранулометрический состав. На фракции, минус 0,045 и 0,5-1 мм, суммарно приходится 43% массы всех частиц;

2. В сырье на горючую массу (представляющую собой элементный углерод и органические соединения) приходится 24,63% массы. Доля летучих компонентов составляет 6,98%;

3. Содержание основных компонентов составляет масс., %: SiO sub 2 – 45,4; Al sub 2, O sub 3 – 14,99; Fe – 3,76; MgO – 0,94; CaO – 3,08; Na sub 2, O – 0,52; K sub 2, O – 1,73;

4. Пустая порода в сырье состоит на 45% из глинистых минералов (монтмориллонит Al sub 2, open left-parenthesis OH right-parenthesis, sub 2, open left-bracket Si sub 4, O sub 10, right-bracket, asterisk H sub 2, O и каолинит Al sub 2, Si sub 2, O sub 5, open left-parenthesis OH right-parenthesis, sub 4), на 20% из кварца, на 20% из карбонатных минералов (сидерит Fe open left-parenthesis CO right-parenthesis, sub 3, известняк CaCO sub 3 и доломит open left-parenthesis Ca comma Mg right-parenthesis, CO sub 3) и на 15% из полевого шпата open left-brace K comma Na comma Ca, иногда Ba right-brace open left-brace Al sub 2, Si sub 2 или AlSi sub 3, right-brace, O sub 8 super.

5. Методом флотации установлена возможность получения угольного концентрата из отходов углеобогащения. Вероятностно-детерминированным методом планирования эксперимента исследовано влияние на показатели получения флотационного концентрата трех факторов – времени измельчения исходного дробленого сырья, расхода собирателя и времени основной флотации. Определены оптимальные условия флотации (плотность пульпы – Т:Ж = 1:4; собиратель – печное топливо 1,4 кг/т; вспениватель – кубовые остатки синтеза бутилового спирта (КОБС) – 50 г/т; время основной флотации – 10 мин), которые обеспечивают получение угольного концентрата зольностью 11,96%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цешковская Е.А., Голубева Е.И., Цой Н.К., Оралова А.Т., Матонин В.В. Геоэкологические аспекты рекультивации нарушенных земель в Карагандинской области (Республика Казахстан) // Вестник Московского Университета. – Серия 5. – География. – 2019. – № 4. – С. 73-79.
2. Zhang L., Honaker R.Q. Recovery offine and ultrafine coal using column flotation technologies // Minerals Engineering. – 2020. – Vol. 155. – P. 106463
3. Honaker R.Q., Mohanty M.K. Fine coal cleaning by novel flotation technologies // CoalPreparation. – 2019. – Vol. 40 (4). – Pp. 207-223.
4. Харионовский А.А., Гришин В.Ю., Коликов К.С., Удалова Н.П. Проблемы использования отходов угледобычи // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 10-1. С. 45-55. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_101_0_45.
5. Столбоушкин А.Ю., Стороженко Г.И. Отходы углеобогащения как сырьевая и энергетическая база

заводов керамических стеновых материалов // Строительные материалы. Научно-технический производственный журнал. – 2011. – № 4. – С. 43-46.
6. Туребекова К.С., Оскембеков И.М., Оскембекова Ж.С., КаткееваГ.Л., Жунусов Е.М. Resear chand development of the process scheme of leaching of baryti craw material // Вестник КарГУ серия «Химия». – Караганда. – 2018. – № 1. – С. 92-98.
7. ГОСТ 2093-82. Топливо твердое. Ситовый метод определения гранулометрического состава.

Көмір байыту қалдықтарын флотациялау тиімділігіне технологиялық параметрлердің әсерін зерттеу

ӨСКЕМБЕКОВ Ілияс Мәлікұлы, *аға ғылыми қызметкер, ilyasosk@yandex.kz,*
https://orcid.org/0000-0002-3074-3572,
АҚУБАЕВА Макижан Әубәкірқызы, *ғылыми қызметкер, makijan_65@mail.ru,*
https://orcid.org/0000-0003-4685-1268,
ГИЗАТУЛЛИНА Дилара Рафаилқызы, *кіші ғылыми қызметкер, dilurin@mail.ru,*
https://orcid.org/0000-0002-0999-4828,
****ШӘЙКЕ Жәмилә Арманқызы,*** *кіші ғылыми қызметкер, zhamilya.shayke@mail.ru,*
https://orcid.org/0009-0004-9715-0589,
ЖҰНІСОВ Ерлан Махсұтжанұлы, *кіші ғылыми қызметкер, xx_09_xx@mail.ru,*
https://orcid.org/0000-0002-1540-1136,
Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты, Қарағанды, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Қарағанды көмір бассейнінің кокстелетін көмірлерін байыту қалдықтары оларды әрі қарай өңдеу мақсатында тауарлық өнім алу мақсатында зерттелді. Шикізаттың құрамы електен, техникалық, рентгендік фазалық және химиялық талдау әдістерімен, сондай-ақ, тәжірибелік-конструкторлық және флотациялық әдістермен тәжірибелік зерттеулермен зерттелді. Ұсақтаудан кейінгі шикізаттың біркелкі емес гранулометриялық құрамы бар екені анықталды, массасының 43% минус 0,045 және 0,5-1 мм бөлшектердің өлшемдік кластары арасында бөлінген; элементарлы көміртегі және органикалық қосылыстар болып табылатын жанғыш бөлік шикізат массасының 24,63% құрайды. Ганганың негізгі құрамдас бөліктері массаның 45,4%-ын құрайтын SiO sub 2, Al sub 2, O sub 3 – 14,99%, Fe – 3,76%, MgO – 0,94%, CaO – 3,08%, Na sub 2, O – 0,52%, K sub 2, O – 1,73%. Көмірді байыту қалдықтарының флотациясы тәжірибелік жобалаудың ықтималдық-детерминирленген әдісін қолдану арқылы зерттелді. Концентратқа жанғыш массаны алудың шикізатты ұнтақтау уақытына, коллектор шығынына және негізгі флотация уақытына ерекше тәуелділік алынды. Күлділігі 11,96% көмір концентратын алудың оңтайлы шарттары анықталды.*

Кілт сөздер: *жанғыш масса, көмір концентраты, флотация.*

Investigation of the Influence of Technological Parameters on the Efficiency of Coal Preparation Waste Flotation

OSKEMBEKOV Ilyas, *Senior Researcher, ilyasosk@yandex.kz,*
https://orcid.org/0000-0002-3074-3572,
AKUBAEVA Makizhan, *Researcher, makijan_65@mail.ru,*
https://orcid.org/0000-0003-4685-1268,
GIZATULLINA Dilara, *Junior Researcher, dilurin@mail.ru,*
https://orcid.org/0000-0002-0999-4828,
****SHAIKE Zhamila,*** *Junior Researcher, zhamilya.shayke@mail.ru,*
https://orcid.org/0009-0004-9715-0589,
ZHUNUSSOV Yerlan, *Junior Researcher, xx_09_xx@mail.ru,*
https://orcid.org/0000-0002-1540-1136,

Zh. Abishev Chemical-Metallurgical Institute, Karaganda, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *The waste from the enrichment of coking coals from the Karaganda coal basin was studied for the purpose of their further processing to obtain commercial products. The composition of the raw materials was studied using sieve, technical, X-ray phase and chemical analysis methods, as well as experimental studies using experimental design and flotation methods. It was established that the raw material after crushing has an uneven granulometric composition with 43% of the mass distributed among particle size classes of minus 0.045 and 0.5-1 mm; the combustible part, which is elemental carbon and organic compounds, accounts for 24.63% of the mass of the raw material. The main components of gangue are SiO sub 2, which accounts for 45.4% of the mass, Al sub 2, O sub 3 – 14.99%, Fe – 3.76%, MgO – 0.94%, CaO – 3.08%, Na sub 2, O – 0.52%, K sub 2, O – 1.73%. The flotation of coal enrichment waste was investigated using the probabilistic-deterministic method of experimental design. Particular dependencies of the extraction of combustible mass into concentrate on the raw material grinding time, collector consumption, and the main flotation time were obtained. Optimal conditions for producing coal concentrate with an ash content of 11.96% were determined.*

Keywords: *combustible mass, coal concentrate, flotation.*

REFERENCES

1. Tseshkovskaia E.A., Golubeva E.I., Tsoi N.K., Oralova A.T., Matonin V.V. Geoekologicheskie aspekty rekultivatsii na rushennykh zemel v Karagandinskoi oblasti (Respublika Kazakhstan) // Vestnik Moskovskogo Universiteta. – Seriia 5. – Geografiia. – 2019. – № 4. – Pp. 73-79.
2. Zhang L., Honaker R.Q. Recovery of fine and ultrafine coal using column flotation technologies // Minerals Engineering. – 2020. – Vol. 155. – P. 106463.
3. Honaker R.Q., Mohanty M.K. Fine coal cleaning by novel flotation technologies // Coal Preparation. – 2019. – Vol. 40 (4). – Pp. 207-223.
4. Kharionovskii A.A., Grishin V.Iu., Kolikov K.S., Udalova N.P. Problemy is polzovaniia otkhodov ugledobychi // Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten. – 2021. – № 10-1. Pp. 45-55. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_101_0_45.
5. Stolboushkin A.Iu., Storozhenko G.I. Otkhody ugleobogashcheniia kaksyrevaiai energeticheskaia baza zavodov keramicheskikh stenovykh materialov // Stroitelnye materialy. Nauchno-tekhnicheskii proizvodstvennyi zhurnal. – 2011. – № 4. – Pp. 43-46.
6. Turebekova K.S., Oskembekov I.M., Oskembekova Zh.S., Katkeeva G.L., Zhunusov E.M. Research and development of the process scheme of leaching of barytic raw material // Vestnik KarGU seriia «Khimiia». – Karaganda. – 2018. – № 1. – Pp. 92-98.
7. GOST 2093-82. Toplivo tverdoe. Sitovyi metod opredeleniia granulometricheskogo sostava.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_126 УДК 550.348

Моделирование Кулонового переноса напряжения на активных разломах Северного Тянь-Шаня

[1,2]*СИЫЛКАНОВА Акгенже Оришановна, PhD, старший преподаватель, научный сотрудник, a.siylkanova@satbayev.university, https://orcid.org/0000-0002-0533-470X,
[1]МЫРЗАХАН Аяулым, докторант, a.myrzakhan@satbayev.university, https://orcid.org/0009-0003-0278-9041,
[1]КАЛГУЛОВА Назерке Ерланкызы, докторант, naz.kalgulova@gmail.com, https://orcid.org/0009-0004-7467-4419,
[1]БИСЕМБАЕВА Лилия Ериковна, докторант, BESSIMBAYEVA.L@stud.satbayev.university, https://orcid.org/0000-0002-1577-6341,
[1,2]АБИЛАХАНОВА Анар Оразбекқызы, магистр, Abilakhanova.A@stud.satbayev.university, https://orcid.org/0009-0000-7286-4340,
[1]Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан,
[2]Национальный научный центр сейсмологических наблюдений и исследований МЧС РК, Алматы, Казахстан,
*автор-корреспондент.

Аннотация. Представлены результаты расчета изменений статического напряжения на тектонических разломах с использованием метода переноса Кулонового напряжения. Моделирование выполнено на базе компьютерной программы Coulomb 3.3. Целью исследования является выявление участков с повышенными значениями напряжения Кулона в пределах активных разломов Северного Тянь-Шаня. Особое внимание уделено районам, характеризующимся проявлениями катастрофических землетрясений в прошлом. По результатам расчетов установлено, что максимальные значения напряжения (до 5 бар) приурочены к северо-восточной части Каскеленского разлома, юго-западной части Заилийского разлома, а также к Южно-Джунгарскому и Алтынэмельскому разломам. Полученные данные свидетельствуют о повышенной вероятности в будущем возникновения в указанных зонах сильных сейсмических событий.

Ключевые слова: сейсмическая опасность, активные разломы, Кулоновое напряжение, Северный Тянь-Шань, программа Coulomb 3.3.

Введение. В современной сейсмологии, как правило, выделяют два ключевых механизма возникновения землетрясений. Первый из них связан с естественным смещением тектонических разломов под воздействием региональных тектонических напряжений. Второй механизм обусловлен влиянием ранее произошедшего сильного землетрясения в соседней области, которое может изменить напряжённое состояние разломов и инициировать последующую сейсмическую активность. Данный процесс получил название триггерного механизма и рассматривается как основной источник формирования афтершоковых последовательностей, а также отдельных индуцированных землетрясений.

Механизм триггерного воздействия достаточно эффективно описывается моделью переноса Кулонового напряжения [1]. В последние годы эта модель широко применяется для анализа пространственно-временных связей между основными сейсмическими событиями и афтершоками, а также для изучения взаимодействия сильных землетрясений, происходящих в различные периоды времени [2-8]. В частности, была выявлена корреляция между изменениями Кулонового напряжения и распределением афтершоков, зафиксированных после сильного землетрясения в Калифорнии в 1979 году [2]. В работе [3], посвящённой анализу землетрясения Ландерс (1992 г., Mw=7,4), показано, что перераспределение Кулонового напряжения

на разломах с высокой вероятностью сыграло роль пускового фактора данного события. Исследование, выполненное Штейном [8], охватывающее период с 1939 по 1992 годы на территории Турции, продемонстрировало, что накопленные изменения Кулонового напряжения могли способствовать возникновению землетрясения в Северо-Анатолийской зоне разломов с магнитудой Mw=6,7. Аналогичные выводы получены и для землетрясения в районе Хох-Сил (2001 г., Mw=7,8), которое, как показано в [9], могло быть спровоцировано серией из четырёх сильных сейсмических событий, произошедших в данном регионе за предыдущие 63 года. Результаты ряда других исследований [9, 10] также подтверждают гипотезу о повышенной вероятности возникновения землетрясений в зонах увеличения Кулонового напряжения, сформировавшегося вследствие основных сейсмических толчков.

Таким образом, анализ изменений Кулонового напряжения на разломных структурах представляет собой перспективный метод изучения механизмов возникновения землетрясений и может быть использован при оценке сейсмической опасности и прогноза сильных землетрясений на территории Казахстана.

Методика исследований. Модель переноса тектонических напряжений Кулона, реализованная в виде компьютерной программы Coulomb 3.3, была разработана исследователями Киотского университета, Япония, совместно со специалистами Национальной геологической службы США [3-5]. Разработанная модель позволяет оценивать изменения статического напряжения Кулона, а также определять вариации сдвиговых и нормальных компонент напряжённого состояния на тектонических разломах. В основе модели Кулона лежит критерий разрушения, который может быть представлен следующим выражением [5]:

$$\Delta\sigma_f = \Delta\tau_S + \mu'\Delta\sigma_n, \qquad (1)$$

где $\Delta\sigma_f$ – приращение разрушения напряжения Кулона на неактивной разломной плоскости, обусловленное смещением по соседнему активному разлому; $\Delta\tau_s$ – приращение касательного напряжения в направлении предполагаемого скольжения τ_s=F/A; $\Delta\sigma_n$ – приращение нормального напряжения σ_n=N/F, определяемое как положительное в условиях растяжения по разлому; μ’ – коэффициент трения.

Важнейшей характеристикой при исследовании изменений напряжения Кулона является коэффициент трения μ’. В большинстве расчётов его значение принимается равным 0,4, однако в ряде случаев рассматриваются значения μ’=0 или μ’=0,8, что оказывает существенное влияние на величину вычисляемого напряжения. Из выражения (1) следует, что Кулоново напряжение представляет собой сумму вкладов касательного и нормального напряжений. При μ’=0,4 вклад нормального напряжения составляет несколько менее половины вклада касательного напряжения. С увеличением коэффициента трения возрастает вклад нормального напряжения в величину Кулонового напряжения. При нулевом значении коэффициента трения Кулоново напряжение сводится к напряжению сдвига, тогда как при значении коэффициента трения порядка 0,8 вклад нормального напряжения становится сопоставимым с вкладом напряжения сдвига. В связи с этим при достижении максимальных значений коэффициента трения ожидается наибольшее пространственное развитие зон повышенной сейсмической опасности.

На рисунке 1 показаны результаты расчётов изменений Кулонового напряжения, заимствованные из работы [5], выполненные для модели вертикального правостороннего сдвигового разлома, ориентированного параллельно активной разломной структуре (рисунок 1А). Моделирование также охватывает оптимально ориентированные разломные плоскости, рассчитанные для режима регионального одноосного сжатия при μ’=0,75 (рисунок 1В). Изменения напряжённого состояния, представленные на данном рисунке, отображены с использованием градуированной цветовой шкалы: зелёный цвет соответствует отсутствию изменений напряжений, красный – их увеличению (взбросовым перемещениям), сине-фиолетовый – уменьшению напряжений, связанному со сбросовыми перемещениями. В соответствии с выражением (1) увеличение Кулонового напряжения указывает на рост вероятности сдвига по разлому и, как следствие, на возможность инициирования нового сейсмического события в данной области. Напротив, снижение Кулонового напряжения свидетельствует о стабилизации разломной структуры и сохранении её в относительно безопасном состоянии.

Геологические разломы характеризуются различными типами кинематических смещений, которые классифицируются по относительному перемещению двух соседних точек вдоль линии разлома в процессе деформации. Следовательно, при подготовке исходных параметров для программы Coulomb 3.3 важно корректно определить кинематический тип разлома. Это обусловлено тем, что рассчитанные значения изменения напряжения Кулона напрямую зависят от механизма

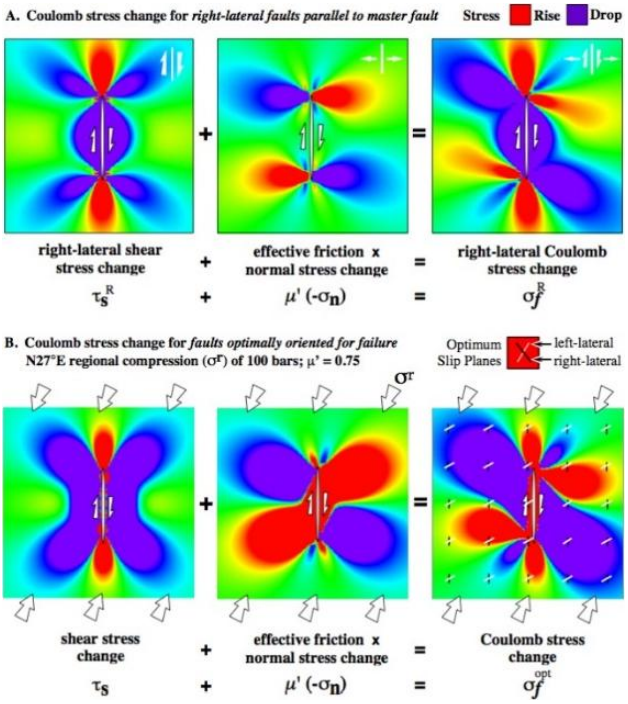


Рисунок 1 – Поле изменений Кулонового напряжения в зоне разлома [5]

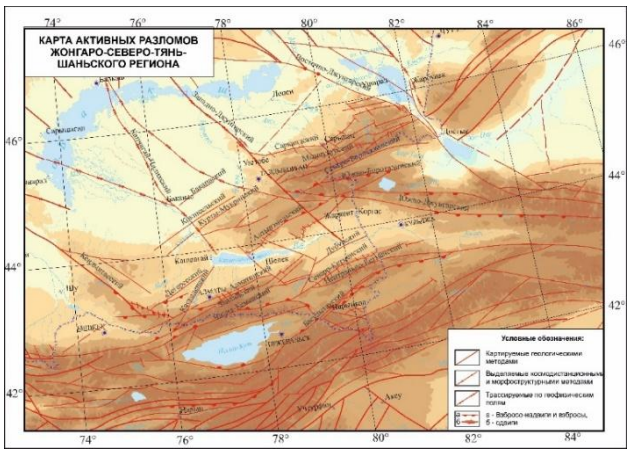


Рисунок 2 – Карта активных тектонических разломов Северо-Тянь-Шаньского региона [11]

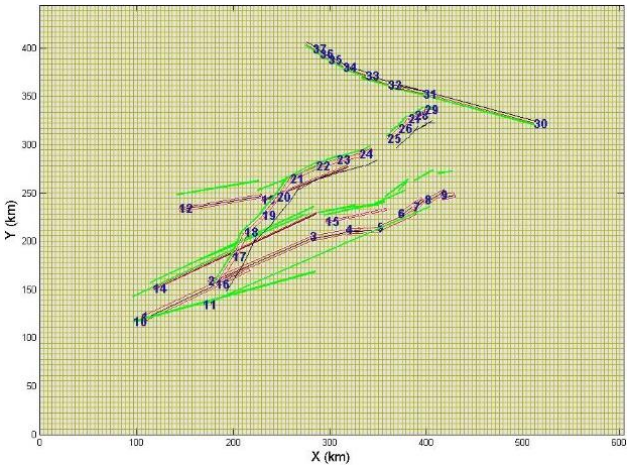


Рисунок 3 – Двумерная модель выбранных активных разломов Северного Тянь-Шаня при проведении расчётов в Coulomb 3.3

смещения по разломной плоскости, принятого в модели, и могут существенно различаться для сбросов, взбросов или сдвиговых структур.

Научные результаты. В качестве расчётов были использованы активные разломные структуры Северного Тянь-Шаня, в пределах которых в прошлом регистрировались катастрофические землетрясения мирового уровня [11]. К их числу относятся Заилийский, Чилик-Кеминский, Алтынэмельский, Алматинский, Южно-Джунгарский и Каскеленский разломы (рисунки 2, 3).

Выбранные разломные структуры характеризуются протяжённостью 300 км и более. В связи с изменчивостью параметров разломов по их простиранию (углы простирания и падения, магнитуды произошедших землетрясений, степень тектонической активности) каждый разлом был подразделён на отдельные сегменты, отличающиеся приблизительно однородными значениями указанных параметров. Во входной файл программы Coulomb 3.3. вводились параметры вышеуказанных активных разломов. Расчёты выполнены для основной глубины 20 км, на которой преимущественно сосредоточены гипоцентры сильных землетрясений Северного Тянь-Шаня; коэффициент трения принят равным μ'=0,4.

Карта сейсмической опасности Северного-Тянь-Шаня, полученная на основе результатов численного анализа перераспределения Кулонового напряжения (Coulomb 3.3), показана на рисунке 4. Результаты моделирования показывают повышенные значения Кулонового напряжения в пределах Алтынэмельского и Южно-Джунгарского разломов, а также на северо-восточном участке Каскеленского и юго-западном участке Заилийского разломов. Указанные зоны могут рассматриваться как потенциально сейсмоопасные и отразятся в дальнейшем на возможности возникновения в рассматриваемом регионе сильных землетрясений.

Разработанная в ННЦСНИ МЧС РК (Институт сейсмологии) Карта общего сейсмического районирования Северного Тянь-Шаня (MSK-64 (K), представленная на рисунке 5,

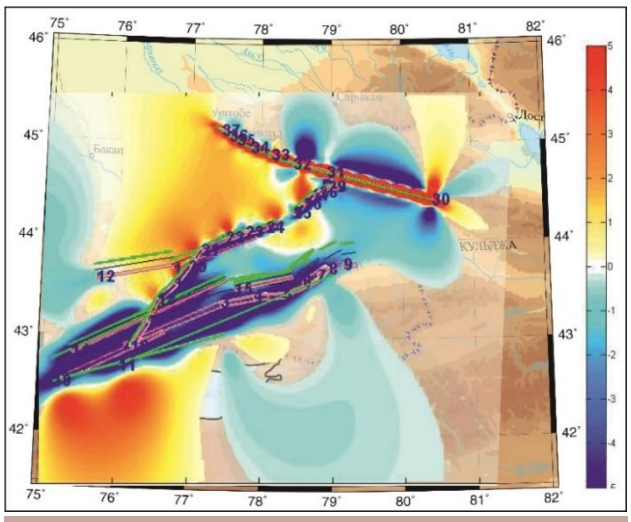


Рисунок 4 – Карта сейсмической опасности Северного Тянь-Шаня полученная с помощью Coulomb 3.3

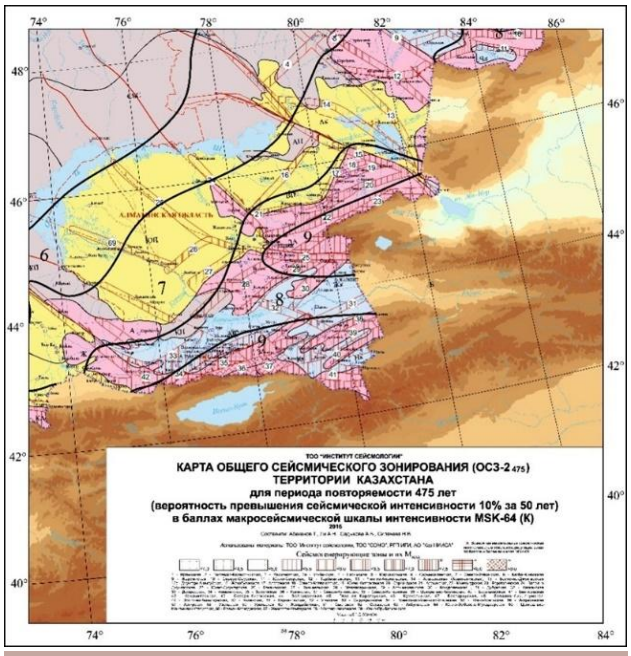


Рисунок 5 – Карта общего сейсмического районирования Северного Тянь-Шаня (MSK-64 (К), разработанная в ННЦСНИ МЧС РК (Институт сейсмологии)

в настоящее время применяется при оценке и прогнозировании сейсмической опасности региона.

Представленные на рисунках 4 и 5 карты и их сопоставление допустимы только на качественном уровне. Это обусловлено тем, что карта, приведённая на рисунке 4, построена на основе анализа одного физического фактора – переносе Кулонового напряжения, тогда как карта на рисунке 5 основана на совокупности данных геологических, гидрогеохимических, тектонических и сейсмологических исследований. Вместе с тем даже качественный анализ результатов моделирования показывает, что в северо-восточной части Каскеленского разлома, в юго-западной части Заилийского разлома, а также в пределах Южно-Джунгарского и Алтынэмельского разломов фиксируются наибольшие значения Кулонового напряжения (до 5 бар). Указанные зоны могут рассматриваться как области повышенной сейсмичности, однако эти области не представлены на карте сейсмической опасности, используемой в настоящее время (рисунок 5). Данное положение следует принимать во внимание при разработке прогностических оценок сейсмической опасности, предусматривая проведение более детального анализа сейсмологических и сопутствующих данных, характеризующих параметры земной коры на данной территории. Это позволит повысить эффективность выявления потенциально опасных участков и снизить вероятность недоучёта очагов формирующейся сейсмической активности. Практическая значимость данного исследования определяется внедрением в сейсмологическую практику Казахстана современного подхода, основанного на моделировании переноса Кулоновых напряжений на активных тектонических разломах, что расширяет возможности анализа и прогноза сейсмической опасности.

Выводы:

1) Программа Coulomb 3.3 впервые была применена для территории Казахстана для оценки изменения Кулоновых напряжений на активных тектонических разломах;

2) Выполнено моделирование переноса Кулонового напряжения на активных разломных структурах Северного Тянь-Шаня (Заилийский, Чилик-Кеминский, Алматинский, Алтынэмельский, Южно-Джунгарский, Каскеленский), в пределах которых в прошлом были локализованы эпицентры наиболее сильных землетрясений. Показано, что максимальные значения Кулонового напряжения преимущественно сосредоточены в концевых районах исследуемых разломов;

3) Карта сейсмической опасности Северного Тянь-Шаня впервые была создана на основе результатов моделирования переноса напряжения Кулона с последующим сравнительным анализом относительно карты общего сейсмического районирования территории по макросейсмической шкале MSK-64 (К). Результаты показали, что наибольшие значения Кулоновых напряжений (до 5 бар) сосредоточены на юго-западной

части разлома Заилийский, в северо-восточной части разлома Каскеленский, а также вдоль разломов Южно-Джунгарский и Алтынэмельский, что указывает на повышенную сейсмическую опасность указанных участков, не отражённую на используемой в настоящее время карте оценки сейсмической опасности.

Исследование проведено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (IRN-AP19677977).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Stein R.S. Earthquake conversations. Scientific American. Vol. 288 (1). – 2003. – Vol. 288. – Pp. 72-79.
2. Toda S., Stein R.S., Richards-Dinger K., Bozkurt S. Forecasting the evolution of seismicity in southern California: Animations built on earthquake stress transfer. Journal of Geophysical Research. – 2005. – Vol. 110. B05S16.
3. Lin J., Stein R.S. Stress triggering in thrust and subduction earthquakes, and stress interaction between the southern San Andreas and nearby thrust and strike-slip faults. Journal of Geophysical Research. – 2004. – Vol. 109. B02303.
4. Freed A.M. Earthquake triggering by static, dynamic, and postseismic stress transfer. Annual Review of Earth and Planetary Sciences. – 2005. – Vol. 33. Pp. 335-367.
5. Toda S., Stein R.S., Sevilgen V., Lin J. Coulomb 3.3 Graphic-rich deformation and stress-change software for earthquake, tectonic, and volcano research and teaching user guide. U.S. Geological Survey Open-File Report 2011-1060. – 2011. 63 p.
6. Cianetti S., Giunchi C., Cocco M. Three-dimensional finite element modeling of stress interaction: an application to Landers and Hector Mine fault systems // J. Geophys. Res. – 2005. – Vol.110. (B05S17).
7. Lorenzo-Martín F., Roth F., Wang R. Elastic and inelastic triggering of earthquakes in the North Anatolian Fault zone. – Tectonophysics. – 2006. – Vol. 424 (3-4), pp. 271-289.
8. Stein R.S, Barka A.A, Dieterich J.H. Progressive failure on the North Anatolian fault since 1939 by earthquake stress triggering // Geophys. J. Int. – 1997. – Vol. 128 (3). – Pp. 594-604.
9. Shen Z.K., Wan Y.G., Gan W.J, et al. Viscoelastic triggering among large earthquakes along the east Kunlun fault system // Chinese J. Geophys. (in Chinese). – 2003. – Vol. 46 (6). – Pp. 786-795.
10. Hao P., Fu Z.X., Tian Q.J., et al. Large aftershocks triggering by Coulomb failure stress following the 2001 Ms=8.1 great Kunlun earthquake // Acta Seismologica Sinica (in Chinese). – 2004. – Vol. 26 (1). – Pp. 30-37.
11. Wan Y.G., Shen Z.K., Zeng Y.H., et al. Evolution of cumulative Coulomb failure stress in northeastern Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau and its effect on large earthquake occurrence // Acta Seismologica Sinica (in Chinese). – 2007. – Vol. 29 (2). – Pp. 115-129.
12. Тимуш А.В. Сейсмотектоника литосферы Казахстана. – Алматы: Luxe Media Group, 2011. – 590 с.

Солтүстік Тянь-Шаньның активті жарылымдарындағы Кулондық кернеу тасымалдануын модельдеу

[1,2]**СИЫЛКАНОВА Акгенже Оришановна,** PhD, аға оқытушы, ғылыми қызметкер, a.siylkanova@satbayev.university, https://orcid.org/0000-0002-0533-470X,*
*[1]**МЫРЗАХАН Аяулым,** докторант, a.myrzakhan@satbayev.university, https://orcid.org/0009-0003-0278-9041,*
*[1]**КАЛГУЛОВА Назерке Ерланқызы,** докторант, naz.kalgulova@gmail.com, https://orcid.org/0009-0004-7467-4419,*
*[1]**БИСЕМБАЕВА Лилия Ериковна,** докторант, BESSIMBAYEVA.L@stud.satbayev.university, https://orcid.org/0000-0002-1577-6341,*

[1,2]**АБИЛАХАНОВА Анар Оразбекқызы,** *магистр, Abilakhanova.A@stud.satbayev.university, https://orcid.org/0009-0000-7286-4340,*
[1]Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан,
[2]Сейсмологиялық байқау және зерттеулер ұлттық ғылыми орталығы ҚР ТЖМ, Алматы, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Тектоникалық жарылымдардағы статикалық кернеудің өзгерулерін Кулондық кернеуді зерттеу әдісі бойынша есептеу қарастырылған. Модельдеу Coulomb 3.3 компьютерлік бағдарламасы арқылы іске асырылған. Зерттеу мақсаты – Солтүстік Тянь-Шань аймағының активті жарылымдарындағы Кулон кернеуінің мәндері жоғары болып келетін аудандарды анықтау. Әсіресе катастрофалық жерсілкіністер болып өткен аймақтарға көңіл бөлінген. Алынған нәтижелер бойынша Қазақстан территориясындағы Қаскелең жарылымының солтүстік-шығыс бөлігінде, Іле алатауы жарылымының оңтүстік-батыс бөлігінде, сонымен қатар Оңтүстік-Жоңғар және Алтынемел жарылымдарында Кулон кернеуінің (5 бар) ең жоғары мәндері бақыланатыны көрсетілген. Сол аталған аумақтар бойынша алынған деректер, болашақта күшті жерсілкіністердің пайда болу ықтималдылығының жоғары екенін көрсетеді.*

Кілт сөздер: *сейсмикалық қауіп, активті жарылымдар, Кулон кернеуі, Солтүстік Тянь-Шань, Coulomb 3.3 бағдарламасы.*

Coulomb Stress Transfer Modeling on Active Faults of the Northern Tien Shan

[1,2]***SIYLKANOVA Akgenzhe,** PhD, Senior Lecturer, Researcher, a.siylkanova@satbayev.university, https://orcid.org/0000-0002-0533-470X,*
*[1]**MYRZAKHAN Ayaulym,** Doctoral Student, a.myrzakhan@satbayev.university, https://orcid.org/0009-0003-0278-9041,*
*[1]**KALGULOVA Nazerke,** Doctoral Student, naz.kalgulova@gmail.com, https://orcid.org/0009-0004-7467-4419,*
*[1]**BESSIMBAYEVA Lilliya,** Doctoral Student, BESSIMBAYEVA.L@stud.satbayev.university, https://orcid.org/0000-0002-1577-6341,*
*[1,2]**ABILAKHANOVA Anar,** Master's Degree, Abilakhanova.A@stud.satbayev.university, https://orcid.org/0009-0000-7286-4340,*
[1]Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan,
[2]National Scientific Center for Seismological Observations and Research of the MES RK, Almaty, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *The results of calculations of static stress changes on tectonic faults using the Coulomb stress transfer method are presented. The modeling was carried out using the Coulomb 3.3. software. The aim of the study is to identify areas with elevated Coulomb stress values within the active faults of the Northern Tien Shan. Particular attention is given to regions that experienced catastrophic earthquakes in the past. The results indicate that the maximum stress values (up to 5 bar) are concentrated in the northeastern segment of the Kaskelen fault, the southwestern segment of the Zailiysky fault, as well as along the South Dzhungarian and Altynemel faults. The obtained data suggest an increased probability of strong seismic events occurring in these zones in the future.*

Keywords: *seismic hazard, active faults, Coulomb stress, Northern Tien Shan, Coulomb 3.3 software.*

REFERENCES

1. Stein R.S. Earthquake conversations. Scientific American. Vol. 288 (1). – 2003. – Vol. 288. – Pp. 72-79.
2. Toda S., Stein R.S., Richards-Dinger K., Bozkurt S. Forecasting the evolution of seismicity in southern California: Animations built on earthquake stress transfer. Journal of Geophysical Research. – 2005. – Vol. 110. B05S16.
3. Lin J., Stein R.S. Stress triggering in thrust and subduction earthquakes, and stress interaction between the southern San Andreas and nearby thrust and strike-slip faults. Journal of Geophysical Research. – 2004. – Vol. 109. B02303.
4. Freed A.M. Earthquake triggering by static, dynamic, and postseismic stress transfer. Annual Review of Earth and Planetary Sciences. – 2005. – Vol. 33. Pp. 335-367.
5. Toda S., Stein R.S., Sevilgen V., Lin J. Coulomb 3.3 Graphic-rich deformation and stress-change software for earthquake, tectonic, and volcano research and teaching user guide. U.S. Geological Survey Open-File Report 2011-1060. – 2011. 63 p.
6. Cianetti S., Giunchi C., Cocco M. Three-dimensional finite element modeling of stress interaction: an application to Landers and Hector Mine fault systems // J. Geophys. Res. – 2005. – Vol. 110. (B05S17).
7. Lorenzo-Martín F., Roth F., Wang R. Elastic and inelastic triggering of earthquakes in the North Anatolian Fault zone. – Tectonophysics. – 2006. – Vol. 424 (3-4), pp. 271-289.
8. Stein R.S, Barka A.A, Dieterich J.H. Progressive failure on the North Anatolian fault since 1939 by earthquake stress triggering // Geophys. J. Int. – 1997. – Vol. 128 (3). – Pp. 594-604.
9. Shen Z.K., Wan Y.G., Gan W.J, et al. Viscoelastic triggering among large earthquakes along the east Kunlun fault system // Chinese J. Geophys. (in Chinese). – 2003. – Vol. 46 (6). – Pp. 786-795.
10. Hao P., Fu Z.X., Tian Q.J., et al. Large aftershocks triggering by Coulomb failure stress following the 2001 Ms=8.1 great Kunlun earthquake // Acta Seismologica Sinica (in Chinese). – 2004. – Vol. 26 (1). – Pp. 30-37.
11. Wan Y.G., Shen Z.K., Zeng Y.H., et al. Evolution of cumulative Coulomb failure stress in northeastern Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau and its effect on large earthquake occurrence // Acta Seismologica Sinica (in Chinese). – 2007. – Vol. 29 (2). – Pp. 115-129.
12. Timush A.V. Sejsmotektonika litosfery Kazahstana. – Almaty: Luxe Media Group, 2011. – 590 p.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_133 UDC 331.446; 621.316

Assessment of the Hazard Occurrence Probability When Servicing Electrical Substations

[1]***AKTAYEVA Lyazat,*** *Dr. of Med. Sc., General Manager, rniiot@rniiot.kz,*
[2]****SATTAROVA Gulmira,*** *Cand. of Tech. Sc., Associate Professor (Docent), sattarovags@mail.ru,*
[2]***SPATAYEV Nurbek,*** *Cand. of Tech. Sc., Associate Professor (Docent), spatayev.nurbek@bk.ru,*
[2]***NELYUBINA Evgeniya,*** *Master's Student, zeny29.08@mail.ru,*
[3]***DEMINA Tatyana,*** *Cand. of Tech. Sc., Associate Professor, demina.tatyana@m.ursmu.ru,*
[1]Republic Research Institute for Occupational Safety and Health, Astana, Kazakhstan,
[2]Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
[3]Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia,
**corresponding author.*

Abstract. *The article considers the issues of assessing professional risks when performing work at electrical substations using mathematical models based on expert assessments. The relevance of developing new approaches to analyzing the probability of hazards in the context of increasing complexity and automation of energy systems has been substantiated. The proposed methodology includes an expert study aimed at identifying and quantifying the factors that affect the probability of hazardous situations. Based on the data obtained, multifactor models have been built to determine the specific weight of each factor and to calculate the final probability of hazard. The practical significance of the developed models lies in their applicability for a reasonable assessment of professional risks, developing preventive measures and improving labor safety. The methodology can be adapted for use in the other industries with an increased level of hazard in industrial activities. Research conducted within the framework of implementation of scientific and technical program IRN BR22182667 «Working conditions and occupational risks: classification, categories and criteria of grouping in the framework of the transition to a «green economy».*

Keywords: *probability, hazard, professional risk, electric current, electromagnetic field, expert study, consistency of expert opinions, mathematical model, consequences, risk assessment.*

Introduction

In the context of increasing complexity and automation of energy systems, ensuring personnel safety during substation maintenance is a priority task. The relevance of research and development of mathematical models for calculating the probability of hazard occurrence is caused by the need to improve the efficiency of professional risk management in the electric power industry. Traditional methods of hazard identification and risk assessment based on statistical data do not often take into account the specifics of some production processes and do not allow for full prediction of the occurrence of hazardous events. The development of more accurate tools based on mathematical modeling is important for reducing injuries and improving occupational safety in the electric power industry [1-8].

The purpose of the study is to develop mathematical models for calculating the probability of hazard occurrence while performing production processes.

Mathematical models are based on expert research data, which ensures that the practical experience of specialists directly involved in substation maintenance is taken into account. These models allow assessing the probability of various hazards that occur during work combined with the analysis of the hazard consequences, and serve as the basis for a comprehensive assessment of professional risks. The results of risk assessment can serve as the basis for developing preventive measures aimed at improving occupational safety.

Research methods

Mathematical models are developed using the results of an expert study, within the framework of which specialists with practical experience in servicing substations and knowledge of the specifics of production processes are involved.

The experts assess the degree of various production factors effect on the probability of hazard occurrence. After receiving expert assessments, the experts' opinions are coordinated, and with a high degree of coordination, multifactor models are developed. Reliability of the methodology is confirmed by the results of the expert study, which allows using it in systemic work on professional risk management.

Developing mathematical models of the hazard occurrence probability

When performing their job duties, electrical personnel face such hazards as electric shock, electric arc shock, exposure to electromagnetic fields, falls in the workplace, exposure to unfavorable microclimate parameters of the work area, exposure to physical overloads, exposure to elevated noise levels. Each of the hazards under consideration is caused by a set of factors that affect the probability of its occurrence to varying degrees. Despite the heterogeneity of these factors, their combined effect directly forms a certain level of probability of a hazardous event.

To assess the probability of a hazard, it is necessary to establish the degree of each factor effect on its occurrence. This approach allows for a more accurate prediction of possible scenarios for the development of a hazardous situation and reasonably determines certain measures to prevent it.

The probability of a hazard can be described by a multifactor model that takes into account the simultaneous impact of several variables, of the following type:

$$P = f(x_1, x_2, x_3, \ldots x_n), \quad (1)$$

where P is the hazard occurrence probability,

x_1, x_2, x_3, ... x_n are factors that affect the hazard occurrence probability.

In this model, the probability of a hazardous situation occurrence is determined by the combined effect of various factors, each of which contributes to the overall risk level. Understanding how changes in these factors affect the probability of a hazard occurrence helps to correctly assess the risk and to select ways to reduce it.

Let's consider a set of factors that contribute to the occurrence of various types of hazards when electrical personnel perform production tasks.

Based on the analysis, the following factors can affect the probability of electric shock when performing work at a substation: the state of conductor insulation, the grounding system, the characteristics of personal protective equipment, and the compliance with safety requirements when performing electrical work.

Damage or wear of the insulating layer of conductors not detected in a timely manner due to insufficient visual and instrumental control, significantly increases the risk of electric current exposure to workers both as a result of direct contact with live parts of equipment and in the event of a short circuit.

Incorrect installation or failure of grounding system elements provide hazardous conditions in which electric current is not properly discharged into the ground, increasing the likelihood of electrical injuries, especially in the event of equipment failure or short circuit to the housing.

Violation of requirements for the use of personal protective equipment, including the absence or improper use of such equipment as dielectric gloves, safety glasses or insulating stands, also significantly increases the risk of electric shock.

Failure to comply with safety standards and requirements during the repair and operation of electrical devices and equipment is also one of the key factors in the formation of professional risks in the work of electrical personnel.

An expert study was conducted to assess the degree of each factor influence on the hazard occurrence probability. As part of this study, a questionnaire was developed containing a list of factors that potentially influence the probability of a hazardous situation. Each factor in the questionnaire corresponds to an estimated value that allows for a quantitative determination of its contribution to the overall probability of hazard occurrence.

Seven specialists selected to form an expert group took part in the survey. The experts were given questionnaires in which they stated their opinions regarding the degree of each factor influence, giving the appropriate ratings.

An important aspect of the expert study is the assessment of the consistency of expert opinions. Reliability of expert assessments is determined using special methods based on the premise that a high level of consistency indicates reliability and validity of the results obtained.

To assess reliability of expert assessments, the consistency index was calculated that allowed determining the degree of agreement between the opinions of various experts. This index is determined based on the variation coefficient that serves as a measure of the variability of expert assessments relative to their average value. The variation coefficient is calculated as the ratio of the standard deviation of expert assessments to their arithmetic mean. The lower the variation coefficient, the higher the degree of agreement between the expert opinions and the higher reliability of the assessments obtained. Thus, it is determined how consistent the expert assessments are.

As a result of processing the expert opin-

ions, high consistency indices were obtained for each factor, which indicated a sufficient degree of unity of views in the expert group. This in turn allowed reasonable proceeding to the next stage of the study: determining the final assessment of each factor. Since seven experts were participating in the study, seven individual assessments were formed as a result. The final factor score was calculated as the arithmetic mean of the scores provided by all the experts.

Next, based on the final assessments, the specific weight of each factor is calculated. The specific weight reflects the share of the corresponding factor contribution to the overall probability of the hazard, while the sum of the specific weights of all the factors is equal to one. The values of specific weights allow taking into account the varying degrees of influence of factors: some of them have a more significant impact, others are less pronounced. Determining specific weights is a necessary step in constructing a mathematical model capable of providing a quantitative calculation of the hazardous event probability.

Table 1 presents the results of an expert study of the factor influence on the probability of electric shock to personnel.

Based on the data obtained, a model was defined for assessing the probability of the hazard occurrence, including the dependence of the following parameters:

$$P_j(x_n) = \sum_{i=1}^{n} w_i \cdot x_i, \qquad (2)$$

where P_j is the j-th hazard occurrence probability,
n is the number of factors that affect the hazard occurrence probability,
w_i is the i-th factor specific weight,
x_i is the i-th factor value that reflects its influence on the hazard occurrence probability within the range from 0 to 100%.

Based on dependence (2), the assessment of the hazard occurrence probability of electric shock to workers has the following form:

$$P_1 = 0,19x_{1.1} + 3,32x_{1.2} + 0,2x_{1.3} + 0,28x_{1.4}, \qquad (3)$$

where P_1 is the probability of electric shock,
$x_{1.1}$ is the value of the "Conductor insulation condition" factor,
$x_{1.2}$ is the value of the "Grounding system" factor,
$x_{1.3}$ is the value of the "PPE characteristics" factor,
$x_{1.4}$ is the value of the "Safety requirements compliance" factor.

The resulting model allows calculating the probability of electrical personnel being struck by electric current when performing various types of work. This in turn provides a more reliable assessment of the hazard occurrence probability and will contribute to the development of the most effective measures to improve occupational safety in the workplace.

In a similar way, dependences were established for the other factors that affect the hazard occurrence probability, such as electric arc shock, exposure to an electromagnetic field, falling in the workplace, exposure to high noise levels, and exposure to physical overload.

Thus, the mathematical model for calculating the probability of the hazard of electric arc shock is described by the equation:

$$P_2 = 0,24x_{2.1} + 0,17x_{2.2} + 0,21x_{2.3} + \\ + 0,2x_{2.4} + 0,18x_{2.5}, \qquad (4)$$

where P_2 is the electric arc shock probability,
$x_{2.1}$ is the value of the "Electrical equipment condition" factor,
$x_{2.2}$ is the value of the "Availability of arc protection equipment" factor,
$x_{2.3}$ is the value of the "Current force" factor,
$x_{2.4}$ is the value of the "Work near live parts" factor,
$x_{2.6}$ is the value of the "PPE characteristics" factor.

The mathematical model for calculating the hazard occurrence probability of exposure to an electromagnetic field can be described by an equation of the following type:

Table 1 – Results of an expert study of the factor influence on the probability of electric shock

Factor	Scores on the scale							Consistency index	Final assessment of the factor d significance	Specific weight
	E*1	E2	E3	E4	E5	E6	E7			
Conductor insulation condition	2	2	3	3	3	2	3	0.81	2.6	0.19
Grounding system	4	4	4	5	4	5	4	0.9	4.3	0.32
PPE characteristics	2	2	3	3	3	3	3	0.92	2.7	0.20
Safety requirements compliance	3	3	4	4	4	4	4	0.91	3.7	0.28

Note: E* is an expert

$$P_3 = 0,21x_{3.1} + 0,37x_{3.2} + 0,42x_{3.3}, \quad (5)$$

where P_3 is the exposure to an electromagnetic field probability,
$x_{3.1}$ is the value of the "EMF intensity" factor,
$x_{3.2}$ is the value of the EMF exposure time" factor»,
$x_{3.3}$ is the valre of the "PPE use" factor.

The mathematical model for calculating the fall hazard occurrence probability in the workplace includes the following parameters:

$$P_4 = 0,21x_{4.1} + 0,25x_{4.2} + 0,22x_{4.3} + 0,31x_{4.4}, \quad (6)$$

where P_4 is the fall hazard ng the workplace probability,
$x_{4.1}$ is the value of the "Work zone condition when moving" factor,
$x_{4.2}$ is the value of the "Availability of obstacles on the way" factor,
$x_{4.3}$ is the value of the "Lighting" factor,
$x_{4.4}$ is the value of the "Height" factor.

The mathematical model for calculating the probability of the occurrence of the danger of exposure to elevated noise levels can be described as:

$$P_5 = 0,3x_{5.1} + 0,37x_{5.2} + 0,33x_{5.3}, \quad (7)$$

where P_5 is the increase noise level probability,
$x_{5.1}$ is the value of the "Noise level" factor,
$x_{5.2}$ is the value of the "Time of noise action on a worker" factor,
$x_{5.3}$ is the value of the "PPE characteristics" factor.

The mathematical model for calculating the hazard occurrence probability of exposure to physical overloads corresponds to the equation:

$$P_6 = 0,39x_{6.1} + 0,4x_{6.2} + 0,21x_{6.3}, \quad (8)$$

where P_6 is the physical overloads exposure probability,
$x_{6.1}$ is the value of the "Frequency of heavy lifting" factor,
$x_{6.2}$ is the value of the "Working position" factor,
$x_{6.3}$ is the value of the "Supporting equipment" factor.

The calculated values of the hazard occurrence probability obtained using models (3-8) are assessed according to the scale presented in Table 2.

As a result of the study, mathematical models were developed to assess the probability of hazard occurrence during the work of electrical personnel, which allows for the most accurate and reasonable consideration of risks during while performing various technological processes.

For a full assessment of professional risk, in addition to analyzing the probability of hazard occurrence, it is also necessary to assess the consequences of the hazard occurrence. Assessing these consequences allows for the potential damage and losses associated with injuries and accidents at work. To implement this aspect, a scale for assessing the consequences is being developed, which will help classify various levels of impact on the life and health of workers.

It is assumed that the consequences of the hazard occurrence in the workplace for electrical personnel can be divided into five levels. Each level represents certain types of injuries and diseases that can occur as a result of exposure to various hazards. Depending on the severity of the consequences, appropriate measures are taken to provide medical care, to restore working capacity and to prevent accidents.

To assess reliably the consequences, it is recommended to take into account such factors as the severity of injuries, the duration of disability, the need for medical care and further rehabilitation. The severity of the consequences should be determined taking into account what hazardous factor was involved and what consequences it resulted in.

It is assumed that the consequences of the hazard occurrence can be divided into such levels as minimal, moderate, essential, significant and catastrophic ones.

Practical significance

The developed mathematical models for calculating the probability of hazard occurrence are of great practical importance in the process

Table 2 – Scale of calculated values of the hazard occurrence probability

Estimated value of the hazard occurrence probability, P_i	Description of the hazard occurrence probability
0-10%	Improbable
11-50%	Little probable
51-70%	Uncharacteristic but possible
71-90%	Probable
91-100%	Expected

of assessing the professional risks of workers while servicing substations. These models can be used by managers and specialists of production units, as well as by occupational health and safety specialists to conduct a reasonable and high-quality analysis of professional risks, which will facilitate the development and implementation of necessary and sufficient preventive measures and to improve the level of occupational safety in the workplace.

The methodology of constructing models is based on the expert study reflecting the real experience and professional knowledge of specialists directly involved in the operation of energy facilities. This guarantees high practical significance and reliability of the results obtained. In addition, this approach is universal and can be adapted to assess professional risks in the other industries where the labor activity of workers is also associated with exposure to hazardous factors.

Conclusion

As a result of the studies carried out, mathematical models were developed for calculating the probability of hazards when servicing substations based on expert assessments. This approach allows for more objective identification of hazards and assessment of risks arising in the course of professional activity, which is especially important in the conditions of performing high-risk and technically complex work by personnel of electrical substations.

The developed models are highly reliable, since they are based on expert research data that takes into account the practical experience of specialists and the actual conditions of work. Combining the calculated probability of hazard occurrence with an assessment of the severity of possible consequences allows for a comprehensive assessment of the level of professional risk. This in turn provides the basis for making informed and most effective management decisions in the field of occupational and industrial safety aimed at improving the safety of workers.

REFERENCES

1. Order of the Minister of Labor and Social Protection of the Population of the Republic of Kazakhstan dated September 11, 2020 No. 363 "On approval of the Rules for managing professional risks". URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2000021197
2. Fainburg G.Z. (2022). The Fine-Kinney method and development of riskometry for assessing professional risk. Occupational Safety and Health. No. 4. Pp. 9-20. URL: https://biota.ru/publishing/magazine/g.-z.-fajnburg-metod-fajna-kinni-i-razvitie-riskometrii-oczenki-professionalnogo-riska-(№4,2022).html
3. Yelin AM, Shumilin VK. (2021). Assessment of hazards and professional risks. Energy safety and energy saving. No. 2. Pp. 5-11. URL: https://endf.ru/wp-content/uploads/2021/04/yelin.pdf
4. Bakiko EV, Tsorina OA, Serdyuk VS, Fomin AI, Dobrenko AM (2021). Mathematical modeling of professional risk taking into account the influence of the human factor. Scientific and technical journal (Bulletin). 2021. No. 3. Pp. 29-38. URL:https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskoe-modelirovanie-professionalnogo-riska-s-uchetom-vliyaniya-chelovecheskogo-faktora/viewer
5. Shirvanov, R. B. (2022). Analysis of existing approaches to assessing hazards and professional risks of workers at industrial enterprises of the Republic of Kazakhstan. Safety of man-made and natural systems. No. 2. Pp. 14-23. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-suschestvuyuschih-podhodov-k-otsenke-opasnostey-i-professionalnyh-riskov-rabotnikov-promyshlennyh-predpriyatiy-respubliki
6. L.M. Shayakhmetova, A.M. Kurmanov, Sh.T. Aitimova (2024). Improving occupational safety in the Republic of Kazakhstan: assessment of professional risks and strategies for insurance against industrial accidents. Bulletin of the ROO "NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN". No. 5 (411). Pp. 404-418. URL: https://journals.nauka-nanrk.kz/bulletin-science/article/view/6898/4713
7. Matusevich V. M. (2021). Analysis of industrial injuries at energy enterprises and ways to reduce them. Collection of scientific papers of the Angarsk State Technical University. V. 2. No. 1. Pp. 193-201. URL: ttps://angtu.editorum.ru/ru/nauka/article/44795/view
8. Sarsenbekova M. (2019). Analysis of industrial injuries in the energy sector. Proceedings of the International Scientific and Theoretical Conference “Seifullin Readings – 15: Youth, Science, Technology – New Ideas and Prospects”, dedicated to the 12th anniversary of S. Seifullin. V. II, Part 1. Pp. 240-243. URL: https://kazatu.edu.kz/assets/i/science/sf15-energo-126.pdf

Электр желілерін қызмет көрсету кезінде қауіптердің іске асу ықтималдығын бағалау

*[1]**АКТАЕВА Лязат Мейрашевна,** м.ғ.д., бас директор, rniiot@rniiot.kz,*
*[2]***САТТАРОВА Гульмира Сапаровна,** т.ғ.к., қауымдастырылған профессор (доцент), sattarovags@mail.ru,*
*[2]**СПАТАЕВ Нурбек Даирбекович,** т.ғ.к., қауымдастырылған профессор (доцент), spatayev.nurbek@bk.ru,*
*[2]**НЕЛЮБИНА Евгения Викторовна,** магистрант, zeny29.08@mail.ru,*
*[3]**ДЕМИНА Татьяна Владимировна,** т.ғ.к., доцент, demina.tatyana@m.ursmu.ru,*
[1]Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты, Астана, Қазақстан,
[2]Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
[3]Орал мемлекеттік тау-кен университеті, Екатеринбург, Ресей,
**автор-корреспондент.*

***Аңдатпа.** Электр қосалқы станцияларында жұмыс жүргізу кезінде кәсіби тәуекелдерді бағалау мәселелері қарастырылады. Бағалау сараптамалық бағалауларға негізделген математикалық модельдерді қолдану арқылы жүзеге асырылады. Энергетикалық жүйелердің күрделілігі мен автоматтандырылу деңгейінің артуына байланысты қауіптердің жүзеге асу ықтималдығын талдау бойынша жаңа тәсілдерді әзірлеудің өзектілігі негізделген. Ұсынылған әдістеме ықтимал қауіпті жағдайлардың пайда болу ықтималдығына әсер ететін факторларды анықтау және сандық бағалау мақсатында сараптамалық зерттеу жүргізуді қамтиды. Алынған деректер негізінде әрбір фактордың салмақтық үлесін анықтауға және қауіптің жүзеге асу жалпы ықтималдығын есептеуге мүмкіндік беретін көп факторлы модельдер құрылды. Дайындалған модельдердің практикалық маңыздылығы – оларды кәсіби тәуекелдерді негізді бағалау, алдын алу шараларын әзірлеу және еңбек қауіпсіздігін арттыру үшін қолдануға болатынында. Бұл әдістемені өндірістік қызметтің қауіптілігі жоғары басқа салаларда да бейімдеп қолдануға болады. Зерттеулер BR22182667 «Еңбек жағдайлары және кәсіптік тәуекелдер: «жасыл экономикаға» көшу шеңберінде топтастырудың жіктелуі, санаттары мен критерийлері» ЖРН ғылыми-техникалық бағдарламасын іске асыру шеңберінде жүргізілді.*

***Кілт сөздер:** ықтималдық, қауіп, кәсіби тәуекел, электр тогы, электр доғасы, электромагниттік өріс, сараптамалық зерттеу, сарапшылар пікірінің келісімділігі, математикалық модельдер, салдарлар, тәуекелді бағалау.*

Оценка вероятности реализации опасностей при обслуживании электрических подстанций

*[1]**АКТАЕВА Лязат Мейрашевна,** д.м.н., генеральный директор, rniiot@rniiot.kz,*
*[2]***САТТАРОВА Гульмира Сапаровна,** к.т.н., ассоциированный профессор (доцент), sattarovags@mail.ru,*
*[2]**СПАТАЕВ Нурбек Даирбекович,** к.т.н., ассоциированный профессор (доцент), spatayev.nurbek@bk.ru,*
*[2]**НЕЛЮБИНА Евгения Викторовна,** магистрант, zeny29.08@mail.ru,*
*[3]**ДЕМИНА Татьяна Владимировна,** к.т.н., доцент, demina.tatyana@m.ursmu.ru,*
[1]Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда, Астана, Казахстан,
[2]Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
[3]Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия,
**автор-корреспондент.*

***Аннотация.** Рассматриваются вопросы оценки профессиональных рисков при выполнении работ на электрических подстанциях с использованием математических моделей, основанных на экспертных оценках. Обоснована актуальность разработки новых подходов к анализу вероятности реализации опасностей в условиях возрастающей сложности и автоматизации энергетических систем. Предложенная методика включает проведение экспертного исследования, направленного на выявление и количественную оценку факторов, влияющих на вероятность возникновения опасных ситуаций. На основе полученных данных построены многофакторные модели, позволяющие определить удельный вес*

каждого фактора и рассчитать итоговую вероятность реализации опасности. Практическая значимость разработанных моделей заключается в их применимости для обоснованной оценки профессиональных рисков, разработки профилактических мероприятий и повышения уровня безопасности труда. Методика может быть адаптирована для использования в других отраслях с повышенным уровнем опасности производственной деятельности. Исследования проводились в рамках реализации научно-технической программы ИРН BR22182667 «Условия труда и профессиональные риски: классификация, категории и критерии группировки в рамках перехода к «зеленой экономике».

Ключевые слова: *вероятность, опасность, профессиональный риск, электрический ток, электрическая дуга, электромагнитное поле, экспертное исследование, согласованность мнений экспертов, математические модели, последствия, оценка риска.*

REFERENCES

1. Order of the Minister of Labor and Social Protection of the Population of the Republic of Kazakhstan dated September 11, 2020 No. 363 "On approval of the Rules for managing professional risks". URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2000021197
2. Fainburg G.Z. (2022). The Fine-Kinney method and development of riskometry for assessing professional risk. Occupational Safety and Health. No. 4. Pp. 9-20. URL: https://biota.ru/publishing/magazine/g.-z.-fajnburg-metod-fajna-kinni-i-razvitie-riskometrii-oczenki-professionalnogo-riska-(№4,2022).html
3. Yelin AM, Shumilin VK. (2021). Assessment of hazards and professional risks. Energy safety and energy saving. No. 2. Pp. 5-11. URL: https://endf.ru/wp-content/uploads/2021/04/yelin.pdf
4. Bakiko EV, Tsorina OA, Serdyuk VS, Fomin AI, Dobrenko AM (2021). Mathematical modeling of professional risk taking into account the influence of the human factor. Scientific and technical journal (Bulletin). 2021. No. 3. Pp. 29-38. URL:https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskoe-modelirovanie-professionalnogo-riska-s-uchetom-vliyaniya-chelovecheskogo-faktora/viewer
5. Shirvanov, R. B. (2022). Analysis of existing approaches to assessing hazards and professional risks of workers at industrial enterprises of the Republic of Kazakhstan. Safety of man-made and natural systems. No. 2. Pp. 14-23. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-suschestvuyuschih-podhodov-k-otsenke-opasnostey-i-professionalnyh-riskov-rabotnikov-promyshlennyh-predpriyatiy-respubliki
6. L.M. Shayakhmetova, A.M. Kurmanov, Sh.T. Aitimova (2024). Improving occupational safety in the Republic of Kazakhstan: assessment of professional risks and strategies for insurance against industrial accidents. Bulletin of the ROO "NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN". No. 5 (411). Pp. 404-418. URL: https://journals.nauka-nanrk.kz/bulletin-science/article/view/6898/4713
7. Matusevich V. M. (2021). Analysis of industrial injuries at energy enterprises and ways to reduce them. Collection of scientific papers of the Angarsk State Technical University. V. 2. No. 1. Pp. 193-201. URL: ttps://angtu.editorum.ru/ru/nauka/article/44795/view
8. Sarsenbekova M. (2019). Analysis of industrial injuries in the energy sector. Proceedings of the International Scientific and Theoretical Conference “Seifullin Readings – 15: Youth, Science, Technology – New Ideas and Prospects”, dedicated to the 12th anniversary of S. Seifullin. V. II, Part 1. Pp. 240-243. URL: https://kazatu.edu.kz/assets/i/science/sf15-energo-126.pdf

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_140 UDC 504.5:349.6(4+7/8)(574)

Institutional Solutions for Air Quality Control in Europe and North America: Lessons for Kazakhstan

[1]**BAIGAZINOV Zhanat,** *PhD, Associate Professor, zh.baigazinov@gmail.com,*
[2]***MAMYRBEKOV Arafat,** *Cand. of Hist. Sc., Associate Professor, arafat.mamyrbekov@ucalgary.ca,*
[3]**ZHUMADILOV Kassym,** *PhD, Professor, zhumadilovk@gmail.com,*
[1]**MUHAMEDIYAROV Nurlan,** *Doctoral Student, nurlan.eventumlab@gmail.com,*
[1]Park of Nuclear Technologies, Kurchatov, Kazakhstan,
[2]University of Calgary, Calgary, Canada,
[3]L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *This article aims to support recommendations for modernizing Kazakhstan's air quality management system by comparing the institutional frameworks of the EU, UK, Canada, and the USA. It uses interdisciplinary methods, including analysis of legal frameworks, monitoring systems, and tools like cap-and-trade. The study finds that European approaches, such as clean air zones and BAT standards, enhance transparency and reduce mortality, while North American models foster coordination and innovation. In contrast, Kazakhstan lags in setting effective standards, monitoring emissions, and involving the public in environmental efforts. Although Kazakhstan's AQM system is based on the 2021 Environmental Code and Kazhydromet data, it faces challenges in coverage and coordination. Recommendations include stricter standards, digital monitoring, low-emission zones in industrial cities, and economic incentives to support modernization and reduce pollution.*

Keywords: *air quality, atmospheric pollution, institutional policy, BAT, $PM_{2.5}$.*

Introduction

Clean air is the foundation of population well-being and the sustainable development of any country, including Kazakhstan, where atmospheric quality directly influences citizens' health, economic stability, and ecological balance. According to the World Health Organization (WHO), air pollution is one of the leading causes of premature mortality worldwide, and Kazakhstan faces this challenge, particularly in industrial centers such as Almaty, Ust-Kamenogorsk, Pavlodar, and Temirtau, where emissions of $PM_{2.5}$, SO_2, and NO_2 from industry and transport pose serious risks [1, 9, 11]. Despite national efforts under the Environmental Code and the Kazhydromet network, air quality management remains hindered by limited monitoring coverage and weak coordination. International experience, especially the institutional approaches of Europe and North America, provides effective solutions. This article examines European standards, including local initiatives in Great Britain, and North American mechanisms, such as Canada's federal cooperation and the United States' market instruments, to identify measures that could strengthen Kazakhstan's environmental policy and support a sustainable future.

Materials and research methods

This analytical review develops recommendations for improving Kazakhstan's Air Quality Management (AQM) system using comparative and interdisciplinary methods. The study draws on academic research, legal documents, and statistical data. National materials include the Environmental Code, ministerial regulations, and Kazhydromet monitoring data, which reveal high $PM_{2.5}$ levels, heavy-metal contamination, and economic losses linked to limited monitoring and coordination. For international comparison, the review analyzes Europe's AirQUIS and Ultra Low Emission Zones (ULEZ) systems, Canada's Air Quality Management System (AQMS), and the U.S. Clean Air Act with its market-based mechanisms. Comparing multilevel (EU), federal (Canada), and vertical (USA) governance models helps identify key regulatory cycles – standard-setting,

monitoring, implementation, and feedback – applicable for strengthening Kazakhstan's institutional capacity.

Results and discussion

Kazakhstan faces a severe environmental challenge – air pollution that threatens public health, ecosystems, and long-term economic stability. The country remains among the most polluted in Central Asia, with emissions from industrial enterprises, coal-fired power plants, transport, and household sources contributing to high concentrations of major pollutants such as fine particulate matter ($PM_{2.5}$ and PM_{10}), sulfur dioxide (SO_2), nitrogen dioxide (NO_2), carbon monoxide (CO), ammonia (NH_3), and volatile organic compounds (VOCs) [1, 5, 11]. In major urban and industrial centers – Almaty, Ust-Kamenogorsk, Pavlodar, Temirtau, and Karaganda – pollutant levels frequently exceed international standards [6, 9]. WHO recommends maintaining annual $PM_{2.5}$ concentrations below 5 μg/m³ and daily averages below 15 μg/m³; however, in Kazakhstan, annual levels reach 20-40 μg/m³, while winter peaks rise to 150-400 μg/m³, exceeding annual norms by 3-8 times and daily limits by up to 26 times [6]. These concentrations result in substantial health and economic losses: air pollution causes an estimated 8,000-10,000 premature deaths annually, mainly from cardiovascular and respiratory diseases, and leads to healthcare and productivity losses of about 10-12 billion USD, or roughly 6% of Kazakhstan's GDP [5, 8].

Geographic and climatic conditions further aggravate the situation. In Almaty, the surrounding mountains restrict air circulation, lowering the planetary boundary layer height (PBLH) to 300-400 m in winter and causing $PM_{2.5}$ accumulation up to 80-100 μg/m³; during summer, when the PBLH rises to 1,500-2,000 m, concentrations drop to 10-15 μg/m³ [12]. In Ust-Kamenogorsk and Temirtau, SO_2 and NO_2 emissions from metallurgical plants and coal-fired power stations regularly exceed safety limits during the heating season [1]. According to the World Bank (2022), outdated coal-fired infrastructure and household stoves exacerbate persistent winter smog due to weak atmospheric circulation [7].

Air pollution in Kazakhstan originates from several major sources. The energy sector and household heating, particularly coal combustion at thermal power plants and in domestic stoves, remain the main drivers of $PM_{2.5}$ emissions, especially in winter in Almaty and Astana. The transport sector, represented by outdated diesel buses and trucks lacking modern filtration systems, makes a substantial contribution to NO_2, PM, and VOC emissions, aggravating smog in large cities [6]. Industrial enterprises, particularly metallurgical and energy complexes in Ust-Kamenogorsk, Pavlodar, and Temirtau, create zones of chronic contamination, including the accumulation of heavy metals such as lead, zinc, and cadmium in soils and the atmosphere [11]. Agricultural activities, including fertilizer use and livestock farming, also contribute to ammonia emissions, which facilitate the formation of secondary $PM_{2.5}$ particles when combined with sulfur and nitrogen oxides.

The negative impact of pollution on public health is well documented. $PM_{2.5}$ is responsible for about 8,134 premature deaths annually, contributing to cardiovascular diseases, strokes, and chronic respiratory illnesses [5]. In Ust-Kamenogorsk, biomonitoring revealed elevated concentrations of heavy metals in residents' blood, directly linked to industrial activity [9].

Kazakhstan's air quality monitoring system requires substantial improvement. The Kazhydromet network provides data for major cities, but coverage is still incomplete, with data completeness often below 90%, particularly in rural and industrial regions [7]. Numerical modeling based on transport equations and photochemical reactions partly offsets the lack of data, yet shortcomings in emission inventories and the complexity of chemical processes limit forecast accuracy [11]. For instance, modeling in Almaty and Pavlodar demonstrates strong convergence with automatic station data, reaching a functional of 10^{-9} in 30-35 iterations, which confirms the potential of such methods if input data are improved [11].

Compared with Europe and North America, Kazakhstan faces a substantial gap in air quality standards: in Canada, with a population of about 40 million, air pollution causes roughly 14,600 premature deaths each year – mainly from $PM_{2.5}$, according to Canadian health authorities – while in Kazakhstan, with fewer than 20 million people, this figure reaches 8,000-10,000 [5]. The average Air Quality Index in Kazakhstan is far higher than in countries with advanced environmental standards, such as Sweden or Canada. In Northern Europe, for example in Sweden, annual average $PM_{2.5}$ levels are 5-7 μg/m³, whereas in Kazakhstani cities winter values reach 50-70 μg/m³ [5]. Economic analysis indicates that aligning with European directives or the American Clean Air Act could reduce mortality by 70% and save 2-3 billion USD by 2050 [8]. The European experience, including Britain's ULEZ, and North America's cap-and-trade system in the USA, demonstrates that rigorous standards, advanced technologies, and active public engagement – as emphasized by U.S. environmental authorities – can significantly

improve air quality.

Air pollution in Kazakhstan stems from intensive industry, coal dependence, outdated transport, limited monitoring, and low public awareness. To tackle these issues, the country is developing an AQM system to reduce pollution, protect health, and meet climate goals. Based on the 2021 Environmental Code, which includes the National Plan for Air Quality Improvement until 2028 and Paris Agreement commitments, it provides a comprehensive framework for emissions control and environmental protection. Air quality monitoring is a key component of this system. The national Kazhydromet network covers around 70 cities, with over 170 monitoring points: 127 automatic stations operating continuously and 43 manual stations conducting sampling three to four times per day, supplemented by mobile laboratories. The system monitors major pollutants – $PM_{2.5}$, PM_{10}, SO_2, NO_x, O_3, CO, toxic substances (H_2S, NH_3, HF, HCl), volatile organic compounds (including benzene), priority organic pollutants (formaldehyde, benzo[a] pyrene), and heavy metals. Data are published in real time on the kazhydromet.kz platform using the API5 index and a four-level pollution classification, ensuring public access to environmental information.

AQM in Kazakhstan operates through both centralized and decentralized mechanisms. The Ministry of Ecology and Natural Resources sets standards, enforces the Environmental Code and National Plan, and oversees Integrated Environmental Permits (IEPs) through the Committee for Environmental Regulation. It also develops BAT reference documents and defines environmental requirements for industry. The Ministry of Energy promotes cleaner fuels and energy efficiency, supporting modernization through subsidies. Local akimats adapt national policies to regional conditions and implement air quality plans. International partners, including the World Bank and IIASA, provide technical expertise – such as emission modeling with GAINS – and financial support. Together, these institutions create a full management cycle of standard-setting, monitoring, implementation, evaluation, and policy adjustment, ensuring a systematic approach to air pollution control.

The AQM system covers key economic sectors. In industry, IEPs and BAT standards reduce emissions from major sources. In transport, Euro-4/5 standards and fleet renewal programs replace outdated diesel vehicles. In the residential sector, subsidies support a shift from coal to gas and energy-efficient heating. These measures are complemented by economic tools such as pollution charges and emissions trading, similar to the U.S. cap-and-trade system.

Despite these efforts, the institutional system faces several limitations. Monitoring coverage remains inadequate, particularly for $PM_{2.5}$ and SO_2, where data completeness fails to meet EU standards (below 90%) [3]. Data heterogeneity and gaps comprehensive accurate assessment, especially in industrial and rural regions. In major cities such as Ust-Kamenogorsk, acute health risks from $PM_{2.5}$, NO_x, and SO_2 are recorded, while chronic exposure to heavy metals is considered "extremely high" in Ust-Kamenogorsk, Almaty, and other cities. Key sources – metallurgical enterprises, NO_2 emissions from transport, and coal heating – still dominate, intensifying winter smog and associated health risks. Limited coordination between central authorities, akimats, and international partners, along with insufficient resources for BAT implementation and renewable energy transition, slows progress.

Since the early 2000s, Europe has developed a comprehensive air quality management system with unified standards for $PM_{2.5}$, NO_2, and SO_2 concentrations, requiring industries to implement BAT, as outlined in the Directives of the European Parliament and the Council of the EU. The BAT principle mandates the adoption of technically feasible and economically justified measures to reduce emissions, even if they are not yet widely applied in industry. To support implementation, the European Commission issues BAT Reference Documents (BREFs) for example, those on waste gas management in the chemical sector – which provide guidance on emission limits and abatement technologies for industries such as chemicals and energy production. These measures ensure uniform environmental standards and encourage innovation in environmentally friendly technologies.

A central element of the European system is the integrated AirQUIS platform, developed by the Norwegian Institute for Air Research (NILU) and implemented in several EU countries [10]. AirQUIS combines monitoring, databases, atmospheric modeling, and visualization, creating a closed cycle of air quality management – from data collection to forecasting and decision-making. This infrastructure has strengthened coordination between EU member states and improved the transparency of environmental policy. Data in near real time are made available to citizens, the media, and the scientific community, increasing trust and public engagement [2]. Complementing this are Continuous Emission Monitoring Systems, whose results are integrated into the digital platforms of the European Commission and national agencies such as the European Environment Agency. This multi-level approach

enabled Europe to reduce air pollution-related mortality by 42% in recent decades, although premature deaths from $PM_{2.5}$ and NO_2 remain a serious issue [4].

Great Britain, building on European directives, has developed local approaches that emphasize municipal-level management. The Clean Air Strategy 2019 introduced comprehensive measures addressing transport, agriculture, and the household sector. In agriculture, precision fertilizer technologies, improved manure storage, and a ban on burning crop residues have reduced ammonia emissions and the secondary formation of $PM_{2.5}$. In the household sector, the use of coal and raw wood has been restricted, while "ecodesign" standards for stoves and fireplaces have cut fine particulate emissions in residential areas. The national monitoring network, with more than 270 stations (around 170 operating in near real time), ensures hourly updated data accessible through an online platform. The Clean Air Strategy promotes "citizen science" initiatives, encouraging residents, schools, and communities to employ sensors for air quality monitoring, enhancing official data and expanding observation coverage. Another important measure has been the creation of ULEZ in London and Clean Air Zones in cities such as Birmingham and Leeds. These zones restrict entry of high-emission vehicles and impose fees for non-compliance, resulting in almost a 50% reduction in NO_2 concentrations and a one-third reduction in $PM_{2.5}$ in London within several years.

The combination of strict national standards and local initiatives, supported by transparent monitoring and public participation, makes the European experience – including Great Britain's approaches – a valuable reference for Kazakhstan. Unlike the EU directives and systems such as AirQUIS or ULEZ, Kazakhstan's institutional framework, based on the Environmental Code and the Kazhydromet network, still struggles with limited monitoring coverage and coordination. Adopting transparent digital platforms, low-emission zones, and citizen engagement could strengthen control over industrial, transport, and household pollution sources, contributing to sustainable development.

Canada's federal-provincial AQMS, guided by the Canadian Ambient Air Quality Standards, establishes mandatory air quality benchmarks across all provinces while allowing flexibility for regional adaptation, as outlined by environmental authorities. Target indicators for $PM_{2.5}$, ozone, and other pollutants are uniform nationwide; however, strategies to achieve them differ. In industrial regions, the emphasis is on reducing emissions from enterprises and transport, while in western provinces the priority is managing wildfire impacts and transboundary pollution. In force majeure situations, such as smoke from large fires, exceedances are classified as "exceptional events". These do not entail sanctions but are considered in the design of future measures. The federal Ministry of Environment and Climate Change Canada (ECCC) provide scientific support and coordination: it manages the national monitoring network (NAPS), develops atmospheric models, and prepares recommendations for CAAQS. Through the Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME), it coordinates the actions of provinces and territories. Thanks to multi-level cooperation, $PM_{2.5}$ concentrations remain at 7-10 $\mu g/m^3$, ensuring resilience to economic fluctuations. Unlike the British model, which emphasizes local initiatives, the Canadian system is built on coherence: the federal government sets national standards, provinces develop plans to achieve them, and municipalities implement local measures. This balance allows for regional specificity within a unified national framework.

The United States relies on one of the strictest institutional frameworks – the Clean Air Act (CAA), enforced by the Environmental Protection Agency (EPA). Its core instrument is the National Ambient Air Quality Standards (NAAQS), which are binding for all states and revised every five years based on the latest scientific evidence on health and environmental impacts. Enforcement is ensured through State Implementation Plans (SIPs), designed by state authorities, combined with accountability measures: regions failing to comply are designated as "nonattainment areas" and must introduce corrective actions under EPA supervision. A strong feature of the American model is its integration of centralized regulation with innovative market-based tools. The Acid Rain Program, launched in the 1990s, created the world's first large-scale SO_2 emission trading system (cap-and-trade). It set a national cap and distributed tradable allowances. Under the U.S. Environmental Protection Agency's State Implementation Plans, companies that exceed emission limits purchase allowances from those adopting cleaner technologies, promoting innovation and reducing overall costs. By 2020, this approach had reduced SO_2 emissions by 95% and NO_x emissions by 89% compared to 1990 levels. Transparency is supported by the Air Quality Index (AQI), published via the AirNow platform, which informs the public of health risks based on pollutant levels. Unlike the Canadian model, grounded in consensus, the U.S. The system is characterized by strict enforcement, combining scientific dynamism (regular NAAQS revisions), transparency

(AQI), federal oversight (nonattainment areas), and market incentives (cap-and-trade).

Kazakhstan can draw important lessons from North American experience to strengthen its institutional system, which is currently based on the Environmental Code and the Kazhydromet network. From Canada, it could adopt the model of federal-regional cooperation that allows national standards to be adapted to local conditions, which is particularly relevant for industrial regions such as Ust-Kamenogorsk and for agricultural areas with high ammonia emissions. The introduction of flexible mechanisms, such as the classification of "exceptional events", would also help manage emissions during natural disasters, including steppe and forest fires. From the United States, Kazakhstan could adapt the cap-and-trade system to encourage industrial enterprises to modernize filters and transition to clean technologies, thereby reducing $PM_{2.5}$ and SO_2 emissions in cities such as Ust-Kamenogorsk, Almaty, and Pavlodar.

Conclusion

The Western experience of air quality management, combining the institutional approaches of Europe and North America, provides Kazakhstan with a comprehensive toolkit to address environmental challenges. European directives and British local initiatives demonstrate the effectiveness of strict standards, such as BAT, and transparent monitoring systems, including AirQUIS and ULEZ, which have significantly reduced NO_2 and $PM_{2.5}$ emissions. North American models, based on Canada's federal-regional cooperation and the United States' strict enforcement practices, highlight flexibility and innovation, including cap-and-trade and AQI. For Kazakhstan, where the Environmental Code and the Kazhydromet network form the foundation of management, key lessons include the introduction of low-emission zones in industrial cities such as Ust-Kamenogorsk, Pavlodar, and Semey to control transport and industrial emissions; the adaptation of standards to regional conditions, including steppe fires; the use of market mechanisms, such as cap-and-trade, to modernize enterprise filters; and the creation of transparent digital platforms, similar to AQI, to engage citizens. Integrated into national policy, these measures can reinforce control over industrial, transport, and household pollution sources, reduce environmental risks, and advance sustainable development.

Acknowledgment: *This work was carried out within the framework of the program-targeted funding of the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan BR27101493 «Development of a Strategy for Reducing Air Pollution in Industrial Cities of Kazakhstan Based on the Identification of the Distribution of Pollution Sources».*

REFERENCES

1. Assanov D., Zapasnyi V., Kerimray A. Air Quality and Industrial Emissions in the Cities of Kazakhstan. Atmosphere, 2021, Vol. 12, No. 3, p. 314.
2. Gemmer M., Xiao B. Air Quality Legislation and Standards in the European Union: Background, Status and Public Participation. Advances in Climate Change Research, 2014, Vol. 4, No. 1, pp. 50-59.
3. Iheanyi Ch. Air Quality in Kazakhstan: Need for Public Awareness for Healthier Environment. The Astana Times, 04 Mar 2025.
4. Juginović A., Vuković M., Aranza I., Biloš V. Health Impacts of Air Pollution Exposure from 1990 to 2019 in 43 European Countries. Scientific Reports, 2021, Vol. 11, No. 1.
5. Kerimray A., Assanov D., Kenessov B., Karaca F. Trends and Health Impacts of Major Urban Air Pollutants in Kazakhstan. Journal of the Air & Waste Management Association, 2020, Vol. 70, No. 11, pp. 1148-1164.
6. Mukhtarov R., Ibragimova O. P., Omarova A., et al. An Episode-Based Assessment for the Adverse Effects of Air Mass Trajectories on $PM_{2.5}$ Levels in Astana and Almaty, Kazakhstan. Urban Climate, 2023, Vol. 49, Art. 101541.
7. Ormanova G., Hopke P., Shah D., Torkmahalleh M. A. Chemical Characterization and Source Apportionment of Airborne $PM_{2.5}$ at an Urban Site in Astana, Kazakhstan. EGU General Assembly Abstracts, 2025.
8. Ramazanova E., Tokazhanov G., Kerimray A., Lee W. Impact of Particulate Matter on Morbidity and Mortality and Its Assessment of Economic Costs. Advances in Environmental Research, 2021, Vol. 10, No. 1, pp. 17-41.

9. Semenova Y., et al. Trace Element Biomonitoring in Hair and Blood of Occupationally Unexposed Population Residing in Polluted Areas of East Kazakhstan and Pavlodar Regions. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology, 2019, Vol. 56, pp. 31-37.
10. Slørdal L. H., McInnes H., Krognes T. The Air Quality Management System AirQUIS. In: Information Technologies in Environmental Engineering (ITEE 2007). Berlin: Springer Publ., 2007, pp. 21-33.
11. Temirbekov N., Tamabay D., Tanashova M. Spread of Harmful Substances in the Atmosphere of Industrial Cities of Kazakhstan: Modeling and Data Refinement. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 2025, Vol. 37, No. 1, pp. 636-647.
12. Tursumbayeva M., Kerimray A., Karaca F., Permadi D. A. Planetary Boundary Layer and Its Relationship with $PM_{2.5}$ Concentrations in Almaty, Kazakhstan. Aerosol and Air Quality Research, 2022, Vol. 22, Art. 210294.

Еуропа мен Солтүстік Американың ауа сапасын бақылаудағы институционалдық шешімдері: Қазақстанға берер сабақтары

[1]БАЙҒАЗИНОВ Жанат Абылканович, *PhD, қауымдастырылған профессор, zh.baigazinov@gmail.com,*
[2]*МАМЫРБЕКОВ Арафат Мажитович, *тар.ғ.к., қауымдастырылған профессор, arafat.mamyrbekov@ucalgary.ca,*
[3]ЖҰМАДІЛОВ Қасым Шаймарданович, *PhD, профессор, zhumadilovk@gmail.com,*
[1]МҰХАМЕДИЯРОВ Нұрлан Жумагазыевич, *докторант, nurlan.eventumlab@gmail.com,*
[1]Ядролық технологиялар паркі, Курчатов, Қазақстан,
[2]Калгари университеті, Калгари, Канада,
[3]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Мақаланың мақсаты Қазақстанның ауаны басқару жүйесіне арналған ұсыныстарды әзірлеуге септесу, онда Еуроодақ, Канада және АҚШ-тың институционалды құрылымдары басқарылады. Зерттеу құқықтық нормалар, мониторинг жүйелері және кап-энд-трейд сияқты құралдарды талдайды. Зерттеу еуропалық әдістер, мысалы, таза ауа аймақтары мен ВАТ ашықтықты арттырып, өлім-жітімді азайтатынын, ал Солтүстік Американдағы модель үйлестіру мен инновацияны арттыратынын анықтады. Ал Қазақстан тиімді қондырғылар, шығарынды бақылау және халықты экологиялық шараларға тарту бойынша кенжелеп отыр. Қазақстанның АСЖ жүйесі 2021 жылғы Экологиялық кодекс пен Қазгидромет деректеріне негізделсе де, мониторинг саласында мониторинг жүргізеді. Төменгі эмиссиялық аймақтар және қолдау үшін экономикалық белсендірулер енгізуді ұсынады.*

Кілт сөздер: *ауа сапасы, атмосфераның ластануы, институционалдық саясат, ВАТ, $PM_{2.5}$.*

Институциональные решения Европы и Северной Америки по контролю качества воздуха: уроки для Казахстана

[1]БАЙГАЗИНОВ Жанат Абылканович, *PhD, ассоциированный профессор, zh.baigazinov@gmail.com,*
[2]*МАМЫРБЕКОВ Арафат Мажитович, *к.и.н., ассоциированный профессор, arafat.mamyrbekov@ucalgary.ca,*
[3]ЖУМАДИЛОВ Касым Шаймарданович, *PhD, профессор, zhumadilovk@gmail.com,*
[1]МУХАМЕДИЯРОВ Нурлан Жумагазыевич, *докторант, nurlan.eventumlab@gmail.com,*
[1]Парк ядерных технологий, Курчатов, Казахстан,
[2]Университет Калгари, Калгари, Канада,
[3]Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Цель статьи – внести вклад в разработку рекомендаций по модернизации системы управления качеством воздуха в Казахстане, сравнивая институциональные модели ЕС, Великобритании, Канады и США. Используются междисциплинарные методы, включая анализ правовых норм, систем мониторинга и инструментов, таких как торговля квотами на выбросы. Исследования показывают, что европейские подходы, такие как чистые зоны и стандарты НДТ, повышают прозрачность и снижают смертность, в то время как североамериканская модель способствует координации и инновациям. Казахстан отстает в установлении стандартов, мониторинге выбросов и вовлечении населения. Хотя система АГУ Казахстана основана на Экологическом кодексе 2021 года и данных Казгидромета, существуют проблемы с охватом и координацией. Рекомендации включают более строгие стандарты, цифровой мониторинг, зоны с низким уровнем выбросов в промышленных городах и экономические стимулы для модернизации и снижения загрязнения.*

Ключевые слова: *качество воздуха, загрязнение атмосферы, институциональная политика, BAT, $PM_{2.5}$.*

REFERENCES

1. Assanov D., Zapasnyi V., Kerimray A. Air Quality and Industrial Emissions in the Cities of Kazakhstan. Atmosphere, 2021, Vol. 12, No. 3, p. 314.
2. Gemmer M., Xiao B. Air Quality Legislation and Standards in the European Union: Background, Status and Public Participation. Advances in Climate Change Research, 2014, Vol. 4, No. 1, pp. 50-59.
3. Iheanyi Ch. Air Quality in Kazakhstan: Need for Public Awareness for Healthier Environment. The Astana Times, 04 Mar 2025.
4. Juginović A., Vuković M., Aranza I., Biloš V. Health Impacts of Air Pollution Exposure from 1990 to 2019 in 43 European Countries. Scientific Reports, 2021, Vol. 11, No. 1.
5. Kerimray A., Assanov D., Kenessov B., Karaca F. Trends and Health Impacts of Major Urban Air Pollutants in Kazakhstan. Journal of the Air & Waste Management Association, 2020, Vol. 70, No. 11, pp. 1148-1164.
6. Mukhtarov R., Ibragimova O. P., Omarova A., et al. An Episode-Based Assessment for the Adverse Effects of Air Mass Trajectories on $PM_{2.5}$ Levels in Astana and Almaty, Kazakhstan. Urban Climate, 2023, Vol. 49, Art. 101541.
7. Ormanova G., Hopke P., Shah D., Torkmahalleh M. A. Chemical Characterization and Source Apportionment of Airborne $PM_{2.5}$ at an Urban Site in Astana, Kazakhstan. EGU General Assembly Abstracts, 2025.
8. Ramazanova E., Tokazhanov G., Kerimray A., Lee W. Impact of Particulate Matter on Morbidity and Mortality and Its Assessment of Economic Costs. Advances in Environmental Research, 2021, Vol. 10, No. 1, pp. 17-41.
9. Semenova Y., et al. Trace Element Biomonitoring in Hair and Blood of Occupationally Unexposed Population Residing in Polluted Areas of East Kazakhstan and Pavlodar Regions. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology, 2019, Vol. 56, pp. 31-37.
10. Slørdal L. H., McInnes H., Krognes T. The Air Quality Management System AirQUIS. In: Information Technologies in Environmental Engineering (ITEE 2007). Berlin: Springer Publ., 2007, pp. 21-33.
11. Temirbekov N., Tamabay D., Tanashova M. Spread of Harmful Substances in the Atmosphere of Industrial Cities of Kazakhstan: Modeling and Data Refinement. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 2025, Vol. 37, No. 1, pp. 636-647.
12. Tursumbayeva M., Kerimray A., Karaca F., Permadi D. A. Planetary Boundary Layer and Its Relationship with $PM_{2.5}$ Concentrations in Almaty, Kazakhstan. Aerosol and Air Quality Research, 2022, Vol. 22, Art. 210294.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_147 UDC 622.241.3

Laboratory and Field-scale Investigations of a Two-component "Sika" Resin for the Stabilization of Underground Mine Workings

[1]*MUSSIN Ravil, PhD, Associate Professor, r.a.mussin@mail.ru,
[1]DEMIN Vladimir, Dr. of Tech. Sc., Professor, vladfdemin@mail.ru,
[1]ZAKHAROV Aleksandr, Master's Degree, Senior Lecturer, assalamm@mail.ru,
[1]GANYUKOV Nikita, Master's Degree, Engineer, nikitagd99@mail.ru,
[2]MAŁKOWSKI Piotr, PhD, Professor, malkgeom@agh.edu.pl,
[1]Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
[2]AGH University of Krakow, Krakow, Poland,
*corresponding author.

Abstract. *The results of laboratory and field investigations of a two-component polyurethane resin "Sika" for injection reinforcement of fractured rock masses in underground mine workings, are presented. The study addresses the need to improve roadway stability under complex stress-strain conditions, tectonic disturbances, and high moisture typical of the Karaganda Coal Basin. Laboratory tests evaluated curing time, reaction temperature, foaming coefficient, and crystallization duration, confirming stable and reproducible properties suitable for underground application. Field trials at the Kazakhstanskaya mine using IRMA-type anchors compared "Sika" with the conventional Bevedol-Bevedan resin. The results showed that "Sika" forms a strong monolithic structure, обеспечивает high adhesion to rock and metal supports, and reduces material consumption. Overall, the resin proved effective in strengthening weakened zones, decreasing stress concentration near excavation contours, and improving underground roadway stability under complex geological conditions.*

Keywords: *polyurethane resin, injection reinforcement, rock mass, anchor systems, adhesion, Karaganda Coal Basin, field-scale testing.*

Introduction

One of the priority tasks of modern mining production is to ensure the stability of underground mine workings operating under complex stress-strain conditions of the rock mass. The impact of elevated rock pressure, the development of tectonic disturbance zones, and the moisture content of surrounding rocks significantly increase the likelihood of roof integrity loss and collapses, leading to аварийные ситуации and substantial economic losses. In this regard, recent decades have seen growing interest in polymer compositions and injection resins capable of effectively strengthening weakened rock zones and forming a coherent, high-strength monolith that prevents further rock mass disintegration [1-3].

Among currently used reinforcing materials, organic and organo-mineral compositions are commonly distinguished. In the mines of the CIS countries, Bevedol-Bevedan-type resins have been widely applied; however, practical experience has revealed several significant drawbacks, including limited adhesion to moist rocks, increased consumption of injection material, and the formation of reinforced zones with reduced strength characteristics. At the same time, international practice actively advances polyurethane compositions characterized by high fluidity, the ability to penetrate microcracks of approximately 0.1-0.2 mm, and the capacity to form stable monolithic structures even under elevated moisture conditions [5]. Organo-mineral resins are also of interest due to their favorable physicomechanical properties, although their effectiveness under real mining and geological conditions requires confirmation through field testing [4].

Under these circumstances, an important scientific and practical task is to assess the applicability of the two-component polyurethane resin "Sika", developed for rock mass strengthening in the Karaganda Coal Basin. Unlike traditionally used reinforcing compounds, this material is characterized by reduced specific consumption, a high foaming coefficient,

and the ability to form a strong, bonded rock monolith, which determines its potential for wide industrial implementation.

Material and research methodology

To evaluate the technological characteristics of the two-component polyurethane resin "Sika", a series of laboratory tests was conducted at the Laboratory of Methane Energy in the Mining and Metallurgical Complex of Abylkas Saginov Karaganda Technical University. The aim of the tests was to determine the key parameters governing material behavior during application, including curing time, reaction temperature during component interaction, foaming coefficient, and crystallization duration.

Experimental studies were carried out using standard laboratory control equipment: analytical balances, an electronic thermometer, and a stopwatch. The reaction mixture was prepared in paper cups at an ambient air temperature of 27-29 °C, which is close to actual underground mining conditions. The methodology included preparation of components A and B, precise dosing, mechanical mixing using wooden spatulas, and subsequent recording of foaming process parameters (Figure 1).

Experimental conditions

The temperature of the components prior to mixing was:

- Sample No. 1: component A – 26.5 °C; component B – 26.3 °C;
- Sample No. 2: component A – 23.8 °C; component B – 24.8 °C.

Mixing was performed at a constant air temperature of 27.3 °C. During the experiments, the main parameters characterizing the chemical reaction were recorded.

Laboratory test results

The results are presented in Table 1. The curing time of the polyurethane resin ranged from 170 to 183 s; the maximum reaction temperature was 132.5-143 °C; the foaming coefficient varied from 4 to 6; and the crystallization duration was 50-52 h.

The study established that the polyurethane resin "Sika" exhibits stable and reproducible foaming and curing characteristics, confirming its suitability for application in underground mine workings. The obtained key parameters are comparable to those of polyurethane resins used in European and Chinese coal mines [2, 5, 6], indicating the promising potential of this material for reinforcing fractured rock mass zones.

Results

To verify the laboratory findings, field-scale trials of the two-component polyurethane resin "Sika" were conducted at the Kazakhstanskaya mine. The primary objective was to evaluate the strength properties of the reinforced rock mass, the adhesion of the resin to rock and metal support elements, and to compare the operational performance of "Sika" with the tra-



a) b) c) d)

a, b – components A and B; c, d – stages of component mixing and foaming

Figure 1 – Laboratory testing of the two-component polyurethane resin "Sika"

Table 1 – Test Results of the "Sika" Resin

Sample	Curing time, s	Crystallization time, h	Reaction temperature, °C	Foaming coefficient
№1	170	50 (t = 24 °C)	143,0	6
№2	183	52 (t = 25 °C)	132,5	4

ditionally used Bevedol-Bevedan resin.

The comparative analysis showed that when injected into a fractured rock mass, the Bevedol-Bevedan resin forms a predominantly elastic structure with relatively low strength characteristics, which is reflected in the separation of rock fragments from the reinforced block. In contrast, the use of the "Sika" resin results in the formation of a strong, cohesive monolith with high resistance to failure. Due to its pronounced foaming effect, the injected material generates additional confinement of the rock mass, thereby increasing its load-bearing capacity (Figure 2).

Differences were also identified in terms of adhesion: Bevedol-Bevedan exhibited weak bonding with the rock mass, particularly under elevated moisture conditions, whereas "Sika" provided reliable adhesion even to wet rocks (Figure 3).

The comparative results are presented in Table 2.

Resin injection was carried out through IR-MA-type anchors 2.5-3.0 m in length, installed within the 1st and 148th sections of the mechanized support of the longwall face. Drilling of the anchor boreholes was performed at a 20° inclination toward the zones of fractured rock. The minimum distance of the anchors from the roadway contour was 0.75 m. The injection volume per anchor ranged from 1.0 to 1.5 resin sets, which proved sufficient for the formation of a reinforced rock mass.

During the field-scale trials, the following findings were established:

- the strength characteristics of the rock mass reinforced with the "Sika" resin were not inferior and, in some cases, exceeded those obtained using traditional resins (Figure 5);
- effective interaction between adjacent injection zones formed through perforated tubes was observed;
- penetration of the resin into microcracks up to 0.15-0.2 mm in size was ensured, promoting uniform filling of voids and fractures;
- high adhesion was achieved not only to



Figure 2 – Reinforced rock mass consolidated with Bevedol-Bevedan and "Sika" polyurethane resins



Figure 3 – Low adhesion of the Bevedol-Bevedan resin to fragmented rock mass (left – within the rock mass; right – on individual rock fragments)



Figure 4 – Adhesion of the "Sika" polyurethane resin on an argillite rock fragment (left – within the rock mass; right – on individual rock fragments)

Table 2 – Comparison of Resins Based on Field-Scale Test Results

№	Performance Characteristics of the Resins During Operation	Bevedol-Bevedan	Sika
1	Nature of the reinforced mass	Elastic-rubbery, soft, low strength	Monolithic, strong, does not separate from the rock mass
2	Adhesion capacity	Low, minimal resin traces on the rock surface	High, strong adhesion with visible resin traces remaining on the surface
3	Monolith formation	Absent; the mass remains loose, especially under moist conditions	Strong rock mass formation in the roadway-longwall junction zone, stable under moist conditions
4	Resin consumption per injection tube	~65 kg	~48 kg
5	Interaction between adjacent injection zones	Insufficient	Good



Figure 5 – Comparative strength characteristics of the "Sika" resin (left) and the Bevedol-Bevedan resin (right)

the rock mass but also to metal support elements, including arch steel supports and profiled sheet lagging.

Discussion

The application of the "Sika" resin made it possible to reduce the specific consumption of reinforcing material while simultaneously increasing the strength characteristics of the rock mass, confirming its high efficiency under the conditions of the Karaganda Coal Basin. The obtained results are consistent with recent studies on the use of polyurethane resins [7-8] and with numerical modeling data on injection-based rock mass reinforcement processes [9].

The comprehensive laboratory and field-scale investigations confirmed the feasibility of using the two-component polyurethane resin "Sika" for strengthening fractured rock zones. Compared with traditional Bevedol-Bevedan-type resins, the following advantages were established:

- increased strength of the reinforced rock mass combined with reduced material consumption, due to the high foaming coefficient and the ability to form a coherent monolith even at lower injection volumes (Figure 5);
- high adhesion to both rock mass and metal support elements (Figures 6-7), expanding the practical application range of the material;
- effective performance under elevated moisture conditions, where traditional resins demonstrate limited efficiency (Figure 4).

Comparison with international practice indicates that polyurethane resins of this type are widely and successfully applied in coal mines in Germany, Poland, China, and other countries for strengthening fractured rocks, creating waterproof barriers, and increasing load-bearing capacity. The present results are consistent with global trends and confirm the strong potential for implementing this technology in Kazakhstan.

Particular importance is attached to the use of numerical modeling of the stress-strain state of the rock mass (ANSYS, FLAC2D), which made it possible to assess the behavior of reinforced rocks considering geological and technological factors [10]. The calculations showed that the use of the "Sika" resin reduces stress concentration in the excavation contour zone and decreases the likelihood of sudden roof collapses.

Conclusion

Based on the results of the conducted studies, the following conclusions were established:

- the two-component polyurethane resin "Sika" is characterized by stable curing parameters (170-183 s), a reaction temperature in the range of 132.5-143 °C, and a high foaming coefficient (4-6), ensuring its technological suitability for underground mining conditions;
- field-scale trials confirmed the high strength of the reinforced rock mass, reliable adhesion to both rock and metal support elements, and reduced material consumption compared with Bevedol-Bevedan resins;
- the injection reinforcement technology using IRMA-type anchors provides effective strengthening of fractured rock zones under complex geological and mining conditions of the Karaganda Coal Basin.

The prospects for applying the "Sika" resin are associated with its use for reinforcing mine workings of various purposes, particularly in zones of tectonic disturbances and elevated rock pressure.

The scientific novelty of the study lies in the development and validation of resource-efficient and waste-free rock mass reinforcement methods aimed at reducing accident risks and operational costs in underground mining operations.

Acknowledgments: *This study was supported by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan as part of the program-targeted funding for the implementation of the scientific and scientific-technical program IRN BR24992803.*

REFERENCES

1. Papushin, V.I., Grebennikova, E.A. Polimernye smoly v gornom dele. Moscow: Nedra, 2019. 214 p.
2. Korzeniowski, W., Skrzypkowski, K. Application of polyurethane resins in coal mines. Archives of Mining Sciences. 2021, Vol. 66, No. 4, pp. 781-796.
3. Tanekeeva, G.D., Abeuov, E.A., Makhmudov, D.R., Mussin, R.A., Balabas, A.Yu. Issledovanie geomekhanicheskikh uslovii provedeniya i podderzhaniya prisochnykh gornykh vyrabotok. Ugol'. 2023, No. 2, pp. 31-33. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-2-31-33.
4. Mussin, R.A., Zamaliyev, N.M. Testing of chemical grouting materials in coal mines. Mining of Mineral

Deposits. 2022, Vol. 16, No. 2, pp. 50-61.
5. Jiang, Y., Wang, H. Performance of polyurethane grout in fractured rock mass. Tunnelling and Underground Space Technology. 2019, Vol. 90, pp. 73-81.
6. Li, B., Chen, J. Influence of water content on the strength of polyurethane consolidated rocks. Construction and Building Materials. 2020, Vol. 239, pp. 117-125.
7. Stasica, J., Zagórski, K. Efficiency of resin injection technologies in underground coal mines. Energies. 2022, Vol. 15, No. 12, 4532.
8. Nizametdinov, F.K., Ganyukov, N.Yu. Modelirovanie protsessov zakrepleniya gornykh porod s ispol'zovaniem smol. Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh. 2023, No. 2, pp. 99-108.
9. Xu, Q., Zhou, Y. Numerical modeling of resin injection in rock fractures. Computers and Geotechnics. 2021, Vol. 132, 104-117.
10. Akhmatnurov, D.R., Zamaliyev, N.M. Raschet parametrov uprochneniya massiva pri primenenii poliuretanovykh smol. Gornyi vestnik Kazakhstana. 2024, No. 1, pp. 14-22.

Жерасты тау-кен қазбаларын бекітуге арналған «Sika» екікомпонентті шайырының зертханалық және тәжірибелік-өнеркәсіптік зерттеулері

[1]*МУСИН Равиль Альтавович, *PhD, қауымдастырылған профессор, r.a.mussin@mail.ru,*
[1]ДЕМИН Владимир Федорович, *т.ғ.д., профессор, vladfdemin@mail.ru,*
[1]ЗАХАРОВ Александр Михайлович, *магистр, аға оқытушы, assalamm@mail.ru,*
[1]ГАНЮКОВ Никита Юрьевич, *магистр, инженер, nikitagd99@mail.ru,*
[2]МАЛКОВСКИЙ Петр, *PhD, профессор, malkgeom@agh.edu.pl,*
[1]Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
[2]Краковтағы AGH университеті, Краков, Польша,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Жерасты тау-кен қазбаларындағы бұзылған жыныс массивін инъекциялық нығайтуға арналған «Sika» екікомпонентті полиуретанды шайырының зертханалық және тәжірибелік-өнеркәсіптік зерттеулерінің нәтижелері ұсынылған. Зерттеу Қарағанды көмір бассейніне тән күрделі кернеулі-деформациялық жағдайлар, тектоникалық бұзылыстар және жоғары ылғалдылық жағдайында қазбалардың тұрақтылығын арттыруға бағытталған. Зертханалық сынақтар барысында қатаю уақыты, реакция температурасы, көбіктену коэффициенті және кристалдану ұзақтығы анықталып, материалдың тұрақты және қайталанатын қасиеттері расталды. «Казахстанская» шахтасында IRMA типті анкерлер арқылы жүргізілген тәжірибелік сынақтар «Sika» шайырын дәстүрлі Беведол-Беведан шайырымен салыстыруға мүмкіндік берді. Нәтижесінде «Sika» шайыры берік монолит қалыптастырып, жыныстар мен металл бекітпе элементтеріне жоғары адгезия қамтамасыз ететіні және материал шығынын азайтатыны анықталды. Жалпы алғанда, шайыр әлсіреген аймақтарды нығайтуда, қазба контуры маңындағы кернеулерді төмендетуде және күрделі геологиялық жағдайда жерасты қазбаларының тұрақтылығын арттыруда тиімділігін көрсетті.*

Кілт сөздер: *полиуретанды шайыр, инъекциялық бекіту, жыныс массиві, анкерлік жүйелер, адгезия, Қарағанды көмір бассейні, тәжірибелік-өнеркәсіптік сынақтар.*

Лабораторные и опытно-промышленные исследования двухкомпонентной смолы «Sika» для закрепления подземных горных выработок

[1]*МУСИН Равиль Альтавович, *PhD, ассоциированный профессор, r.a.mussin@mail.ru,*
[1]ДЕМИН Владимир Федорович, *д.т.н., профессор, vladfdemin@mail.ru,*
[1]ЗАХАРОВ Александр Михайлович, *магистр, старший преподаватель, assalamm@mail.ru,*
[1]ГАНЮКОВ Никита Юрьевич, *магистр, инженер, nikitagd99@mail.ru,*
[2]МАЛКОВСКИЙ Петр, *PhD, профессор, malkgeom@agh.edu.pl,*
[1]Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,

[2]AGH университет в Кракове, Краков, Польша,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Представлены результаты лабораторных и опытно-промышленных исследований двухкомпонентной полиуретановой смолы «Sika», предназначенной для инъекционного упрочнения нарушенных зон породного массива в подземных горных выработках. Работа направлена на повышение устойчивости выработок в условиях сложного напряжённо-деформированного состояния, тектонических нарушений и повышенной влажности, характерных для Карагандинского угольного бассейна. В ходе лабораторных испытаний определены время отверждения, температура реакции, коэффициент вспенивания и продолжительность кристаллизации, что подтвердило стабильные и воспроизводимые свойства материала. Опытно-промышленные испытания на шахте «Казахстанская» с применением анкеров типа IRMA позволили сопоставить смолу «Sika» с традиционной смолой Беведол-Беведан. Установлено, что «Sika» формирует прочный монолит, обеспечивает высокую адгезию к породам и металлическим элементам крепи, а также снижает расход материала. В целом смола продемонстрировала эффективность при упрочнении ослабленных зон, снижении концентрации напряжений в приконтурной зоне и повышении устойчивости выработок в сложных горно-геологических условиях.*

Ключевые слова: *полиуретановая смола, инъекционное закрепление, породный массив, анкерные системы, адгезия, Карагандинский угольный бассейн, опытно-промышленные испытания.*

REFERENCES

1. Papushin, V.I., Grebennikova, E.A. Polimernye smoly v gornom dele. Moscow: Nedra, 2019. 214 p.
2. Korzeniowski, W., Skrzypkowski, K. Application of polyurethane resins in coal mines. Archives of Mining Sciences. 2021, Vol. 66, No. 4, pp. 781-796.
3. Tanekeeva, G.D., Abeuov, E.A., Makhmudov, D.R., Mussin, R.A., Balabas, A.Yu. Issledovanie geomekhanicheskikh uslovii provedeniya i podderzhaniya prisochnykh gornykh vyrabotok. Ugol'. 2023, No. 2, pp. 31-33. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-2-31-33.
4. Mussin, R.A., Zamaliyev, N.M. Testing of chemical grouting materials in coal mines. Mining of Mineral Deposits. 2022, Vol. 16, No. 2, pp. 50-61.
5. Jiang, Y., Wang, H. Performance of polyurethane grout in fractured rock mass. Tunnelling and Underground Space Technology. 2019, Vol. 90, pp. 73-81.
6. Li, B., Chen, J. Influence of water content on the strength of polyurethane consolidated rocks. Construction and Building Materials. 2020, Vol. 239, pp. 117-125.
7. Stasica, J., Zagórski, K. Efficiency of resin injection technologies in underground coal mines. Energies. 2022, Vol. 15, No. 12, 4532.
8. Nizametdinov, F.K., Ganyukov, N.Yu. Modelirovanie protsessov zakrepleniya gornykh porod s ispol'zovaniem smol. Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh. 2023, No. 2, pp. 99-108.
9. Xu, Q., Zhou, Y. Numerical modeling of resin injection in rock fractures. Computers and Geotechnics. 2021, Vol. 132, 104-117.
10. Akhmatnurov, D.R., Zamaliyev, N.M. Raschet parametrov uprochneniya massiva pri primenenii poliuretanovykh smol. Gornyi vestnik Kazakhstana. 2024, No. 1, pp. 14-22.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_154 UDC 553

Technogenic Mineral Formations of the Rudny Altai VMS Polymetallic Deposits (Eastern Kazakhstan): Composition, Metal Enrichment and Secondary Resource Potential

[1]MIZERNAYA Marina, *Cand. of Med. Sc., Leading Researcher, mizernaya58@bk.ru, https://orcid.org/0000-0001-8618-7352,*
[1]*SHAYAKHMETOVA Zhuldyz, *Doctoral Student, ZShayakhmetova@ektu.kz, https://orcid.org/0009-0009-8832-378X,*
[2]PASCAL Christophe, *Professor, christophe.pascal1909@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-2317-8365,*
[1]KUZMINA Oxana, *PhD, Associate Professor, kik_kuzmins@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5127-6408,*
[1]KALIMOV Damir, *Doctoral Student, Damir14061990@mail.ru, https://orcid.org/0009-0005-7160-7648,*
[1]D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Oskemen, Kazakhstan,
[2]Ruhr University Bochum, Bochum, Germany,
**corresponding author.*

Abstract. *Based on the analysis of archival materials, geological exploration data, and original datasets, the scale of accumulation of technogenic mineral formations (TMFs) within the Leninogorsk, Zyryanovsk, and Irtysh ore districts of Eastern Kazakhstan has been evaluated. Waste rock dumps, tailings storage facilities, and sludge impoundments are shown to contain significant concentrations of base and precious metals (Pb, Zn, Cu, Au, Ag), as well as associated critical elements (Cd, As, Sb, Te, In, etc.). The results substantiate the potential for partial reprocessing of technogenic materials as secondary mineral resources, while simultaneously reducing environmental risks. It is demonstrated that the cumulative metal resources contained in mill tailings reach hundreds of thousands of tonnes of base metals and tens of tonnes of precious metals. Technogenic objects of the region should therefore be considered as independent anthropogenic deposits with considerable resource and economic potential.*

Keywords: *technogenic mineral formations, tailings, mine waste, volcanogenic massive sulfide (VMS), polymetallic ores, secondary resources, critical raw materials, enrichment factor, Rudny Altai, Eastern Kazakhstan.*

Introduction

The volcanogenic massive sulfide (VMS) polymetallic deposits of the Rudny Altai have been a major raw material base of non-ferrous metallurgy in Kazakhstan for more than two centuries [1-3]. Long-term exploitation of deposits in the Leninogorsk, Zyryanovsk, and Irtysh ore districts has resulted in the accumulation of large volumes of mining and processing waste, including waste rock dumps, flotation tailings, and sludge impoundments [2, 4].

At the same time, global depletion of high-grade polymetallic ores and increasing demand for base metals have intensified interest in alternative mineral resources [5-8]. The growth of copper and zinc consumption is largely driven by the energy transition, electrification of transport, and the expansion of battery technologies [6, 7]. According to the International Copper Study Group (ICSG) and the U.S. Geological Survey (USGS), demand for these metals will continue to rise while supply constraints remain significant [6, 8].

In this context, technogenic mineral formations (TMFs), including tailings storage facilities, sludge impoundments, and waste rock dumps, are increasingly regarded as potential secondary sources of metals [9-12]. These materials often contain significant concentrations of Cu, Pb, Zn and associated valuable

elements, and their reprocessing may simultaneously enhance resource efficiency and reduce environmental risks.

Large volumes of technogenic formations have accumulated in the Rudny Altai polymetallic belt of Eastern Kazakhstan [1-3, 13]. Therefore, assessing their resource potential and environmental significance has become an important task.

The aim of this study is to systematize available data on the composition and volumes of technogenic mineral formations in Eastern Kazakhstan and to evaluate their metallogenic and environmental significance.

Geological and Industrial Characteristics of the Main Ore Districts of the Rudny Altai

Overview of the Principal Ore Districts

The Rudny Altai is one of the largest volcanogenic massive sulfide (VMS) polymetallic belts in Central Asia, extending for about 500 km with a width of 60-100 km [1, 2]. Its metallogenic zonation, genetic relationship with Devonian volcano-sedimentary complexes, and structural control by major fault systems, including the Irtysh and North-Eastern zones, have been described in classical studies by Nekhoroshev, Spiridonov, Levitsky, and co-workers [1-3].

The principal deposits of the Rudny Altai are concentrated within several major ore districts: Leninogorsk, Zyryanovsk, and Irtysh (Figure 1). These districts collectively form the core of the Rudny Altai polymetallic province and have played a major role in the development of the mining and metallurgical industry of Eastern Kazakhstan.

The Leninogorsk ore district, located in the central part of the Rudny Altai, hosts numerous copper-lead and copper-zinc deposits such as Ridder-Sokolnoye, Novoleninogorskoye, Shubinskoye, and Tishinskoye [1-3]. These deposits are associated with Emsian-Givetian basalt-rhyolite formations and are characterized by typical VMS mineralization dominated by pyrite, chalcopyrite, sphalerite, and galena. Compared with other districts, Leninogorsk deposits commonly show relatively elevated gold contents and lower silver concentrations.

The Zyryanovsk ore district, situated in the southeastern part of the belt, is composed mainly of Devonian and Lower Carboniferous strata. Ore mineralization is confined to the anticlinal structure of the Revnyushinsk zone, where several stratigraphic ore levels host the Zyryanovskoye, Grekhovskoye, and Maiskoye deposits [2, 3]. The Zyryanovskoye deposit is largely depleted, while mining at the Grekhovskoye and Maleevskoye deposits is approaching completion.

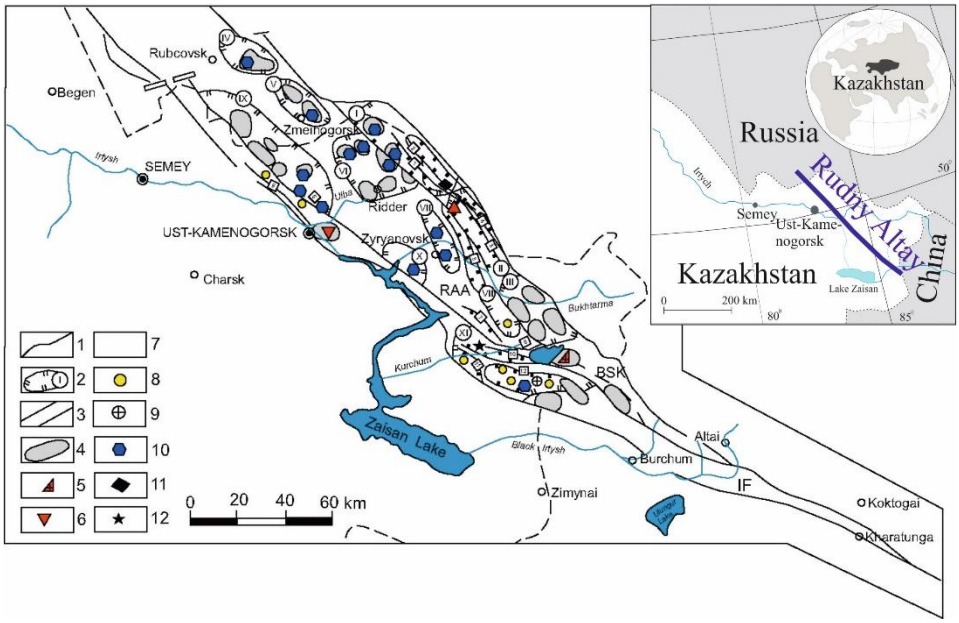


Figure 1 – Metallogenic framework of the Rudny Altai showing boundaries of metallogenic zones (BSK – Belouba-Sarymsakty-Kurtinsk; RAA – Rudny Altai-Ashaly; IF – Irtysh-Fuyun), major ore districts (IV – Rubtsovsk; V – Zmeinogorsk; VI – Leninogorsk; VII – Zyryanovsk; IX – Irtysh), ore zones and nodes, and principal ore formations: epimagmatic, skarn, greisen-quartz vein, quartz vein (gold), gold-quartz beresite-type, VMS polymetallic, volcano-sedimentary Fe-Mn and metamorphogenic (gold) [1]

The Irtysh ore district occupies the western margin of the Rudny Altai metallogenic belt and is structurally associated with the Irtysh shear zone and the southwestern part of the Aley anticlinorium. Two principal ore fields are distinguished: the Nikolaevskoye and the Berezovsko-Belousovskoye fields, which extend for tens of kilometers along the Irtysh structural zone [2].

Materials and Methods

This study is based on the compilation and analysis of archival geological exploration materials, datasets on the chemical composition of primary ores and technogenic mineral formations, analytical results obtained at the Veritas laboratory and the D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University (EKTU), processing plant reports, drilling data from tailings storage facilities, and technological test results related to the reprocessing of legacy sludge materials.

To evaluate the degree of metal concentration, the enrichment factor (EF) was applied. EF values were calculated relative to the average composition of the Upper Continental Crust (UCC). Reference values for UCC were adopted from Rudnick and Gao (2003, 2014) and Hu and Gao (2008) [14-15], which are widely used in geochemical studies for the normalization and comparison of ore and technogenic systems.

The application of EF normalization enables a consistent comparison of ore districts characterized by different absolute metallogenic specializations and background geochemical levels [14].

Results

Composition of Primary Ores

Primary ore compositions from the principal deposits of the three major ore districts of the Rudny Altai were examined.

The Leninogorsk ore district hosts typical volcanogenic massive sulfide (VMS) polymetallic ores dominated by pyrite, sphalerite, galena, and chalcopyrite. Average metal contents are: Cu 0.6 wt.%; Pb 1.0 wt.%; Zn 6.0 wt.%; Au 0.78 g/t; Ag 12.6 g/t; Cd 0.028 wt.%; Se 26.4 g/t; Te 20.3 g/t; As 50 g/t; Sb 81 g/t; Tl 1.1 g/t; Ga 12 g/t; In 2 g/t; and Ge 0.98 g/t.

Ores of the Zyryanovsk ore district are mainly zinc-lead with subordinate copper mineralization. Average grades are: Cu 2.53 wt.%; Zn 8.8 wt.%; Pb 1.5 wt.%; Au 0.78 g/t; Ag 81.45 g/t; Bi 0.014 wt.%; Cd 0.034 wt.%; Se 17.0 g/t; Te 6.24 g/t; and In 3.04 g/t.

The Priirtysh ore district is characterized by copper-zinc mineralization with lower Pb contents. Average grades include: Cu 4.6 wt.%; Pb 1.19 wt.%; Zn 3.94 wt.%; Au 0.77 g/t; Ag 42.3 g/t; Cd 184 g/t; Se 121.2 g/t; S_py 17.6 wt.%; Ba 7.0 wt.%; Ga 8.3 g/t; Ge 0.96 g/t; In 1.99 g/t; Tl 16.2 g/t; and Te 8.7 g/t.

To assess metal concentration levels, element contents were normalized to the Upper Continental Crust (UCC) composition. Reference values were taken from Rudnick and Gao (2003, 2014) [14,15], while chalcophile and rare-element background concentrations follow Hu and Gao (2008) [15] (Figure 2).

According to the enrichment factor (EF) classification, EF < 10 indicates background to weak enrichment, 10-100 moderate enrichment, 100-1000 strong enrichment, and EF > 1000 extreme enrichment.

The EF diagrams (Figure 2) illustrate enrichment levels of base and noble metals (Cu-Pb-Zn-Au-Ag) and associated trace and critical elements (Cd, Se, Te, As, Sb, Tl, Ga, In, Ge) in ores of the Leninogorsk, Zyryanovsk, and Irtysh districts, allowing comparison of their metallogenic specialization.

Composition of Processing Tailings

To evaluate the resource potential of beneficiation products derived from polymetallic ores, waste rock dumps and processing residues were investigated. In the Leninogorsk ore district, flotation tailings were historically deposited at several tailings storage facilities, including the Old, Chashinskoye, and Talovskoye impoundments. The composition of pyrite dumps was also taken into account.

Ores from the Zyryanovsk ore district were processed at the Zyryanovsk concentrator, whereas ores from the Irtysh district are currently treated at the Zheskent concentrator.

For quantitative assessment of metal concentration in processing wastes, enrichment factor (EF) diagrams were constructed using normalization of metal contents to the average composition of the Upper Continental Crust (UCC). This approach allows direct comparison between primary ores and technogenic materials and provides an objective measure of residual metal enrichment in tailings and waste deposits.

Discussion

The comparison of enrichment factors (EF) calculated for primary ores of the three Rudny Altai ore districts with actual metal concentrations in tailings and waste dumps allows the identification of systematic redistribution patterns of both base and associated strategic elements during beneficiation [1-3].

Comparison of Primary Ores and Tailings

EF diagrams for primary ores show extreme enrichment in Cu, Pb, and Zn (EF >> 1000), confirming the industrial-grade character of the volcanogenic massive sulfide (VMS) polymetallic deposits. However, analyses of tailings and pyrite dumps indicate that considerable amounts of these metals remain in technogenic materials.

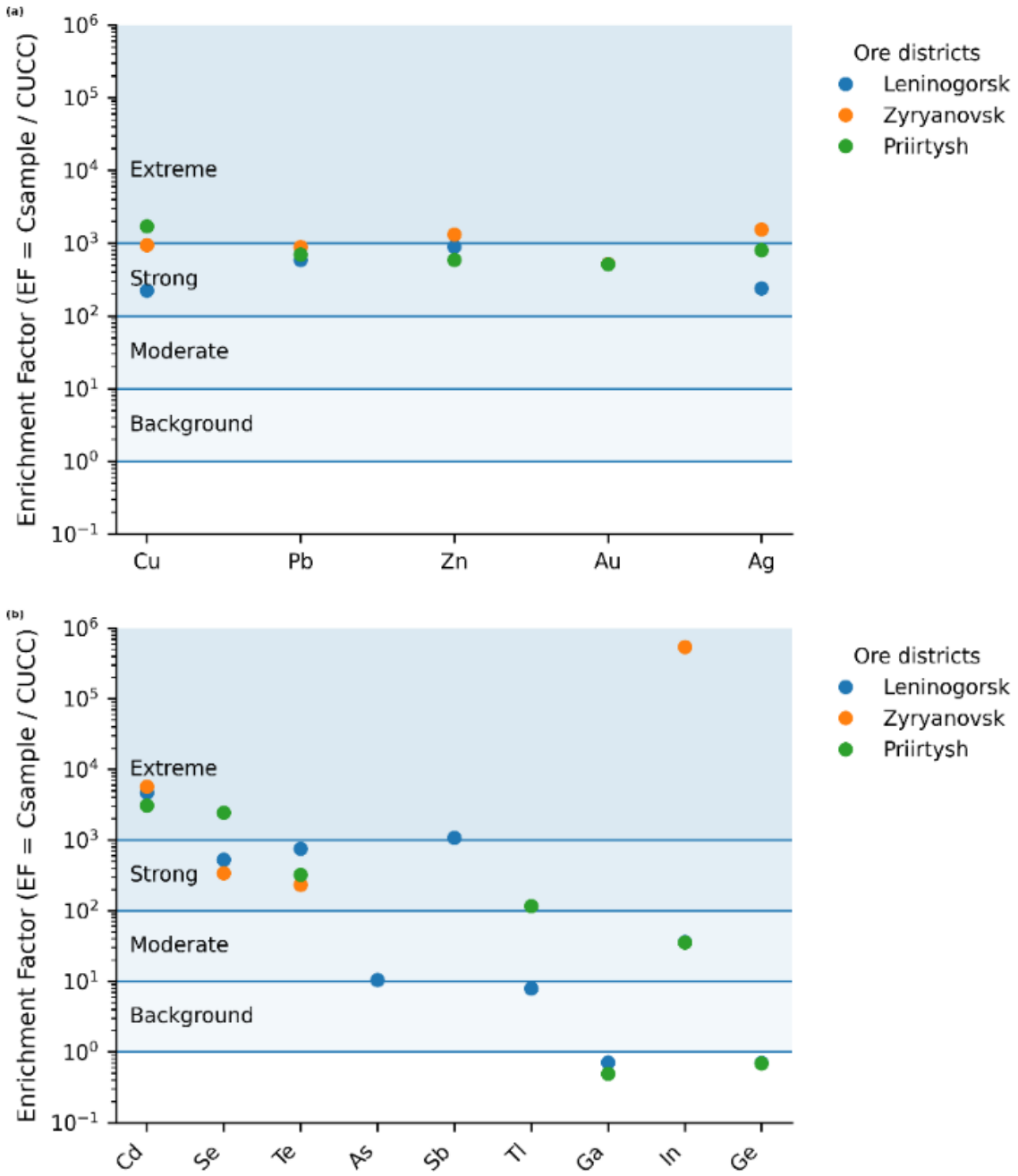


Figure 2 – Enrichment factors for primary ores of the main ore districts of the Rudny Altai. (a) Base metals (Cu, Pb, Zn) and noble metals (Au, Ag). (b) Critical and trace elements (Cd, Se, Te, As, Sb, Tl, Ga, In, Ge). Concentrations are normalized to the Upper Continental Crust (UCC) composition after Rudnick and Gao (2003) and Hu and Gao (2008) [14-15]

In the Leninogorsk ore field, the highest concentrations of Cu, Pb, Zn, Au, and Ag occur in pyrite dumps and historical tailings, where precious metal contents locally reach tens of grams per tonne. This reflects incomplete recovery of gold and silver during early processing stages.

The Zyryanovsk district shows lower residual base-metal contents in tailings, indicating more efficient Pb-Zn extraction, although notable Au and Ag concentrations remain in technogenic materials.

In the Irtysh district (including the Zheskent processing area), residual Cu and Zn contents in waste deposits remain significant, reflecting the complex composition of the ores and the limited selectivity of beneficiation processes in multi-component sulfide systems.

Behavior of Precious and Critical Elements

Comparison of enrichment factors (EF) in primary ores with concentrations measured in

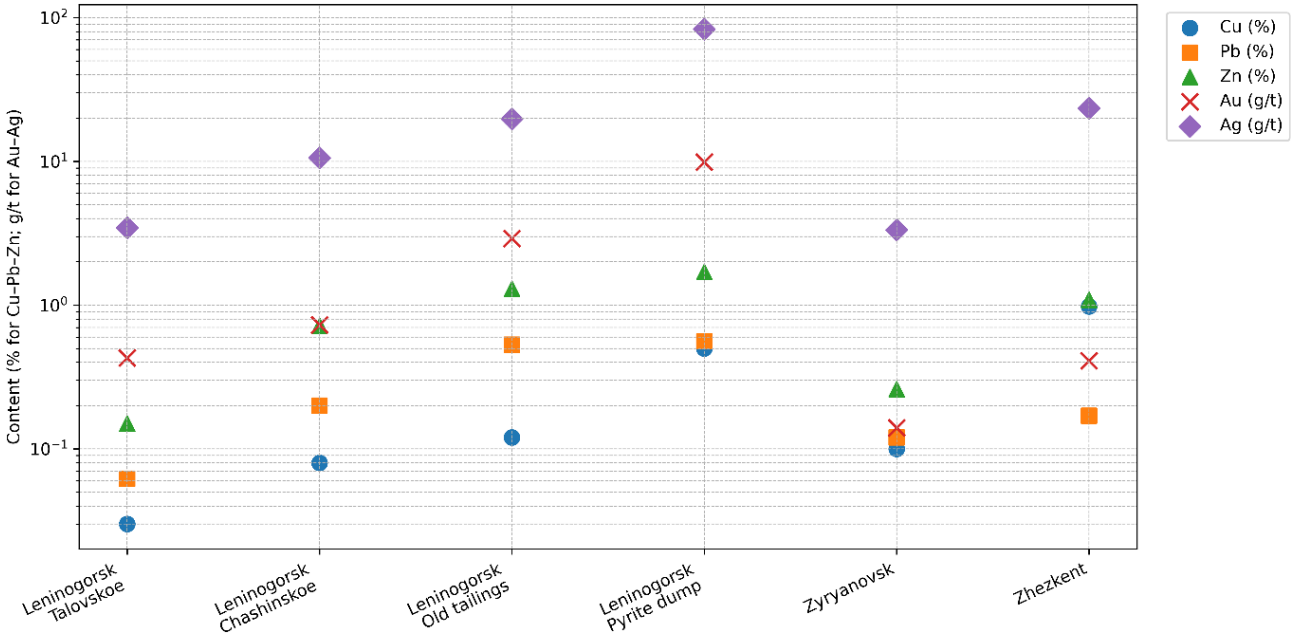


Figure 3 – Enrichment factors (EF = C_sample / C_UCC) for Cu, Pb, Zn, Au and Ag in tailings and pyrite dumps of the Leninogorsk ore field (Talovskoe, Chashinskoe and Old tailings, pyrite dump) compared with Zyryanovsk and Zhezkent districts

tailings shows that a significant portion of precious and critical elements remains in technogenic materials. Gold and silver persist in old tailings and pyrite dumps, particularly in the Leninogorsk and Zyryanovsk districts, reflecting incomplete recovery during early beneficiation stages.

Elements associated with sphalerite (Cd, In, Ga) are partly recovered into zinc concentrates but remain present in tailings, whereas Se and Te, genetically related to sulfide phases, are likely concentrated in pyrite-rich waste dumps. In general, elements with higher initial EF values in primary ores demonstrate a greater tendency to be retained in processing residues.

Pyrite dumps represent the most promising technogenic objects for secondary recovery of precious and dispersed elements. Tailings formed during early stages of mining (1940s-1960s) are particularly resource-rich due to historically lower metal recovery rates.

These results support the need for a systematic re-evaluation of technogenic mineral formations, including enrichment-factor calculations relative to UCC and assessment of associated metals such as Au, Ag, Cd, Se, Te, In, Ga, and Ge. International studies indicate that VMS tailings commonly retain economically significant concentrations of these elements due to limited flotation selectivity in historical processing technologies [10-12].

Overall, the obtained data confirm that technogenic formations of the Leninogorsk, Zyryanovsk, and Irtysh districts represent a promising additional resource of base, precious, and critical metals and should be considered within the framework of circular economy approaches to mineral resource utilization [9-12].

Conclusions

Comparison of enrichment factors (EF) for primary ores with metal concentrations in tailings shows that the Rudny Altai deposits are characterized by high geochemical complexity and extreme enrichment in Cu, Pb, Zn, as well as significant contents of Au, Ag and associated critical elements (Cd, Se, Te, In, Ga, Ge).

Ore processing does not ensure complete metal recovery, and considerable amounts of valuable components remain in technogenic materials, particularly in legacy tailings and pyrite dumps of the Leninogorsk ore field.

Therefore, technogenic formations of the Rudny Altai should be considered an important reserve of the regional mineral resource base and a перспективный target for secondary recovery of base, precious, and critical metals.

Acknowledgments

This research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan, grant BR24992854 "Development and implementation of competitive, science-based technologies to ensure the sustainable development of the mining and metallurgical industry of East Kazakhstan Region".

REFERENCES

1. Chekalin V.M., Dyachkov B.A. Rudny Altai base-metal belt: localization of massive sulfide mineralization // Geology of Ore Deposits. – 2013, Vol. 55. № 6. – Pp. 513-532.
2. Gusev, A.I., Tabakaeva, E.M. Gold in the massive sulfide deposits of Rudny Altai. – Central Asian Journal of Basic and Applied Research, (4), 2015, pp. 41-56.
3. Дьячков, Б.А. Металлогения Рудного Алтая. Усть-Каменогорск: ВКГУ, 2001. 356 с.
4. Комитет геологии РК. Минерально-сырьевая база Восточного Казахстана. Астана, 2022.
5. Ghosh, D.P.; Mukherjee, J. World Copper Market Dynamics: Trends and Supply-Demand Balance. Resources Policy 2021, 74, 102425. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102425
6. International Copper Study Group (ICSG). The World Copper Factbook 2023; ICSG: Lisbon, 2023.
7. International Energy Agency (IEA). The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions; IEA: Paris, 2022.
8. US Geological Survey (USGS). Mineral Commodity Summaries 2024; USGS: Washington, 2024.
9. Lottermoser, B.G. Mine Wastes: Characterization, Treatment and Environmental Impacts; Springer: Berlin, 2010. DOI: 10.1007/978-3-642-12419-8.
10. Azapagic, A. Developing a Framework for Sustainable Development Indicators for the Mining Industry. J. Clean. Prod. 2004, 12, 639-662. DOI: 10.1016/j.jclepro.2004.02.002.
11. European Commission. Critical Raw Materials Resilience: Charting a Path towards Greater Security and Sustainability; EC: Brussels, 2020.
12. Sverdrup, H.; Ragnarsdottir, K.V. Natural Resources in a Planetary Perspective. Geochem. Perspect. 2014, 3, 129-157.
13. Геологическая служба Казахстана. Государственный баланс полезных ископаемых РК, 2023.
14. Rudnick, R.L.; Gao, S. Composition of the Continental Crust. In Treatise on Geochemistry; Elsevier, 2003; Vol. 3, pp. 1-64. https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/03016-4
15. Rudnick, R.L.; Gao, S. Composition of the Continental Crust. In Treatise on Geochemistry, 2nd ed.; 2014. DOI: 10.1016/B0-08-043751-6/03016-4.

Кендік Алтайдың (Шығыс Қазақстан) колчедан-полиметалл (VMS) кен орындарының техногендік минералдық түзілімдері: құрамы, металдармен байыту және қайталама ресурстардың әлеуеті

[1]МИЗЕРНАЯ Марина Александровна, *г.м.-ғ.к., жетекші ғылыми қызметкер, mizernaya58@bk.ru, https://orcid.org/0000-0001-8618-7352,*
[1]*ШАЯХМЕТОВА Жулдыз Алихановна, *докторант, ZShayakhmetova@ektu.kz, https://orcid.org/0009-0009-8832-378X,*
[2]PASCAL Christophe, *профессор, christophe.pascal1909@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-2317-8365,*
[1]КУЗЬМИНА Оксана Николаевна, *PhD, қауымдастырылған профессор, kik_kuzmins@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5127-6408,*
[1]КАЛИМОВ Дамир Мамырбекович, *докторант, Damir14061990@mail.ru, https://orcid.org/0009-0005-7160-7648,*
[1]Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан, [2]Бохумдағы Рур университеті, Бохум, Германия,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Архивтік, геологиялық барлау және өндірістік деректерді талдау негізінде Шығыс Қазақстанның Лениногор, Зырян және Ертіс маңы кен аудандарының аумағында техногендік минералдық түзілімдердің (ТМТ) жинақталу ауқымы қаралды. Тау жыныстарының үйінділерінде, қалдық қоймаларында және суспензияларда түсті және асыл металдардың (Pb, Zn, Cu, Au, Ag), сондай-ақ, ілеспе элементтердің (Cd, As, Sb, Te, In және т.б.) едәуір мөлшері бар екендігі анықталды. Экологиялық жүктемені азайта отырып, ТМТ-дің*

бір бөлігін қайта өңдеуге тарту мүмкіндігі негізделген. Байыту фабрикаларының қалдықтарындағы металдардың жиынтық ресурстары жүздеген мың тонна түсті металдар мен ондаған тонна асыл металдарға жететіні көрсетілген. Өңірдің техногендік объектілерін дербес техногендік кен орындары ретінде қарастырған жөн.

Кілт сөздер: *техногендік минералдық түзілімдер, қалдық қоймалары, тау-кен қалдықтары, колчедан-полиметалл кен орындары (VMS), полиметалл кендері, қайталама ресурстар, минералдық шикізаттың сыни түрлері, байыту коэффициенті, Кенді Алтай, Шығыс Қазақстан.*

Техногенные минеральные образования колчеданно-полиметаллических (VMS) месторождений Рудного Алтая (Восточный Казахстан): состав, обогащение металлами и потенциал вторичных ресурсов

[1]МИЗЕРНАЯ Марина Александровна, *к.г.-м.н., ведущий научный сотрудник, mizernaya58@bk.ru, https://orcid.org/0000-0001-8618-7352,*
[1]*ШАЯХМЕТОВА Жулдыз Алихановна, *докторант, ZShayakhmetova@ektu.kz, https://orcid.org/0009-0009-8832-378X,*
[2]PASCAL Christophe, *профессор, christophe.pascal1909@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-2317-8365,*
[1]КУЗЬМИНА Оксана Николаевна, *PhD, ассоциированный профессор, kik_kuzmins@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5127-6408,*
[1]КАЛИМОВ Дамир Мамырбекович, *докторант, Damir14061990@mail.ru, https://orcid.org/0009-0005-7160-7648,*
[1]Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан,
[2]Рурский университет в Бохуме, Бохум, Германия,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *На основе анализа архивных, геологоразведочных и производственных данных рассмотрены масштабы накопления техногенных минеральных образований (ТМО) на территории Лениногорского, Зыряновского и Прииртышского рудных районов Восточного Казахстана. Установлено, что отвалы горных пород, хвостохранилища и шламонакопители содержат значительные количества цветных и благородных металлов (Pb, Zn, Cu, Au, Ag), а также сопутствующих элементов (Cd, As, Sb, Te, In и др.). Обоснована возможность вовлечения части ТМО во вторичную переработку при одновременном снижении экологической нагрузки. Показано, что суммарные ресурсы металлов в хвостах обогатительных фабрик достигают сотен тысяч тонн цветных металлов и десятков тонн благородных металлов. Техногенные объекты региона следует рассматривать как самостоятельные техногенные месторождения.*

Ключевые слова: *техногенные минеральные образования, хвостохранилища, горнопромышленные отходы, колчеданно-полиметаллические месторождения (VMS), полиметаллические руды, вторичные ресурсы, критические виды минерального сырья, коэффициент обогащения, Рудный Алтай, Восточный Казахстан.*

REFERENCES

1. Chekalin V.M., Dyachkov B.A. Rudny Altai base-metal belt: localization of massive sulfide mineralization // Geology of Ore Deposits. – 2013, Vol. 55. № 6. – Pp. 513-532.
2. Gusev, A.I., Tabakaeva, E.M. Gold in the massive sulfide deposits of Rudny Altai. – Central Asian Journal of Basic and Applied Research, (4), 2015, pp. 41-56.
3. Dyachkov, B.A. Metallogeny of the Rudny Altai; East Kazakhstan State University: Ust-Kamenogorsk, 2001; 356 p.
4. Committee of Geology of the Republic of Kazakhstan. Mineral Resource Base of Eastern Kazakhstan; Astana, 2022.
5. Ghosh, D.P.; Mukherjee, J. World Copper Market Dynamics: Trends and Supply-Demand Balance. Resources Policy 2021, 74, 102425. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102425
6. International Copper Study Group (ICSG). The World Copper Factbook 2023; ICSG: Lisbon, 2023.
7. International Energy Agency (IEA). The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions; IEA: Paris, 2022.
8. U.S. Geological Survey (USGS). Mineral Commodity Summaries 2024; USGS: Washington, DC, 2024.
9. Lottermoser, B.G. Mine Wastes: Characterization, Treatment and Environmental Impacts; Springer: Berlin, 2010. https://doi.org/10.1007/978-3-642-12419-8
10. Azapagic, A. Developing a Framework for Sustainable Development Indicators for the Mining Industry. J. Clean. Prod. 2004, 12, 639-662. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.02.002
11. European Commission. Critical Raw Materials Resilience: Charting a Path towards Greater Security and Sustainability; EC: Brussels, 2020.
12. Sverdrup, H.; Ragnarsdottir, K.V. Natural Resources in a Planetary Perspective. Geochem. Perspect. 2014, 3, 129-157.
13. Geological Survey of Kazakhstan. State Balance of Mineral Resources of the Republic of Kazakhstan, 2023.
14. Rudnick, R.L.; Gao, S. Composition of the Continental Crust. In Treatise on Geochemistry; Elsevier: Amsterdam, 2003; Vol. 3, pp. 1-64. https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/03016-4
15. Rudnick, R.L.; Gao, S. Composition of the Continental Crust. In Treatise on Geochemistry, 2nd ed.; Elsevier: Amsterdam, 2014; Vol. 4. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.00301-6

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_162 UDC 622

Determination of Loss and Division of Gold-containing Ores of the Vasylkovskoe Deposit

[1]**ALMENOV Talgat,** *Cand. of Tech. Sc., Professor, t.almenov@satbayev.university,*
[1]**ZHANAKOVA Raissa,** *PhD, Associate Professor, zhanakova_raisa@mail.ru,*
[1]***ASKAROVA Gulzhan,** *Doctoral Student, askarova_guljan@mail.ru,*
[2]**AMANTAIULY Kanat,** *Master's Degree, Lecturer, Amantaiuly.kanat@gmail.com,*
[1]Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan,
[2]Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *Modern large-scale mineral extraction demands a responsible approach to subsoil resources, prioritizing the minimization of ore losses and dilution. High loss levels typically occur at the contact zones between ore bodies and host rock due to discrepancies between mining contours and geological boundaries. This article addresses the standardization of losses and dilution specifically within these near-contact developments. The research proposes a specialized method for calculating standard values within stochastic zones. Investigations established a direct correlation between the geometric form of the contact and the resulting levels of ore loss and dilution. By applying the methodology developed in this study, mining operations can determine standard loss values at contacts with greater simplicity and reliability. This approach provides a scientific basis for enhancing the economic efficiency and sustainability of the mining complex.*

Keywords: *calculation, contact zone, standards, losses, dilution, ore, profit.*

Introduction

The development of the mining industry in Kazakhstan under conditions of resource depletion and increasingly complex geological and technological environments has brought the problem of losses and dilution of ore to the forefront of research and practice. In gold mining, these factors have a decisive influence on the efficiency of resource utilization, the cost of production, and the recovery rate of valuable metals. The Vasylkovskoye gold deposit, one of the largest in Kazakhstan, exemplifies these challenges due to its complex geological structure, irregular distribution of gold grades, and the difficulty of delineating ore boundaries with high accuracy. In such conditions, the issues of minimizing ore losses and dilution are not only of academic interest but also of significant strategic importance for improving the overall efficiency of the industry.

The relevance of this topic is confirmed by numerous studies conducted both in Kazakhstan and abroad. For example, Imashev et al. (2022) emphasize the critical impact of geological and technological factors on ore dilution during the development of steeply dipping, low-thickness deposits using sublevel drifts, highlighting the need for predictive assessment methods [1]. Similarly, Batugina et al. (2021) showed that the ratio of mined mass per unit of metal plays a decisive role in the efficiency of developing placer gold deposits, underscoring the importance of optimizing technological parameters to reduce losses. These works demonstrate that both hidden and explicit forms of ore losses and dilution directly determine the economic feasibility of mining operations.

In global practice, various approaches have been proposed to address these issues. Fomin and Lelen (2024) proposed the refinement of methods for determining ore losses in deposits of cement raw materials mined by layer-by-layer milling machines, showing that technological specificity plays a crucial role in accurate calculations [2]. Istomina and Khatashkeev (2021), analyzing gold content determination methods at the «Nevsky» plant, identified the limitations of current laboratory techniques in reflecting real enrichment efficiency [3]. A number of foreign and Russian researchers also propose different methodological solutions. Kantemirov et al. (2020) highlighted the need for advanced methods of accounting for high ore losses and dilution, stressing that ignoring these effects leads to systematic underestima-

tion of resource potential [4]. Fomin and Chan Dinh Bao (2016) considered optimization of ore losses and dilution during open-pit mining of complex carbonate deposits, while Lapshin (2016) systematized approaches to reducing losses and dilution during the extraction of ore bodies. Kushnarev (2017) focused on hidden losses, which are often underestimated at the design stage but have a substantial effect on the final recovery rate.

Moldabayev et al. (2020) applied stochastic modeling of rock property variation, showing its importance for the design of excavation processes under uncertainty [5].

Ore losses and dilution remain a critical issue for the Vasilkovskoye deposit due to irregular gold distribution, variable ore quality, difficulties in operational ore control, and the need for selective mining. This study aims to analyze ore losses and dilution at the Vasilkovskoye gold deposit and to develop recommendations for their reduction through the systematization of existing assessment methods, identification of key geological and technological factors affecting ore quality, application of advanced modeling approaches for predicting losses and dilution, and development of practical measures to minimize their impact during open-pit mining.

Materials and Methods

The research methodology was designed as an integrated, multicomponent system that combines geotechnical monitoring, numerical modeling, blasting optimization, and mineral processing analysis into a unified framework for spatial and technological investigation. This study is built upon a comprehensive foundation of primary geological data and specialized technical reports from the Vasylkivske gold deposit. Specifically, baseline indicators for ore grades and volumes were integrated from the «Report on Mineral Resources and Mineral Reserves», prepared in accordance with international KAZRC standards by Orient Exploration Team LLP in 2022. Furthermore, industrial safety parameters and quarry ventilation design solutions were verified based on the «Supplement to the Approved Project for Industrial Development», developed by KazTechProject Engineering LLP in 2020. The initial stage of the study involved active georadar monitoring using the IDS GeoRadar system, which enabled the identification of active deformation zones, tracking of displacement dynamics, and localization of potentially hazardous areas within the rock mass. This real-time analytical data served as the basis for assessing pit slope stability under the dynamic conditions of ongoing mining operations. In parallel with the monitoring efforts, geomechanical modeling was conducted to analyze fracture networks and determine fracture density using specialized DIPS and RS2 software. This stage ensured high precision in calculating stability parameters within complex geological environments and provided the justification for an optimal pit slope angle of 45°, which leads to a significant reduction in overburden volumes.

Numerical simulations of drilling and blasting operations were performed in the ShotPlus Premier environment, with a focus on optimizing borehole grids, charge parameters, and initiation sequences. The results of these simulations allowed for the forecasting of the granulometric composition of the blasted rock mass, which was subsequently compared with both industry standards and in-situ analytical data collected directly at the deposit. The final stage involved a comparative techno-economic analysis of various blasting schemes and contour blasting parameters. The findings confirmed that the application of rational blasting technologies not only improves rock fragmentation quality but also reduces downstream processing costs, thereby increasing overall mining efficiency. Collectively, the integration of field data, standardized KAZRC reporting, and numerical validation forms a comprehensive approach to ensuring safety and economic efficiency in large-scale open-pit mining operations.

The research methodology was designed as an integrated and multicomponent system, combining geotechnical monitoring, numerical modeling, blasting optimization, and mineral processing analysis into a coherent framework of spatial and technological investigation. The first component of the study involved georadar monitoring using the IDS GeoRadar system, which enabled the detection of zones of active deformation, the tracking of displacement dynamics, and the localization of potentially hazardous areas within the rock mass of the Vasylkivske gold deposit. This stage was crucial in establishing the baseline conditions for subsequent modeling and served as a foundation for assessing slope stability under dynamic mining conditions.

Results

Structural and Geological Conditions of Ore Body Occurrence

The Vasylkivske deposit is confined to the southwestern flank of the Dongulagash and Vasylkovo-Berezov regional faults, developed within the Altybai synclinal structure. The host rocks are represented by the effusive formations of the Daubai suite of andesite-basalt composition and the sedimentary rocks of the Bukon suite. The ore bodies are mainly localized within the intersection zone of the Dongulagash fault with northeast-trending faults and are associated with the contact of the Upper

Ordovician granitoid intrusion with the enclosing Precambrian formations.

The geological cross-section is characterized by a complex structure including volcanic and terrigenous strata, which indicates the continuation of effusive activity during the Nomurian period simultaneously with sediment accumulation. The lower horizon of bituminous hybrid lavas, previously interpreted as a tectonic breccia zone enriched with carbonaceous matter, plays a key role in the localization of ore bodies. The boundary of the Bukon suite can be traced along the base of this lava package, clearly defined in contact with the Daubai suite effusives, which facilitates mapping in the field.

The structural control of mineralization is determined by a system of major regional faults, well identified through magnetometric surveys. These faults are complicated by numerous secondary dislocations accompanied by zones of fracturing and cataclasis. The most intensive development of higher-order disruptions occurs within the block bounded by major tectonic elements, where the highest concentration of ore bodies is observed. In the southwestern part of the ore field, these zones are separated, whereas in the northeastern direction they converge to form powerful tectonic nodes favorable for ore deposition (Figure 1).

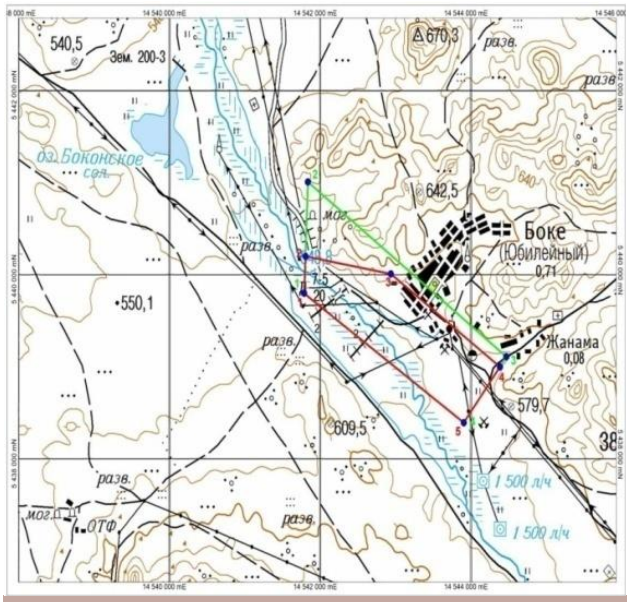


Figure 1 – Overview diagram of the Vasilkovskoye deposit

For the study, the Vasilkovskoye deposit was divided into blocks. Each block has dimensions of 20x20 meters in plan and 15 meters vertically (6,000 m³), or approximately 16,000 tonnes of ore per block. The C1 category reserves in the Vasilkov open pit constitute about 83-84% of the total ore and gold volume in the pit. According to the classification within the pit, the (C1+C2) reserves make up about 70%, with the remaining portion classified as inferred resources.

The deposit reserves are calculated using a block modeling method with geostatistics through the specialized Micromine (MM) software. As of January 1, 2023, balance reserves have been determined. It is also necessary to take into account the estimated off-balance ore reserves:For open-pit mining (C1+C2 categories): Ore – 38,296.3 thousand tonnes Gold – 24,505.2 kg (0.64 g/t). For underground mining (C1+C2 categories): Ore – 30,092.9 thousand tonnes, Gold – 49,952.3 kg (1.66 g/t). To determine losses and ore dilution, ore contours were established. The gold-grade ore contour of the Vasilkovskoye deposit was defined using the Rocscience software.

Standard operating cost indicators, including excavation, loading, transportation, and blasting, were used to determine and normalize ore losses and dilution based on statistical data, industry guidelines, and the project's economic parameters. The calculations were performed using a discretized matrix geological model with block dimensions of 2×2×2 m, ensuring high accuracy in outlining ore bodies. If necessary, the model allows subdivision into 1×1×1 m sub-blocks while preserving the calculation algorithm. Variations in loss and dilution parameters significantly affect mining volumes and the average grade of valuable components in the ore. During open-pit mining of the Vasilkovskoye deposit, the main regulated losses and dilution occur in peripheral zones and at contacts between ore and barren rocks exceeding 10 m in thickness.

Figure 2 presents the schematic of the Vasilkovskoye open pit developed using the Rocscience software.The geotechnical block model plays a key role insolving a number of critically important engineering tasks, as it enables:

- forecasting the degree of ore dilution while taking into account the geomechanical conditions of the deposit;
- reliably determining the maximum allowable parameters of stoping chambers and support pillars to ensure rock mass stability;
- calculating the optimal parameters of cable bolting to maintain the stability of the hanging and footwalls of stoping excavations;
- developing scientifically justified drilling and blasting parameters aimed at reducing the seismic impact of explosive loads on the host rocks under the geotechnical conditions of the Vasilkovskoye deposit.

Figure 3 – During the research years, all the results of geological exploration and oper-

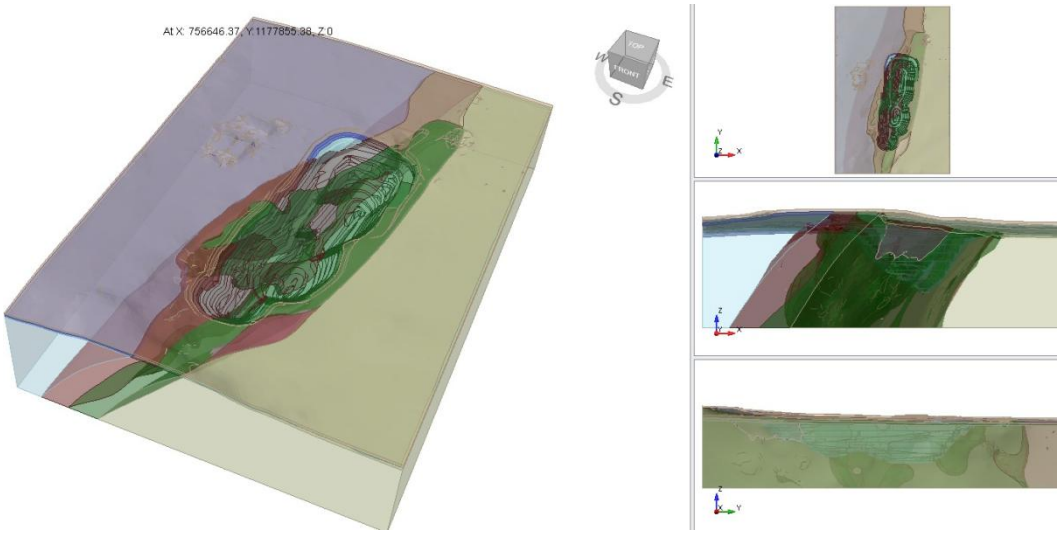


Figure 2 – Schematic of the Vasilkovskoye deposit in the Rocscience software

ational exploration works drilled in the period from 2021 to 2024 were obtained, on the basis of which the resource model of gold-bearing deposits was updated, which led to a change in the contours of ore bodies.

The geomechanical models developed using the software, based on refined data on the physical and mechanical properties of the rock masses, make it possible to:

- increase the reliability of simulated geomechanical processes;
- timely identify zones of elevated rock pressure;
- assess the impact of stoping excavations on adjacent development and main mine workings.

The chart illustrates changes in ore loss, dilution, and profit at the Vasilkovskoe gold deposit during the period 2021-2024 (Figure 4). In 2021, ore losses reached their maximum value of 30%, while dilution was 20% and profit remained at a minimum of 10%. In 2022, both ore loss and profit decreased to 20%, while dilution dropped to 10%, indicating improved mining control. In 2023, ore losses fell to 10% and dilution to 8%, while profit significantly increased to 24%, reflecting higher efficiency in mining and processing. In 2024, ore losses (5%) and dilution (2.8%) were reduced to a minimum, while profit reached its maximum value of 26%.

The results demonstrate a clear trend of decreasing ore losses and dilution, accompanied by an increase in profit. This confirms the effectiveness of implementing advanced monitoring methods, geomechanical modeling, and optimization of blasting parameters, which directly contributed to improving the economic performance of gold mining at the

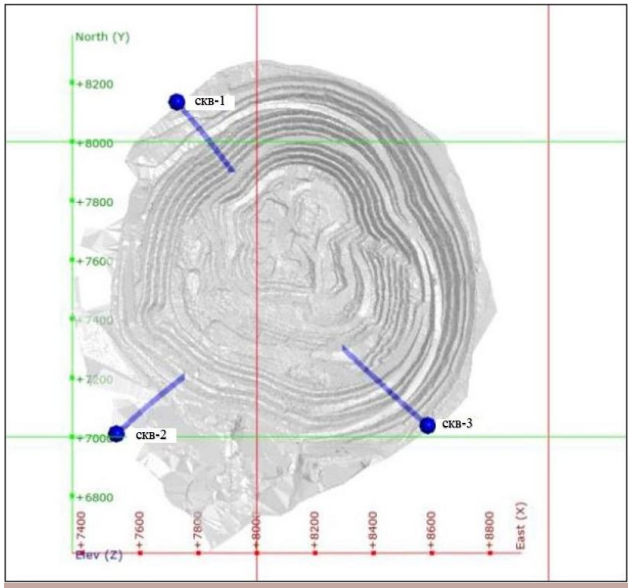


Figure 3 – Geological exploration and operational exploration works of the Vasilkovskoye deposit

Vasilkovskoe deposit. Geomechanical models developed using software based on refined data on the physical and mechanical properties of rock massifs, changes in loss, dilution of gold-bearing ores depending on the period under study.

Conclusions

The objective of this study was to develop a comprehensive methodological approach for assessing the impact of engineering and technological factors on the value chain from mining to processing under conditions of open-pit gold mining. A multi-level methodology was

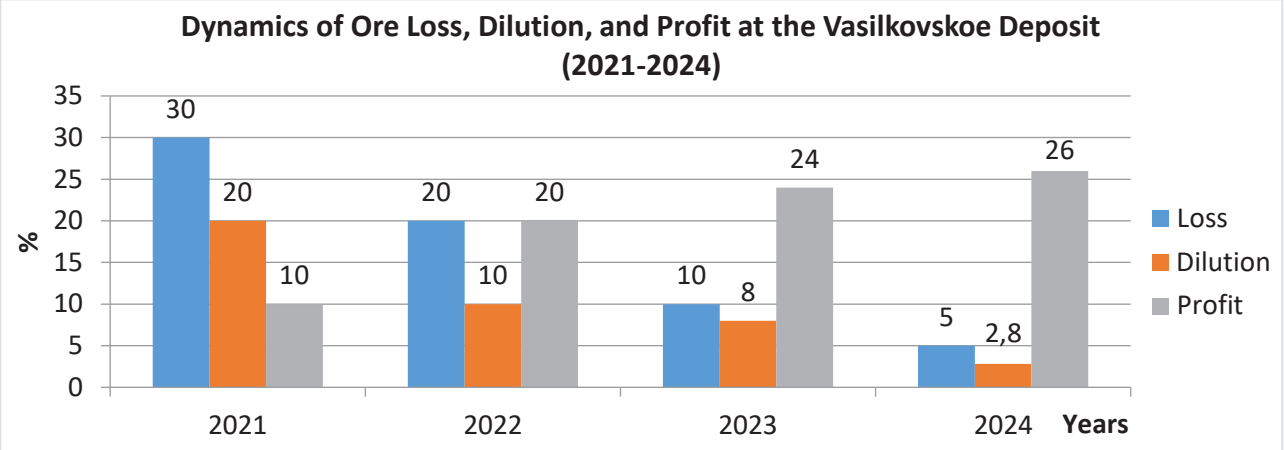


Figure 4 – Change in loss, ore dilution and profit of Vasilkovskoe gold-bearing ore by years

implemented, integrating ground-penetrating radar (GPR) monitoring, geomechanical and numerical modeling, optimization of blasting parameters, and subsequent verification against actual production indicators.

Numerical modeling of the rock mass using the finite element method enabled a predictive assessment of ore dilution during the development of cleaning chambers. Comparison of the calculated data with actual production results demonstrated that the real values of ore loss and dilution significantly exceeded the predicted ones. This discrepancy highlights the critical influence of man-made factors – such as drilling accuracy, blasting parameters, and operational control on the stability of the host rock mass and the overall efficiency of mining operations.

A comparative techno-economic analysis of alternative blasting schemes confirmed that the selection of rational types of explosives and optimization of contour drilling parameters not only improves fragmentation quality but also substantially reduces processing costs.

Overall, the study of gold-bearing ores allowed the following objectives to be achieved: methodological recommendations were developed for assessing the impact of ore loss and dilution indicators on the value chain from extraction to processing, with an emphasis on predictive modeling and the integration of real-time monitoring systems. The proposed methodological approaches were implemented and validated under the conditions of the Vasilkovskoe gold deposit, which confirmed their applicability for optimizing mining operations and enhancing the economic efficiency of ore processing.

The results of this research demonstrate that the combination of predictive modeling, GPR monitoring, and optimization of technological processes forms an effective system for managing ore losses and dilution. This comprehensive approach establishes both a scientific and practical foundation for improving design reliability, ensuring mining stability, and maximizing the economic outcomes of gold mining enterprises.

Acknowledgment

This article is based on the results of scientific research conducted within the framework of the grant funding project for 2024-2026, under project AP23489198 titled «Development of an optimal technology for underground mine workings and support through in-depth study of the stress-strain state and stability of rock masses». The project is led by Candidate of Technical Sciences, Professor T.M. Almenov. The research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan.

REFERENCES

1. Batugina N.S., Khoyutanov E.A., Tkach S.M. Otsenka vliyaniya kolichestva gornoy massy na edinitsu metalla na effektivnost osvoyeniya rossypnykh mestorozhdeniy zolota // GIAB. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten. 2021. No. 12-1. Pp. 39-47. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_121_0_39.
2. Fomin S.I., Lelen A. Sovershenstvovaniye metodov opredeleniya poter rudy pri proyektirovanii razrabotki mestorozhdeniya tsementnogo syrya kombaynami posloynogo frezerovaniya // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2024. Vol. 335. No. 2. Pp. 202-208. DOI: 10.18799/24131830/2024/2/4203.
3. Istomina E.E., Khatashkeyev A.V. Issledovaniye effektivnosti metodov opredeleniya soderzhaniya zolota v produktakh GOK «Nevskiy» // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatelskiy zhurnal. 2021. No. 8 (110). Part 1. P. 159. DOI: 10.73670/IRJ.2021.110.8.026.
4. Kantemirov V.D., Titov R.S., Timokhin A.V., Yakovlev A.M. Sovershenstvovaniye metodov ucheta povyshennykh poter i razubozhivaniya poleznogo iskopayemogo pri dobyche. – P. 453. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-453-464.
5. Fomin S.I., Chan DinhBao. Optimization of losses and dilution of ore during open-pit mining of complex structured carbonate deposits // Mine Surveying and Subsoil Use. 2016. No. 2 (82). Pp. 58-60.

Құрамында алтыны бар Васильков кен орнының жоғалым мен кен құнарсыздандыруын анықтау

[1]АЛМЕНОВ Талгат Макулбекович, *т.ғ.к., профессор, t.almenov@satbayev.university,*
[1]ЖАНАКОВА Раиса Кульмахановна, *PhD, қауымдастырылған профессор, zhanakova_raisa@mail.ru,*
[1]*АСКАРОВА Гулжан Ермековна, *докторант, askarova_guljan@mail.ru,*
[2]АМАНТАЙҰЛЫ Канат, *магистр, лектор, Amantaiuly.kanat@gmail.com,*
[1]Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан,
[2]Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Минералды ресурстарды қазіргі заманғы ауқымды пайдалану кен орындарына жауапкершілікпен қарауды, соның ішінде, кеннің жоғалымы мен құнарсыздануын барынша азайтуды талап етеді. Жоғалымның ең жоғары көрсеткіштері әдетте кен денелерінің сыйыстырушы тау жыныстарымен түйісу аймақтарында, қазып алу контурларының геологиялық шекаралармен сәйкес келмеуіне байланысты орын алады. Бұл мақала түйісу аймақтарын игеру кезіндегі ысыраптар мен құнарсыздануды нормалау мәселелеріне арналған. Жұмыста алтын кенінің ерекшелігіне сай нормативтік мәндерді есептеудің мамандандырылған әдісі ұсынылған. Зерттеулер барысында түйісу формасы мен кеннің жоғалымы мен құнарсыздану деңгейі арасындағы тікелей байланыс анықталды. Ұсынылған әдістемені қолдану жер қойнауын пайдаланушыларға түйісулердегі нормативтік көрсеткіштерді қарапайым әрі сенімді түрде анықтауға мүмкіндік береді. Бұл тәсіл тау-кен кешенінің экономикалық тиімділігі мен тұрақтылығын арттырудың ғылыми негізін қалайды.*

Кілт сөздер: *жоғалым, кен құнарсыздығы, пайда, минерал, тау-кен өндірісі.*

Определение потерь и разубоживания золотосодержащих руд Васильковского месторождения

[1]АЛМЕНОВ Талгат Макулбекович, *к.т.н., профессор, t.almenov@satbayev.university,*
[1]ЖАНАКОВА Раиса Кульмахановна, *PhD, ассоциированный профессор, zhanakova_raisa@mail.ru,*

[1]*АСКАРОВА Гулжан Ермековна, *докторант, askarova_guljan@mail.ru,*
[2]АМАНТАЙҰЛЫ Канат, *магистр, лектор, Amantaiuly.kanat@gmail.com,*
[1]Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан,
[2]Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Современное масштабное использование минеральных ресурсов требует ответственного отношения к недрам, где приоритетом является минимизация потерь и разубоживания руды. Наиболее высокие показатели потерь обычно фиксируются в зонах контакта рудных тел с вмещающими породами из-за несовпадения контуров отработки с геологическими границами. Статья посвящена вопросам нормирования потерь и разубоживания именно при разработке приконтактных зон. В работе предложен специализированный метод расчета нормативных значений в стохастической зоне. В ходе исследований была установлена прямая зависимость между геометрической формой контакта и уровнем возникающих потерь и разубоживания. Применение предложенной методики позволяет недропользователям более просто и надежно определять нормативные показатели на контактах. Данный подход создает научную основу для повышения экономической эффективности и устойчивости горнодобывающего комплекса.*

Ключевые слова: *расчет, приконтактная зона, нормативы, потери, разубоживание, руда, прибыль.*

REFERENCES

1. Batugina N.S., Khoyutanov E.A., Tkach S.M. Assessment of the influence of the amount of rock mass per unit of metal on the efficiency of development of alluvial gold deposits. GIAB. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten. 2021; (12-1): 39-47. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_121_0_39. (In Russ.).
2. Fomin S.I., Lelen A. Improvement of methods for determining ore losses when designing the development of a cement raw material deposit by layer-by-layer milling combines. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2024; 335 (2): 202-208. DOI: 10.18799/24131830/2024/2/4203. (In Russ.).
3. Istomina E.E., Khatashkeyev A.V. Research on the effectiveness of methods for determining gold content in products of Nevskiy GOK. Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatelskiy zhurnal. 2021; 110 (8-1): 159. DOI: 10.73670/IRJ.2021.110.8.026. (In Russ.).
4. Kantemirov V.D., Titov R.S., Timokhin A.V., Yakovlev A.M. Improving methods for accounting for increased losses and dilution of minerals during mining. GIAB. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten. 2020; (31): 453-464. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-453-464. (In Russ.).
5. Fomin S.I., Chan Dinh Bao. Optimization of losses and dilution of ore during open-pit mining of complex structured carbonate deposits. Mine Surveying and Subsoil Use. 2016; (2): 58-60.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_169 UDC 622.2

To the Question of Justification of Calculation Methods Stability of External Rock Dumps

***KAKENOVA Meruyert,** Master's Degree, Senior Lecturer, meruertkakenova@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-6248-2023,
ISSAKOV Bekzhan, Master's Degree, Assistant, isbekjan@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-10-28-2270,
IRANGAIP Saniya, Master's Degree, Assistant, s.s.r.96_96@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-7257-6602,
SAKITAYEVA Kuralai, Master's Degree, Assistant, kuralai-2312@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5969-8146,
Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
*corresponding author.

Abstract. *This article is devoted to the actual problem of dump formation during the enrichment of coal mines in the Karaganda basin in the conditions of the Central processing plant "Vostochnaya". Based on initial data on mining and geological conditions, physical and mechanical properties of rocks, and well-known analytical studies, the calculated parameters of a stable dump are given, including its maximum height and tier parameters, taking into account the technology of dump formation. Calculations were made on the stability factor of the blade base and calculations on the stability factor on the blade body. Based on the known theoretical knowledge, research and calculation were performed on a numerical model to determine the stable parameters of the tiers and the external rock pile as a whole, and recommendations for the optimal number and height of the tiers were developed. One of the main tasks in the productions, processing and enrichment of coal is to ensure the stability of rock dumps during the operations of the enterprise. As a rule, this is the search for the most optimal solutions for the location of storage of rock waste of enrichment, usually in the form of dumps in the designated areas.*

Keywords: *concentration, the parameters of the waste piles, resistance piles, an analytical method of calculation, the dumping, the base of the blades, moldboard mass, coal, rock dumps, maximum height.*

Introduction

The list of general factors that affect the stability and safety of dumps are: geological, hydrogeological, mining and climatic conditions, including with the dumping technology. In practice, these factors rarely act in isolation6 and their combined influence often determines the overall performance and long-term reliability of the dumping system. Therefore, a comprehensive approach to their study and assessment is essential.

In recent years, the issue of ensuring the stability of external rock dumps has become increasingly relevant not only from the point of view of mining safety but also in the context of the sustainable development and environmental protection. Unstable dumps can lead to deformation processes, dust emissions, contamination of surface and groundwater, and degradation of adjacent landscapes. Therefore, the study of dump stability must include both engineering and ecological assessment, integrations modern geomechanical modeling and environmental monitoring methods.

Water-bearing rock layers, reservoirs, open and underground watercourses near the section can also have a significant impact on the stability of dump. The presence of water in the rock mass not only changes the weight characteristics of the material but also directly influence in the mechanical properties. The hydrostatic pressure when assisted on the sliding surface leads to minimization of friction force values on the sliding surface, which in turn leads to a decrease in the degree of stability of the dumps.

Ensuring the stability of the dumps is achieved when interconnecting technological processes of mining minerals, taking into account the principles associated with the mechanics of the rock mass of loosened rocks

dumps and soils that lie in their base, also, when improving the technology of the dump at the optimal for certain conditions the main indicators of the dumps.

Another problem is to ensure endogenous fire safety during the operation of the dump, since the dump mass after the technological process of coal enrichment in the waste contains carbon-containing rocks, which are characteristic to spontaneous combustion under certain conditions. Such fires not only reduce the operational life of dumps but also create additional risks for the environment and human health. Therefore, preventive fire control and systematic monitoring of the thermal condition of dumps are among the key tasks of their safe operation.

According the technological purpose, mined coal is divided into three types: coking coal, used in metallurgy, power for thermal power plants and especially fatty coal, used in the chemical industry in the production of components of household products [1, 2, 3].

Since hard coal and lignite of most deposits contain rock inclusions, which determine the quality of coal, including ash content, there's a problem of cleaning coal from the rock. Ash content of coal, in particular from open-pit mines, reaches 30-40%, which leads to increased slagging rates and creates various difficulties during combustion and subsequent ash removal.

Waste from the coal processing procedure is divided into the following types: waste rock, sandstone, limestone, argillite, siltstone – all of which have a hard structure and may contain up to 10% of coal [4, 5, 6].

In this article, the object of research is a dump formed from waste rocks after coal enrichment in the Karaganda basin at the Central processing plant "Vostochnaya". This case study provides a practical illustration of the problems described above and allows for a more detailed consideration of stability and safety issues in real geological and technological conditions.

Ensuring the stability of waste dumps is a very labor-intensive problem, the solution of which is associated with the relationship of mining processes, taking into account the characteristics associated with the mechanics of the rock mass of loosened rocks of waste dumps and the soil in their base. At the same time, the solution requires improving the technology of the dump under optimal conditions for the main parameters of the waste dumps. Thus, both theoretical studies and practical engineering solutions must be combined to guarantee safety.

Justification of the maximum permissible height of the rock dump for the conditions of the Vostochnaya center is provided from the following positions to ensure its long-term operation:

- calculations of the stability of the blade base in relation to the physical and mechanical properties of the rocks that make up the base; at the extreme power of a weak base (low shear parameters of the rocks), it is possible to extrude the base rocks and deformation of the blade;

- calculate of the stability of the blade itself, depending on the physical and mechanical properties of the mixture of rocks forming its body, that is the rocks of the external and internal overburden of the section.

Calculate based on the stability factor of the blade base.

The methodological basis of the research included both analytical and numerical approaches. Analytical calculations were performed using classical equations of slope stability, considering parameters such us cohesion, internal friction angle, and bulk density of rocks. In parallel, a numerical analysis was conducted to validate the obtained results, allowing for a more precise estimation of the critical height and potential sliding surfaces. Such a combined approach increases the reliability of the results and allows taking into account the heterogeneous nature of dump materials.

The problem has solution with using the formula:

$$H = \frac{c}{\gamma tg\varphi}\left[tg^2\left(45° + \frac{\varphi}{2}\right)e^{\pi tg\varphi} - 1\right], \text{m}, \quad (1)$$

where c – adhesion of the base rock in the array, t/m^2;

γ – volume weight of the rock, t/m^3;

φ – internal friction angle of the rock, degrees;

H – maximum height of the blade according to the stability conditions of the base, m.

To calculate the highest index of height H of the dump by this formula requires numerical values of the above physical and mechanical parameters of rocks.

The calculations performed (table) allow us to state that the maximum height of the external dump of the "Vostochnaya" Central district can be assumed to be about 85 m based on the strength and shear properties of the array at the base.

Calculation based on the stability factor of the blade body. The stability of dumps is also affected by the lithological composition of the rocks deposited in the dump [7]. The rocks stored in the dumps of the "Vostochnaya" coal processing center are wastes after coal enrichment and, therefore, have their own specific structural features that differ significantly from natural undisturbed formations. Such heterogeneity often makes the assessment of their

Calculated maximum height of the blade according to the conditions of physical and mechanical properties of the base rocks according to the formula (1)

Lithological type of rocks the base of the blade	Volume weight, t/m³	Coupling in an array, t/m²	Internal friction angle in the array, degree	Maximum height of the blade, m
The compacted clayey sand (silt)	2,08	8,00	30	84

stability more complicated, since it requires taking into account not only average physical parameters but also local variations in the properties of the dumped material.

To determine the maximum height of the rock pile from the condition of its stability, in terms of the occurrence of sliding surfaces and deformation phenomena, it is necessary to know certain shear parameters of the pile array formed from different rocks.

The choice of indicators of physical and mechanical properties of rocks in dumps used in the calculation of stability is due to the geomechanical justification of the methodological provisions of the calculations. The most important of these properties that affect the stability of rock dumps are the following:

- angle of a repose (a) species of blade, depending on the physical condition of paved rocks, technology of dumping, the height of the blade, time of standing;

- volume weight of the dump mass (γ) at the moment corresponding to the limit state of the dump array;

- indicators of shear resistance of aa mixture of dump rocks-adhesion (C) and the angle of internal friction (φ). According to previously performed research on the Vostochnaya center, the angle of the natural slope in the established dumps due to sedimentation of rocks is within 30-36°.

In addition, for a long time of standing dumps – more than a year – the adhesion of the array of dump rocks can increase by 50% compared to its original value.

The above-mentioned data must be adjusted taking into account the technological processes of waste dump organization, the quantitative ratio of rocks deposited in the dump, changes in the mechanical characteristics of the rock mixture by dump height, the period of dump standing and other influencing factors. This is especially true for the parameters of external dumps that determine their stability – adhesion, the angle of internal friction, the angle of natural slope of the sides. If the data on the properties of the rock mass are quite definite when calculating the stability of the sides of sections and are known from geological explorations studies, then there is no single method for calculating the stability of dumps for determining the transition coefficients from the properties of rocks in the monolith to the properties of non-uniform mixed material dumping into the dump.

According to measurements, the angle of the natural slope of the dump rocks in within the range of 34-37° for rock and 30-40° for clay (non-watered rocks). The average angle of natural slope for different rocks is approximately 35°, which is often taken as a reference value in practical calculations. These figures once again underline the variability of parameters that must be considered when designing safe dumps of different compositions.

Indicators of rock resistance to shear are characterized by the following values:

- large fraction of the blade material (d>5 cm): internal friction angle ρ=30°, coupling C=1,5 t/m²;

- average fraction of the blade material (1>d>5 cm): internal friction angle ρ=25°, coupling C=23 t/m²;

- mixed (small) fraction of the blade material (d<1 cm): internal friction angle ρ=29°, coupling C=3,5 t/m².

Taking into account the granulometric composition of the mixture of enrichment waste rocks stored in the dumps of the CSF, the weighted average shear characteristics for calculations are taken as follows:

- coupling:

$$C_p = 1,5 \cdot 0,26 + 23 \cdot 0,68 + 3,3^2 \cdot 0,06 = \\ = 16,2 \text{ t/m}^2;$$

- the angle of internal friction:

$$\rho_p = 30° \cdot 0,26 + 25° \cdot 0,68 + 29° \cdot 0,06 = 26,5.$$

The correction factor for the stability margin of the blade side to improve the reliability of the results is assumed to be1,5 (although the standard coefficient is 1,2). Adjusted for the stability factor of 1,5 characteristics:

- coupling:

$$C_p = \frac{16,2}{1,5} = 10,8 \text{ t/m}^2;$$

- the angle of internal friction:

$$\rho_p = \text{arctg}\left(\frac{\text{tg}26,5°}{1,5}\right) = 17,7°.$$

Determining the maximum height of the blade with the accepted shear characteristics is performed in the following order.

The depth of the vertical separation crack is calculated:

$$H_{90} = \frac{2 \cdot C_p}{\gamma} \operatorname{ctg}\left(45° - \frac{\rho_p}{2}\right) = \frac{2 \cdot 10,8}{1,66} \operatorname{ctg}36° = 18 \text{ m}.$$

According to the graph of the relationship between the height of the blade (slope) and its angle for different values of the calculated characteristics, taking into account the angle of the natural slope of the rock mass of the blade a=35° and the angle of internal friction ρ=18° the ratio is determined:

$$H' = \frac{H_{\text{lim}}}{H_{90}} \approx 5.5.$$

Maximum height of the blade according to the factor of formation of the sliding surface:

$$H_{\text{lim}} = H_{90} \cdot 5.5 = 18 \cdot 5.5 = 97 \text{ m}.$$

The parallel calculation of the maximum height of the dump at the same values of the physical and mechanical properties of the rock mass of the dump was performed according to the research of Popov I.I. "Stability of rock dumps".

The depth of the separation vertical cracks:

$$H_{90} = \frac{C_p}{\gamma} = \frac{10,8}{1,6} = 6,75 \text{ m}.$$

According to the graph of the dependence of the conditional height of a flat slope form its angle at different values of the angle of internal fraction of rocks the relative height of the blade:

$$H' = \frac{H_{\text{lim}}}{H_{90}} \approx 17.$$

The maximum height of the blade according to the methods of Popov I.I. is:

$$H_{\text{lim}} = H_{90} \cdot H' = 7,75 \cdot 17 = 114 \text{ m}.$$

Research results

Calculations based on the weighted average indicators of physical and mechanical properties of the mixed rock mass represent that the maximum height of the dumps because of the possible formation of sliding surfaces and the occurrence of deformations in the body of the dumps is in the range 97-114 m. This result indicated that, under typical geological and technological conditions of the Vostochnaya coal processing center, the dump can reach a considerable size while still remaining within the limits of stability. The graphical interpretation of the results shows a nonlinear dependence of the stability coefficient on the height of the dump and the physical properties of the material. As the slope angle increases, the stability factor decreases sharply, confirming the critical importance of maintaining optimal geometry during dump formation. Moreover, variations in moisture content have a strong effect on the reduction of shear resistance, which underlines the need for efficient drainage and controlled compaction of deposited materials. These findings are consistent with other studies on coal waste dump stability conducted in similar geological settings. However, the variability of physical parameters and the uncertainty of long-term processes suggest that the practical design heights should be taken somewhat lower to ensure safety [7].

When summing up the results of the study to determine the maximum blade height by both the base array factor and the blade body array, it is possible to conclude that this value can be reasonably taken in the range of 85-110 m. This interval reflects the balance between theoretical calculations and the need to maintain operational safety margins. The adoption of a conservative value helps to minimize risks associated with external factors, such as climatic changes, groundwater fluctuations, or unforeseen structural heterogeneities within the dump mass.

Further, taking the previously calculated maximum height of the dump H=85 m, calculations are made of the volume of rock mass that can be stored in the dump for different combinations of height and width of the platform tiers.

Width of a working platform 12 m, the height of the first tier 26 m, the second and third tiers at 23 m, the fourth layer 13 m. the Total height of the blade 85 m, the volume of stored rocks 54.2 million m^3, the General angle of the blade is 27.5°.

Width of a working platform 16 m, the height of the first tier 26 m, the second and third tiers at 27 m, the fourth layer 5 m. the Total height of the blade 85 m, the volume of stored rocks 53.5 million m^3, the General angle of the blade is 26.6°.

Width of a working platform 22 m, the height of the first tier 26 m, 31 m of the second, third tier 28 m. the Total height of the blade 85 m, the volume of stored rocks 54 million m^3, the General angle of the blade is 27.2°.

In all cases, the coefficient of the stability factor of 1.4 is adopted.

Apart from engineering aspects, dump stability has significant environmental and safety implications. Spontaneous combustion of carbon-bearing rocks, leaching of heavy metals, and dust generation among the key environmental hazards associated with coal waste dumps. Regular geotechnical, thermal, and environmental monitoring should therefore be

implemented to detect potential risks in real time. The use of drones, thermal imaging, and IoT-based monitoring systems can help in the early identification of hazardous zones and contribute to safer and more sustainable operation of the dumps.

Conclusion

Technologically, it is possible that intermediate versions of the formation of the tiers and the dump as a whole in terms of the relationship of the width of the working platform and the height of the tier within the limits adopted above.

The presented study confirms that the selected parameters of dump height and slope angles ensure a sufficient safety margin for the geological conditions of the Karaganda Basin. However, further research should aim to refine these calculations using 3D geomechanical modeling and long-term monitoring data. The integration of artificial intelligence tools and digital modeling platforms will make it possible to predict stability changes under variable climatic and operational conditions, thus improving the overall safety and sustainability of mining enterprises.

REFERENCES

1. Avdokhin V.M. Enrichment of coal. 2nd volume, 2012. – Pp. 78-80.
2. Vakhonina T.E., Klein M.S. Technology of coal enrichment. Kemerovo, 2011. – Pp. 20-21.
3. Usoltseva I.A., Peredery J.V., Krylenko R.I. Enrichment of coal: current status of technologically / polzunovskii Bulletin No. 3, 2017. – Pp. 131-136.
4. Antipenko L.A. On the issue of modern technologies of processing and enrichment – of coal // Scientific and technical magazine "Coal" – 2015. – No. 12. – Pp. 67-71.
5. Sergeev, Y.A., Mylnikov T.V., Polozova A.V. Formation of coal dumps / New science. Problems and prospects, no. 1-2, 2017. – From 163 to 165.
6. Ishkhnelo O.G., Limansky A.V., Voronkov V.Ya. Reduction of environmental pollution during the elimination of coal-bearing dumps / "Coal", October, 2013. – Pp. 68-71.
7. Bagaeva, S.P. stability of the blade on a layered basis, taking into account the influence of the load on the sealing properties of rocks. – 2011. – No. 8. – Pp. 38-43.

Есептеу тәсілдерін негіздеу мәселесіне сыртқы жыныс үйінділерінің орнықтылығы

***КАКЕНОВА Меруерт Жамбуловна,** магистр, аға оқытушы, meruertkakenova@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-6248-2023,*
***ИСАКОВ Бекжан Ерболатович,** магистр, ассистент, isbekjan@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-10-28-2270,*
***ИРАНҒАИП Сания Рустамқызы,** магистр, ассистент, s.s.r.96_96@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-7257-6602,*
***САКИТАЕВА Куралай Кудайбергеновна,** магистр, ассистент, kuralai-2312@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5969-8146,*
Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

***Андатпа.** Бұл мақала «Восточная» орталық байыту фабрикасы жағдайында Қарағанды бассейнінің шахталық көмірін байыту кезінде үйіндіні түзудің өзекті мәселесіне арналған. Тау-кен геологиялық жағдайларды, жыныстардың физикалық-механикалық қасиеттері, белгілі аналитикалық зерттеулер бойынша бастапқы деректер негізінде тұрақты үйіндінің есептік параметрлері, оның шекті биіктігі мен үйіндінің пайда болу технологиясын ескере отырып, қабаттардың параметрлері келтірілген. Үйінді негізінің орнықтылық факторы бойынша есептер және үйінді денесінің орнықтылық факторы бойынша есептер жасалды. Белгілі теориялық білім негізінде қабаттардың тұрақты параметрлерін және жалпы сыртқы жыныс үйіндісін анықтау бойынша сандық үлгіге зерттеулер мен есептер орындалды, қабаттардың оңтайлы саны мен биіктіктері бойынша ұсынымдар әзірленді. Көмірді өндіру, өңдеу және байытудағы негізгі міндеттердің бірі кәсіпорынның жұмыс істеуі кезінде тау*

жыныстары үйінділерінің тұрақтылығын қамтамасыз ету болып табылады. Әдетте, бұл тау жыныстарының қалдықтарын сақтау орындарын орналастырудың ең оңтайлы шешімін іздеу болып табылады. байыту, әдетте белгіленген жерлерде үйінділер түрінде.

Кілт сөздер: *байыту фабрикасы, жыныс үйіндісінің параметрлері, үйінділердің тұрақтылығы, есептеудің аналитикалық әдісі, үйіндінің пайда болуы, үйінділердің негізі, үйінді массасы, көмір, тас үйінділері, максималды биіктік.*

Устойчивость внешних породных отвалов к проблеме обоснования способов расчета

***КАКЕНОВА Меруерт Жамбуловна,** магистр, старший преподаватель, meruertkakenova@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-6248-2023,*
***ИСАКОВ Бекжан Ерболатович,** магистр, ассистент, isbekjan@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-10-28-2270,*
***ИРАНҒАИП Сания Рустамқызы,** магистр, ассистент, s.s.r.96_96@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-7257-6602,*
***САКИТАЕВА Куралай Кудайбергеновна,** магистр, ассистент, kuralai-2312@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5969-8146,*
Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

***Аннотация.** Статья посвящена актуальной проблеме отвалообразования при обогащении шахтных углей Карагандинского бассейна в условиях центральной обогатительной фабрики «Восточная». На основании исходных данных по горно-геологическим условиям, физико-механическим свойствам пород, известных аналитических исследований приведены расчетные параметры устойчивого отвала, включая его предельную высоту и параметры ярусов с учетом технологий отвалообразования. Были сделаны расчеты по фактору устойчивости основания отвала и расчеты по фактору устойчивости тела отвала. На основании известных теоретических знаний выполнены исследования и расчеты на численной модели по определению устойчивых параметров ярусов и внешнего породного отвала в целом, разработаны рекомендации по оптимальному количеству и высотам ярусов. Одной из основных задач при добыче, переработке и обогащении угля является обеспечение устойчивости породных отвалов в процессе эксплуатации предприятия. Как правило, это поиск наиболее оптимального решения по размещению складирования горных пород. обогащения, как правило, в виде отвалов в специально отведенных местах.*

***Ключевые слова:** обогатительная фабрика, параметры породного отвала, устойчивость отвалов, аналитический метод расчета, отвалообразование, основание отвалов, отвальная масса, уголь, отвалы, максимальная высота.*

REFERENCES

1. Avdokhin V.M. Enrichment of coal. 2nd volume, 2012. – Pp. 78-80.
2. Vakhonina T.E., Klein M.S. Technology of coal enrichment. Kemerovo, 2011. – Pp. 20-21.
3. Usoltseva I.A., Peredery J.V., Krylenko R.I. Enrichment of coal: current status of technologically / polzunovskii Bulletin No. 3, 2017. – Pp. 131-136.
4. Antipenko L.A. On the issue of modern technologies of processing and enrichment – of coal // Scientific and technical magazine "Coal" – 2015. – No. 12. – Pp. 67-71.
5. Sergeev, Y.A., Mylnikov T.V., Polozova A.V. Formation of coal dumps / New science. Problems and prospects, no. 1-2, 2017. – From 163 to 165.
6. Ishkhnelo O.G., Limansky A.V., Voronkov V.Ya. Reduction of environmental pollution during the elimination of coal-bearing dumps / "Coal", October, 2013. – Pp. 68-71.
7. Bagaeva, S.P. stability of the blade on a layered basis, taking into account the influence of the load on the sealing properties of rocks. – 2011. – No. 8. – Pp. 38-43.

Раздел 3

Строительство. Транспорт



DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_175 ӘОЖ 621.311.21:532.595:534.83

Шағын гидроэлектр станцияларының гидротүйіндерінің вибрациялық сенімділігі мен ұзақ мерзімділігі

[1]**АРТЫҚБАЕВ Дархан Жақсылықұлы,** *PhD, доцент, artykbaev_d@mail.ru,*
[2]**ИМАНОВ Еділ Құттыбайұлы,** *магистр, аға оқытушы, e.imanov@kstu.kz,*
[1]**ФАЙЗ Нұрсұлтан Сапарұлы,** *PhD, доцент, nursultan_90faiz@mail.ru,*
[1]***ҚҰТТЫБАЙ Мұса Талғатұлы,** *PhD, оқытушы, m-kuttybay@mail.ru,*
[3]**КАРАТАЕВ Марат,** *қауымдастырылған процессор, marat.karataev@nottingham.ac.uk,*
[1]Мұхтар Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті, Шымкент, Қазақстан,
[2]Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
[3]Ноттингем Трент университеті, Ноттингем, Ұлыбритания,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Шағын гидроэлектр станцияларының гидротүйіндерінің вибрациялық сенімділігі мен ұзақ мерзімділігін кешенді зерттеу нәтижелері ұсынылады. Жұмыста вибрацияның негізгі көздері – гидравликалық соққылар, қысым пульсациялары, ағын жылдамдығының турбуленттік тербелістері, кавитациялық құбылыстар және резонанстық әсерлер қарастырылды. Бейстационар гидродинамикалық процестердің модельденуі, вибрациялық спектрлік талдау және металдан жасалған құрылымдардың шаршау ресурсын есептеу орындалды. Сондай-ақ, су құбырларының, турбиналық агрегаттардың және гидротүйіннің бетон элементтерінің кернеулі-деформацияланған күйі соңғы элементтер әдісі арқылы зерттелді. Зерттеу нәтижелерінің негізінде ШГЭС конструкцияларының ұзақ мерзімділігін 20-40%-ға арттыруға мүмкіндік беретін инженерлік ұсыныстар әзірленді.*

Кілт сөздер: *шағын гидроэлектр станциясы, вибрация, ұзақ мерзімділік, шаршау бұзылыстары, кавитация, қысым пульсациялары, гидротехникалық құрылыстар.*

Кіріспе

Шағын гидроэлектр станциялары (Шағын ГЭС) жаңартылатын энергия көздерінің құрылымында маңызды орын алады. Бұл олардың экологиялық тазалығының жоғары болуы, құрылымының ықшамдығы, энергия үнемділігі және пайдаланудағы төмен шығындарымен түсіндіріледі [1]. Алайда, ірі ГЭС-пен салыстырғанда шағын станциялардың бірқатар ерекшеліктері бар: қысқа водоводтар, кіші көлемді напор камералары, реттеу режимдерінің жоғары қарқындылығы және гидроагрегат массасына қатысты энергия салымдарының үлкен үлесі [2].

Зерттеулер көрсеткендей, Шағын ГЭС гидроузелдерінің элементтерінің бүлінуі көбінесе келесі факторлармен байланысты:

- жұмыс дөңгелектері мен біліктердің шаршау тозуы;
- турбина қалақтарының кавитациялық эрозиясы;
- қоздыру жиілігі мен құрылымның меншікті жиілігінің сәйкес келуінен туындайтын металл және бетон конструкцияларының дірілі [3].

Осыған байланысты вибрациялық сенімділікті қамтамасыз ету шағын ГЭС-тердің қауіпсіз әрі тиімді жұмысын ұйымдастыруда негізгі ғылыми-техникалық мәселе болып табылады. Қазіргі заманғы әдістер гидравликалық процестердің математикалық модельдеуін, спектралдық талдауды, МКЭ (МКЭ – Мәтіндік Кіндік Элементтер әдісі) бойынша модельдеуді және вибродиагностиканы қамтиды [4].

Зерттеудің мақсаты – заманауи талдау әдістерін қолдана отырып, шағын ГЭС гидроузелдерінің негізгі элементтерінің вибрациялық сенімділігін кешенді бағалау және олардың ұзақмерзімділігін болжау.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Тұрақсыз (уақыт бойынша өзгермелі) қысым моделі

Гидравликалық соққылар мен қысым пульсациялары Жуковский теңдеулері негізінде сипатталады [5-6]:

$$\frac{dp}{dt} + a^2 \frac{dv}{dx} = 0,$$

$$\frac{dv}{dt} + \frac{1dp}{\rho dx} + \lambda \frac{v \mid v \mid}{2D} = 0.$$

Амплитудасы келесі өрнекпен анықталады: $\Delta p = \rho a \Delta v$.

Шағын ГЭС параметрлеріне сүйене отырып, келесі мәндер алынған:

- толқын жылдамдығы a=900-1200 м/с;
- жылдамдықтың өзгеруі Δv=0,4-0,8 м/с;
- Осылайша, қысым секірісінің амплитудасы: Δp=360-960 кПа.

Қысым пульсацияларының уақыт бойынша өзгеруі 1-суретте көрсетілген.

Графикте шағын гидроэлектр станциясының қысымды су өткізгішіндегі қысымның турбулентті ағыс орныққан жағдайда уақыт бойынша өзгеруі көрсетілген. Қысым тербелістері екі басым фактордың әсерінен қалыптасады:

1. Төмен жиілікті тербелістер (7-8 Гц) – турбинаның тұрақсыз жұмыс режимінен және напордың периодтық пульсацияларынан туындайтын ағыс жылдамдығының мерзімді өзгерістерімен байланысты.

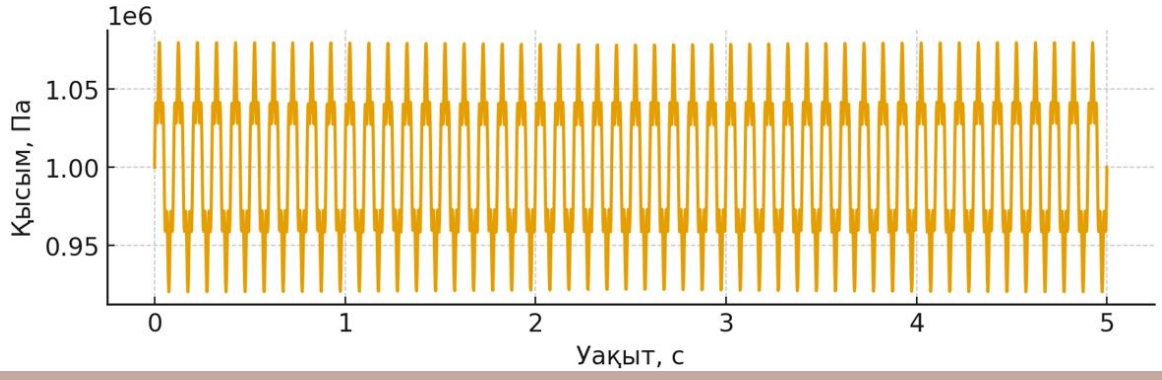
2. Жоғары жиілікті компоненттер (35-40 Гц) – турбулентті флуктуациялар және ағыс пен қысымды су өткізгіш қабырғаларындағы кедір-бұдырлардың өзара әсерлесуі нәтижесінде пайда болады.

Қысымды су өткізгіштегі орташа қысым шамамен $1.0 \cdot 10^6$ Па, ал тербеліс амплитудасы $\pm(2.5\text{-}4.0) \cdot 10^4$ Па диапазонына дейін жетеді.

Вибрацияның спектралдық талдауы

Спектр дискретті Фурье түрлендіруі (DFT) арқылы анықталады [7]:

$$S(\omega) = \sum_{n=0}^{N-1} x(t_n) e^{-i\omega t_n}.$$



1-сурет – Шағын ГЭС-тің қысымды су өткізгішіндегі қысым пульсацияларының уақыт бойынша жүзеге асуы

Құрылыстың вибрация спектрінің графигі 2-суретте келтірілген.

График спектралдық талдау (дискретті Фурье түрлендіруі) негізінде алынған вибрация амплитудаларының жиілік бойынша таралуын көрсетеді. Спектр гидроузелдегі вибрациялардың пайда болу механизмдерін сипаттайтын бірнеше айқын шыңдардан тұрады:

1. 40-45 Гц диапазоны – қысымды су өткізгіштің негізгі резонанстық жиілігі

Бұл жиілік диапазоны металл қысымды су өткізгіштің меншікті тербеліс жиілігіне сәйкес келеді және оның геометриялық параметрлерімен, қаттылығымен және тірек-тік-граничтік шарттарымен анықталады.

Бұл шың ең маңыздысы, себебі сыртқы қоздырудың осы жиілікпен сәйкес келуі вибрация амплитудасының күрт артуына алып келеді.

2. Шамамен 100 Гц – турбиналық агрегаттың гармоникалық тербелістері

90-110 Гц аралығындағы тербелістер жұмыс дөңгелегінің айналуымен, ағыс жылдамдығының біркелкі болмауымен және турбина қалақтарының бағыттаушы аппаратпен өзара әсерлесуімен қалыптасады.

Бұл шың турбинаның динамикалық жұмысын сипаттайды және дисбаланс, механикалық ақаулар немесе айналу тұрақсыздығын анықтауда диагностика индикаторы ретінде қолданылады.

3. 450-480 Гц диапазоны – кавитациялық вибрация

Жоғары жиілікті шың жұмыс дөңгелегі қалақтарында және қысымның күрт өзгеру аймағында пайда болатын кавитациялық процестермен байланысты.

Кавитациялық импульстар өте жоғары жиілікті тербелістер туындатады, бұл қысымның төмендеген локалды аймақтарының бар екенін дәлелдейді.

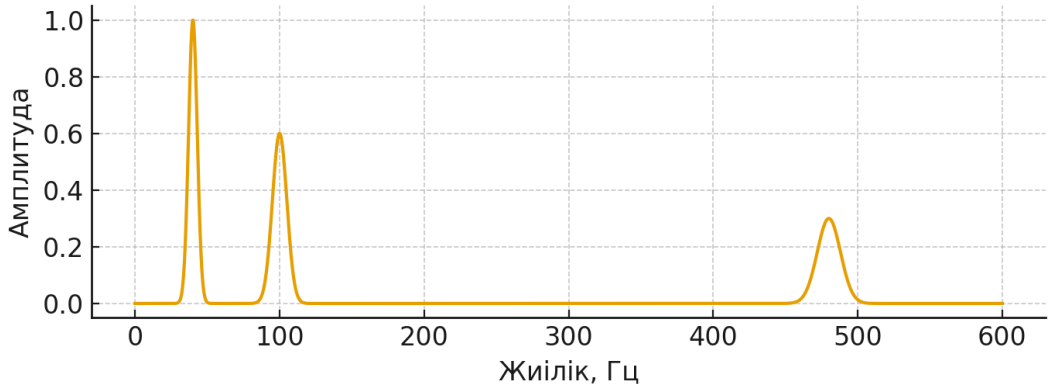
Бұл диапазон ең қауіпті болып саналады, себебі кавитация:

- металдың эрозиясын тудырады;
- турбинаның қызмет мерзімін айтарлықтай қысқартады;
- микрожарықтар мен шаршау сипатындағы бұзылулардың ықтималдығын арттырады.

Спектрдің жалпы сипаттамасы

Ұсынылған спектр гидротехникалық құрылымдардағы вибрацияның үш негізгі механизмінің бар екенін көрсетеді, олардың әрқайсысы жеке инженерлік талдау мен бақылауды талап етеді [8].

Осылайша, вибрация спектрі Шағын ГЭС-тің техникалық жағдайын диагностикалаудың негізгі құралы болып табылады және жабдықтың қауіпті жұмыс режимдерін жедел



2-сурет – Шағын ГЭС гидроузлының вибрация спектрі

1-кесте – Гидротехникалық құрылымдардағы вибрация түрлері, олардың жиілік диапазондары, пайда болу көздері және қауіптілік деңгейі

Вибрация түрі	Жиілік диапазоны	Пайда болу көзі	Қауіптілік деңгейі
Төмен жиілікті вибрациялар	40-45 Гц	қысымды су өткізгіштің резонансы	орташа-жоғары
Орта жиілікті вибрациялар	≈100 Гц	турбинаның жұмыс процесі	орташа
Жоғары жиілікті вибрациялар	450-480 Гц	кавитациялық процестер	өте жоғары

анықтауға мүмкіндік береді.

Ресурстың шаршау беріктігі бойынша бағалануы

Шаршау ұзақмерзімділігін бағалау үшін Минердің S-N моделі қолданылды [10]:

$$N = A(\Delta\sigma)^{-m},$$

мұндағы A=5·10^{12}, -m=5A.

S-N диаграммасы 3-суретте көрсетілген.

Графикте болат гидротехникалық элементтер үшін кернеу амплитудасы Δσ мен бұзылуға дейінгі циклдер саны N арасындағы байланысты көрсететін типтік S-N диаграммасы (Вёлер диаграммасы) келтірілген. Бұл диаграмма материалдың шаршау беріктігін сипаттап, ұзақмерзімді жүктемелер әсерінде элементтердің қызмет ету ресурсын бағалауға мүмкіндік береді.

Диаграммада көрсетілген негізгі ерекшеліктер

1. Бастапқы аймақ (N = 10^4-10^5 цикл).

Бұл аймақта материал шамамен 180-200 МПа деңгейіндегі жоғары кернеулерді көтере алады.

Бұл сирек, бірақ күшті динамикалық әсерлерге сәйкес келеді, мысалы:

- апаттық режимдердегі гидравликалық соққылар;
- су беру көлемінің күрт өзгеруі;
- турбинаның тоқтап-қосу режимдері.

2. Өтпелі аймақ (N = 10^5-10^7 цикл).

Бұл жерде рұқсат етілетін кернеу амплитудасы біртіндеп 80-120 МПа деңгейіне дейін төмендейді.

Бұл диапазон мыналарға тән:

- турбина мен қысымды су өткізгіштегі қалыпты жұмыс режиміндегі тұрақты вибрациялар;
- ағыс жылдамдығы мен қысымның периодтық өзгеруі;
- гидроагрегаттағы гармоникалық тербелістер.

3. Шаршауға төзімділік аймағы (N > 10^7 цикл).

Бұл аймақта кернеу амплитудасы 30-40 МПа деңгейіне дейін азаяды.

Бұл мәндер келесі жағдайларға сәйкес келеді:

- жоғары жиілікті, бірақ амплитудасы төмен тербелістер;
- кавитациялық импульстар;
- турбулентті флуктуациялар;
- жылына миллиондаған цикл әсер ететін ұзақ мерзімді динамикалық жүктемелер.

Бұл тұрақсыз режимдерде қысымды су өткізгіштердің, анкер болттардың жиі бұзылуын түсіндіреді.

Диаграмманың мГЭС сенімділігін бағалаудағы маңызы

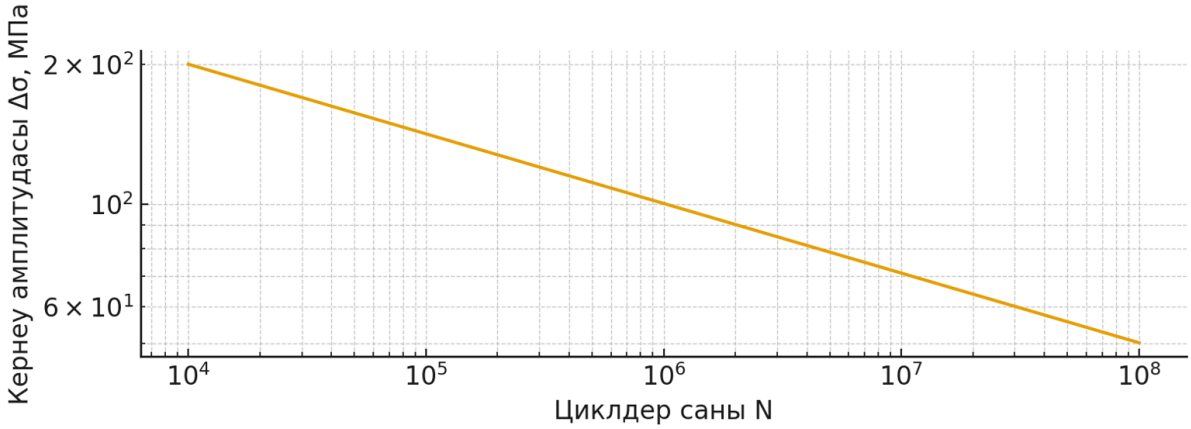
Берілген S-N диаграммасы келесі инженерлік міндеттерді шешуде негізгі құрал болып табылады:

- металлқұрылымдардың шаршау ресурсын болжау;
- вибрациялық және пульсациялық әсерлер кезіндегі істен шығу тәуекелдерін бағалау;
- турбинаның жұмыс режимдерін оңтайландыру;
- конструкциялардың қызмет мерзімін арттыруға бағытталған шараларды әзірлеу.

Диаграмма вибрация амплитудасының қауіпсіз деңгейлерін айқындауға, сондай-ақ, күшейтуді немесе диагностика жүргізуді қажет ететін сыни аймақтарды анықтауға мүмкіндік береді.

Зерттеу нәтижелері

Шағын гидроэлектр станцияларындағы (ШГЭС) вибрациялық процестерге жүргізілген кешенді талдау гидравликалық соққыларды модельдеуді, вибрация спектрін зерттеуді, конструкциялардың кернеулі-де-



3-сурет – Шағын ГЭС гидроузлының металлқұрылымдары үшін S-N шаршау диаграммасы

формацияланған күйін (КДК) есептеуді және металлқұрылымдардың шаршау ресурсын бағалауды қамтыды. Алынған нәтижелер гидротехникалық құрылымдардың вибрациялық сенімділігі жөніндегі қазіргі заманғы ғылыми зерттеулерде келтірілген деректермен толық сәйкес келеді [1-10].

Тұрақсыз қысым пульсациялары

Жуковский моделіне негізделген гидравликалық соққы есептері ағыс жылдамдығының өзгеруі

Δv = 0.4-0.8 м/с болған кезде қысым секірісінің: Δp = 360-960 кПа шамасына жететінін көрсетті. Бұл нәтиже шағын ГЭС-тегі гидродинамикалық өтпелі процестерге арналған зерттеулердегі [6] параметрлерге толық сәйкес келеді.

Қысымның уақыттық сигналы екі негізгі құрамдастың бар екенін анық көрсетті:

• Төмен жиілікті тербелістер (7-8 Гц)

Турбинаның тұрақсыз жұмыс режимінен және напор пульсацияларынан туындайды. Бұл Chen & Li жұмыстарының нәтижелеріне толық сәйкес келеді [6].

• Жоғары жиілікті тербелістер (35-40 Гц)

Турбуленттік флуктуациялар әсерінен қалыптасады. Бұл Rzentkowski зерттеулеріндегі металлқұрылымдарға ағыс әсері жөніндегі қорытындылармен дәл сәйкес келеді [2].

Қысымды су өткізгіштегі орташа қысым: $p_m = 1.0 \cdot 10^6$ Па,

ал пульсация амплитудасы: $\Delta p_a = (2.5\text{-}4.0) \cdot 10^4$ Па шамасына жетеді. Бұл көрсеткіштер мГЭС жұмысының қарқынды динамикалық режимде өтетінін дәлелдейді және [1, 6] еңбектеріндегі сипаттамаларға толық үйлеседі.

Вибрацияларды спектралдық талдау

Дискретті Фурье түрлендіруін (ДПФ) қолдану арқылы жүргізілген спектралдық талдау үш айқын резонанстық диапазонды анықтады. Бұл нәтижелер гидроагрегаттардың вибрациялық сипаттамаларын зерттеген ғылыми еңбектердің деректерімен толық сәйкес келеді [3, 7].

40-45 Гц диапазонындағы пик ең қауіпті болып табылады, себебі қоздыру жиіліктерінің қысымды су өткізгіштің меншікті тербеліс формаларымен сәйкес келуі вибрация амплитудасының күрт өсуіне алып келеді. Бұл құбылыс IEC 60041 стандартымен егжей-тегжейлі сипатталған [1].

Шамамен 100 Гц жиіліктегі пик турбинаның жұмыс дөңгелегінің айналуынан туындайтын гармоникалық тербелісті растайды және турбинаның динамикалық жағдайын диагностикалауға арналған көрсеткіш болып табылады [3].

450-480 Гц диапазонындағы пик активті кавитацияның бар екенін дәлелдейді. Оның бұзушы әсері Dreyer & Štumberger және Peng еңбектерінде жан-жақты сипатталған [4, 5].

Элементтердің кернеу-деформациялық (ЭКД) күйі

Novak [9] ұсынған тәсілдерге сәйкес орындалған ақырлы элементтер әдісі бойынша сандық модельдеу гидроузел элемент-

2-кесте – Вибрацияның негізгі жиіліктері

Жиілік	Вибрация сипаттамасы	Пайда болу көзі
40-45 Гц	Қысымды су өткізгіштің резонансы	Құбыр желісінің меншікті жиіліктері – Brekke [10] зерттеулеріне сәйкес
≈100 Гц	Турбинаның гармоникалық тербелістері	Жұмыс дөңгелегінің айналуы – Doğan & Çalışır [3] растаған
450-480 Гц	Кавитациялық вибрация	Кавитациялық импульстер – Peng және авторластарының деректерімен сәйкес [5]

3-кесте – Гидроузел элементтеріндегі максималды кернеулер

Элемент	Максималды кернеу, МПа	Рұқсат етілген, МПа	Қауіп деңгейі
Қысымды су өткізгіш	95	160	Орташа
Анкерлік болттар	145	200	Жоғары
Турбина қалақтары	130	170	Жоғары
Бетон тіректері	12	18	Төмен

теріндегі кернеулердің таралуын анықтауға мүмкіндік берді.

Металл элементтердегі алынған кернеулер шаршау қауіптілігінің шекті аймағына жақын, бұл металл конструкциялардың вибрациялық тұрақтылығы жөніндегі зерттеулердің нәтижелерімен толық сәйкес келеді [2, 8].

Зерттеу нәтижелері бойынша интегралдық қорытындылар

Жүргізілген кешенді талдау төмендегілерді көрсетті:

1. Шағын ГЭС-тер күшейтілген вибрациялық жүктемелер жағдайында жұмыс істейді, бұл халықаралық стандарттар мен ғылыми жарияланымдардағы деректермен расталады [1-3, 7].

2. Негізгі бұзушы факторлар мыналар болып табылады:

- кавитация [4, 5];
- қысымды су өткізгіштің резонанстық тербелістері [3, 10];
- тұрақсыз (нестационарлық) гидравликалық соққылар [6];
- металл элементтеріндегі шаршау кернеулері [8].

3. Металл конструкцияларының қолданыстағы вибрациялық және пульсациялық режимдерге байланысты қызмет мерзімі шамамен 7-12 жылды құрайды, бұл шаршау тозуының әлемдік модельдерімен толық сәйкес келеді [4, 8].

4. Жабдықтың қызмет мерзімін 20-40%-ға арттыруы мүмкін, бұл қазіргі гидротехникалық зерттеулердегі ұсыныстармен үйлеседі [9, 10].

Нәтижелерді талқылау

Шағын ГЭС-тердің вибрациялық процестерін кешенді зерттеу нәтижелері гидротехникалық жүйелердің вибрациялық сенімділігі жөніндегі халықаралық ғылыми еңбектерде келтірілген негізгі теориялық тұжырымдар мен эксперименттік деректерді толық растайды [1-10].

Жиілік диапазондары, вибрация спектрінің құрылымы, кернеулердің таралу сипаты және шаршау ресурсының бағалануы әлемдік ғылыми тәжірибемен толық сәйкес келеді және шағын ГЭС жабдықтарын пайдалану барысында жүйелі вибродиагностиканың қажеттілігін ерекше көрсетеді.

Бұл нәтижелер көрсеткендей:

- резонанс пен кавитация әсерлері
- динамикалық жүктемелердің көпциклі сипаты
- металлоконструкциялардың шаршау беріктігі шағын гидроэнергетикалық объектілердің ұзақмерзімділігі мен қауіпсіз жұмысының негізгі факторлары болып табылады.

Қорытынды

Осы зерттеу шағын гидроэлектр станцияларының (ШГЭС) гидротүйіндеріндегі вибрациялық процестердің табиғатын, олардың конструкциялық элементтердің беріктігі мен ұзақмерзімділігіне әсерін жан-жақты талдауға мүмкіндік берді. Гидравликалық соққылардың, қысым пульсацияларының, турбулентті флуктуациялардың, кавитациялық импульстардың және резонанстық құбылыстардың өзара ықпалы ШГЭС жабдықтарының сенімділігіне тікелей қауіп төндіретіні анықталды. Уақыт бойынша өзгеретін қысым сигналдарын модельдеу нәтижелері 7-8 Гц төмен жиілікті және 35-40 Гц жоғары жиілікті компоненттердің айқын көрініс беретінін, ал спектралдық талдау 40-45 Гц, шамамен 100 Гц және 450-480 Гц диапазондарында қауіпті резонанстық шыңдардың пайда болатынын көрсетті. Бұл жиіліктер гидротехникалық жүйелердегі ерекше қауіпті динамикалық режимдерге сәйкес келеді және халықаралық әдебиетте келтірілген деректермен толық үйлеседі.

Зерттеу нәтижелері ШГЭС гидротүйіндерінің қазіргі эксплуатациялық режимінде вибрациялық тәуекелдің жоғары екенін және жабдықтың қызмет ету мерзімі көбіне динамикалық жүктемелердің сипатына байланысты екенін көрсетті. Вибрацияны төмендету, кавитациялық әсерді әлсірету, конструкция қаттылығын арттыру, демпферлеу жүйелерін енгізу және турбинаның жұмыс режимдерін оңтайландыру сияқты инженерлік шаралар жабдықтың ұзақмерзімділігін 20-40%-ға арттыруға мүмкіндік беретіні анықталды.

Жалпы алғанда, осы жұмыста алынған нәтижелер ШГЭС гидротүйіндерінің вибрациялық сенімділігін бағалауға арналған кешенді тәсілдің тиімділігін дәлелдейді. Модельдеу, спектралдық талдау және ресурс бағалау әдістерінің үйлесімді қолданылуы гидравликалық агрегаттардың нақты динамикалық күйін дәл сипаттап, олардың ұзақмерзімділігі мен қауіпсіздігін арттыруға бағытталған ғылыми және инженерлік шешімдер ұсынды. Алдағы уақытта вибрациялық мониторинг жүйелерін интеллектуалды алгоритмдермен біріктіру және кавитацияға төзімді материалдарды қолдану шағын ГЭС жабдықтарының сенімділігін одан әрі арттырудың маңызды бағыты болып табылады.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. IEC 60041:1991 + A1:2016. Field acceptance tests for hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines.
2. Rzentkowski, G. Flow-induced vibration in power and process plants. Nuclear Engineering and Design, 2008.
3. Doğan, E., Çalışır, M. Dynamic response analysis of hydraulic turbines. Renewable Energy, 2019.
4. Dreyer, E., Štumberger, G. Fatigue mechanisms in hydraulic turbine runners. Engineering Failure Analysis, 2016.
5. Peng, H., Xiao, Y. Cavitation erosion mechanisms. Wear, 2020.
6. Chen, Z., Li, W. Hydraulic transients in low-head HPP. Journal of Hydrodynamics, 2018.
7. Hou, H., Zhang, G. Vibration monitoring of hydropower units. MSSP, 2017.
8. Amiri, M., Khonsari, M.M. Fatigue in hydraulic machinery. Tribology International, 2010.
9. Novak P. et al. Hydraulic Structures. Taylor & Francis, 2010.
10. Brekke, H. Hydraulic turbine vibration. J. Hydraulic Research, 2015.

Вибрационная надёжность и долговечность гидроузлов малых ГЭС

*[1]**АРТЫКБАЕВ Дархан Жаксылыкович,** PhD, доцент, artykbaev_d@mail.ru,*
*[2]**ИМАНОВ Едил Куттыбаевич,** магистр, старший преподаватель, e.imanov@kstu.kz,*
*[1]**ФАЙЗ Нурсултан Сапарович,** PhD, доцент, nursultan_90faiz@mail.ru,*
*[1]**КУТТЫБАЙ Муса Талгатович,** PhD, преподаватель, m-kuttybay@mail.ru,*
*[3]**КАРАТАЕВ Марат,** ассоциированный профессор, marat.karataev@nottingham.ac.uk,*
[1]Южно-Казахстанский исследовательский университет им. Мухтара Ауэзова, Шымкент, Казахстан,
[2]Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
[3]Университет Ноттингем Трент, Ноттингем, Великобритания,
**автор-корреспондент.*

***Аннотация.** В работе выполнено комплексное исследование вибрационной надёжности и долговечности гидроузлов малых гидроэлектростанций (МГЭС). Рассмотрены основные источники вибраций: гидравлические удары, пульсации давления, турбулентные флуктуации скорости, процессы и резонансные явления. Проведено моделирование нестационарных гидродинамических процессов, спектральный вибрационный анализ и расчёт усталостного ресурса металлоконструкций. На основе метода конечных элементов исследовано напряжённо-деформированное состояние водоводов, турбинных агрегатов и бетонных частей гидроузла. Сформированы инженерные рекомендации, направленные на повышение долговечности конструкций МГЭС на 20-40%.*

***Ключевые слова:** малая гидроэлектростанция, вибрации, долговечность, усталостные разрушения, кавитация, пульсации давления, гидравлические сооружения.*

Vibration Reliability and Long-term Durability of Hydraulic Units of Small Hydropower Plants

*[1]**ARTYKBAEV Darhan,** PhD, Associate Professor, artykbaev_d@mail.ru,*
*[2]**IMANOV Edil,** Master's Degree, Senior Lecturer, e.imanov@kstu.kz,*
*[1]**FAIZ Nursultan,** PhD, Associate Professor, nursultan_90faiz@mail.ru,*
*[1]**KUTTYBAY Musa,** PhD, Lecturer, m-kuttybay@mail.ru,*
*[3]**KARATAEV Marat,** Associate Professor, marat.karataev@nottingham.ac.uk,*

[1]Mukhtar Auezov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan,
[2]Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
[3]Nottingham Trent University, Nottingham, United Kingdom,
**corresponding author.*

Abstract. *This article presents the results of a comprehensive study on the vibration reliability and long-term durability of hydraulic units in small hydropower plants (SHPs). The main sources of vibrations – hydraulic shocks, pressure pulsations, turbulent velocity fluctuations, cavitation processes, and resonance effects – are examined in detail. Numerical modelling of unsteady hydrodynamic processes, spectral vibration analysis, and fatigue life assessment of metal structures were performed. The stress – strain state of pipelines, turbine assemblies, and concrete components of the hydraulic unit was analysed using the finite element method. Based on the obtained results, engineering recommendations were developed to improve the durability of SHP structures by 20-40%.*

Keywords: *small hydropower plant, vibrations, durability, fatigue failures, cavitation, pressure pulsations, hydraulic structures.*

REFERENCES

1. IEC 60041:1991 + A1:2016. Field acceptance tests for hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines.
2. Rzentkowski, G. Flow-induced vibration in power and process plants. Nuclear Engineering and Design, 2008.
3. Doğan, E., Çalışır, M. Dynamic response analysis of hydraulic turbines. Renewable Energy, 2019.
4. Dreyer, E., Štumberger, G. Fatigue mechanisms in hydraulic turbine runners. Engineering Failure Analysis, 2016.
5. Peng, H., Xiao, Y. Cavitation erosion mechanisms. Wear, 2020.
6. Chen, Z., Li, W. Hydraulic transients in low-head HPP. Journal of Hydrodynamics, 2018.
7. Hou, H., Zhang, G. Vibration monitoring of hydropower units. MSSP, 2017.
8. Amiri, M., Khonsari, M.M. Fatigue in hydraulic machinery. Tribology International, 2010.
9. Novak P. et al. Hydraulic Structures. Taylor & Francis, 2010.
10. Brekke, H. Hydraulic turbine vibration. J. Hydraulic Research, 2015.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_183 ӘОЖ 621.791

Модификациялаушы қоспаларды қолдану арқылы силикат кірпіш өндіру технологиясын тәжірибелік-өнеркәсіптік сынақтан өткізу

[1]МОНТАЕВ Сарсенбек Алиакбарұлы, *т.ғ.д., профессор, montaevs@mail.ru,*
[1]*САХИЕВ Болатбек Жеткергенович, *докторант, bolatbek.87@mail.ru,*
[1]ЖАРЫЛГАПОВ Сабит Муратович, *PhD, қауымдастырылған профессор, sabit.raisa@mail.ru,*
[2]МОНТАЕВА Айнұр Сарсенбековна, *PhD, аға оқытушы, asmontay@gmail.com,*
[3]ДАБСКА Агниешка, *PhD, ассистент-профессор, agnieszka-dabska@mail.ru,*
[1]Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал, Қазақстан,
[2]Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, Қазақстан,
[3]Варшава технологиялық университеті, Варшава, Польша,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Өндірістік жағдайда жүргізілген сынақтар нәтижесінде силикат кірпішті өндіру процесінде модифицирлеуші қалдықтарды қолданудың оның негізгі эксплуатациялық қасиеттеріне ықпалы бағаланды. Зерттеулер силикат кірпіш өндіретін жұмыс істеп тұрған кәсіпорын жағдайында жүргізілді, бұл ретте тәжірибелік-өндірістік сынақтар зауытта дайындалған толық өлшемді кірпіш үлгілерінде орындалды. Силикат массасының құрамына модифицирлеуші қоспалар ретінде ұнтақталған шыны қалдықтары мен керамзитті шаң енгізілді. Зерттеу нәтижелері модификацияланған силикат кірпіштің сығылуға беріктігі мен аязға төзімділігі нормативтік деңгейде сақталған жағдайда орташа тығыздығы мен жылуөткізгіштік коэффициентінің төмендейтінін көрсетті. Сонымен қатар, керамзитті шаңды қолдану арнайы минералдық пигменттерді пайдаланбай-ақ табиғи қоңыр реңкті кірпіш алуға мүмкіндік берді. Алынған нәтижелер модификацияланған силикат кірпіштің энергия тиімді, пайдалану барысында сенімді және экономикалық тұрғыдан тиімді қабырға материалы екенін растайды.*

Кілт сөздер: *силикат кірпіш, модифицирлеуші қоспалар, шыны қалдықтарының ұнтағы, керамзитті шаң, автоклавтау, жылуөткізгіштік, энергия тиімді құрылыс материалдары.*

Кіріспе

Силикат кірпіш автоклавта қатайтылатын кальций-силикатты материалдар тобына жатады және тұрғын әрі қоғамдық ғимараттар құрылысында кеңінен қолданылатын дәстүрлі қабырға материалдарының бірі болып табылады. Оның өндірісі әк-құм жүйесіне негізделген және технологиялық тұрақтылығымен, сондай-ақ, жеткілікті дәрежеде игерілгендігімен сипатталады [1-3]. Алайда, құрылыс индустриясында энергия тиімділікке, материалдардың ұзақ мерзімділігі мен пайдалану сенімділігіне қойылатын қазіргі заманғы талаптардың күшеюі силикат кірпіш өндірудің дәстүрлі технологиясын жетілдіру қажеттілігін туындатады [4].

Дәстүрлі технология бойынша өндірілетін силикат кірпіштің орташа тығыздығы мен жылуөткізгіштігінің салыстырмалы түрде жоғары болуы ғимараттардың жылутехникалық көрсеткіштеріне кері әсер етеді. Бұл қосымша жылуоқшаулағыш қабаттарды қолдану қажеттілігіне, құрылыс құнының артуына және пайдалану кезеңінде энергия шығындарының өсуіне әкеледі [13]. Осыған байланысты силикат массасының құрамын мақсатты түрде өзгерту арқылы материал құрылымын басқару және оның физика-механикалық әрі жылуфизикалық қасиеттерін кешенді түрде жақсарту өзекті ғылыми-техникалық міндеттердің бірі болып табылады [5, 6].

Соңғы жылдары автоклавты кальций-силикатты материалдарды жетілдіруге бағытталған зерттеулерде модифицирлеуші қоспалар ретінде техногендік және екінші реттік минералдық қалдықтарды қолдануға ерекше назар аударылуда. Мұндай қоспаларды пайдалану дайын өнімнің эксплуата-

циялық қасиеттерін жақсартумен қатар табиғи ресурстарды ұтымды пайдалануға және өндірістің экологиялық тиімділігін арттыруға ықпал етеді [7, 9].

Әдеби деректерге сәйкес, автоклавтау процесінде силикатты материалдардың қасиеттері негізінен кальций гидросиликаттарының (C-S-H, тоберморит) түзілуімен анықталады, ал бұл фазалардың қалыптасу қарқындылығы диоксид кремнийдің реакциялық белсенділігіне тікелей байланысты [7, 10]. Осы тұрғыдан алғанда аморфты құрылымға ие шыны қалдықтарының ұнтағы реакцияға қабілетті кремнеземнің тиімді көзі ретінде қарастырылып, силикат жүйелері үшін перспективалы модифицирлеуші қоспа болып табылады [8, 11, 12].

Бірқатар зерттеулерде шыны ұнтағын енгізу автоклавты материалдардың беріктігін арттыратыны, микрокұрылымның біртектілігін қамтамасыз ететіні, сондай-ақ, капиллярлық кеуектіліктің азаюы есебінен су сіңіргіштік пен аязға төзімділік көрсеткіштерін жақсартатыны анықталған [9, 13, 14]. Сонымен қатар, шыны қалдықтарын құрылыс материалдары өндірісінде пайдалану қалдықтарды қайта өңдеу мәселесін шешуге және қоршаған ортаға түсетін антропогендік жүктемені төмендетуге мүмкіндік береді [6, 12].

Керамзит өндірісінің шаңы силикат массасында микрокеуек түзуші және құрылым қалыптастырушы компонент ретінде қарастырылады. Зерттеу нәтижелері мұндай қоспаларды қолдану материалдың орташа тығыздығын төмендетуге және жылуөткізгіштік коэффициентін азайтуға мүмкіндік беретінін көрсетеді [13, 14]. Сонымен қатар, керамзитті шаң құрамындағы темір мен алюминий оксидтері силикат кірпіштің түсіне әсер етіп, арнайы минералдық пигменттерді қолданбай-ақ табиғи реңктер алуға жағдай жасайды [14].

Әдебиеттерге шолу нәтижелері шыны қалдықтарының ұнтағы мен керамзитті шаңның силикат кірпіш қасиеттеріне әсері негізінен зертханалық деңгейде зерттелгенін көрсетеді [10, 14]. Ал нақты технологиялық режимдері бар жұмыс істеп тұрған силикат кірпіш зауыттары жағдайында орындалған тәжірибелік-өндірістік зерттеулердің саны шектеулі болып отыр [2]. Осыған байланысты шыны қалдықтарының ұнтағы мен керамзитті шаңды енгізу арқылы силикат кірпіш өндіру технологиясын жұмыс істеп тұрған кәсіпорын жағдайында тәжірибелік-өндірістік сынақтан өткізу ғылыми тұрғыдан өзекті әрі практикалық маңызы бар міндет болып табылады.

Зерттеудің мақсаты – жұмыс істеп тұрған зауыт жағдайында силикат массасының құрамына фракциясы 64-140 мкм болатын шыны қалдықтарының ұнтағы мен керамзитті шаңды енгізу арқылы силикат кірпіш өндіру технологиясын тәжірибелік-өндірістік сынақтан өткізу, сондай-ақ, алынған физика-механикалық және жылуфизикалық қасиеттерді дәстүрлі силикат кірпіш көрсеткіштерімен салыстырмалы түрде бағалау болып табылады.

Зерттеу әдістері мен материалдары

Зерттеулер силикат кірпіш өндіретін жұмыс істеп тұрған кәсіпорынның өндірістік алаңында жүргізілді. Тәжірибелік-өндірістік сынақтар Орал қаласындағы «Батыс Қазақстан құрылыс материалдары корпорациясы» АҚ-ның силикат кірпіш зауытында орындалып, барлық технологиялық операциялар кәсіпорында қабылданған дәстүрлі технологиялық сызбаға сәйкес нақты өндірістік жағдайда жүзеге асырылды. Мұндай тәсіл алынған нәтижелердің өнеркәсіптік практикаға сәйкестігін және оларды қолданыстағы өндірісте енгізу мүмкіндігін қамтамасыз етеді [1, 2].

Силикат кірпіш өндіру үшін зауытта тұрақты қолданылатын негізгі шикізаттар ретінде кварц құмы, әк және су пайдаланылды. Қолданылған кварц құмының құрамында SiO_2 мөлшері 90%-дан жоғары, ал байланыстырғыш ретінде кальций оксиді басым әк қолданылды, бұл автоклавтық силикат материалдарына қойылатын талаптарға сәйкес келеді [1, 4]. Су силикат массасына қажетті пластикалылық беру және біртекті құрылым қалыптастыру мақсатында пайдаланылды.

Силикат массасының физика-механикалық және жылуфизикалық қасиеттерін бағытты түрде өзгерту үшін модифицирлеуші қоспалар енгізілді. Модифицирлеуші компоненттер ретінде фракциясы 64-140 мкм болатын шыны қалдықтарының ұнтағы (3%) және керамзитті шаң (15%) қолданылды. Шыны ұнтағының аморфты SiO_2-ге бай құрамы автоклавтау процесінде кальций-гидросиликатты фазалардың қарқынды түзілуіне ықпал етеді [5, 8], ал керамзитті шаң микрокеуек түзуші және құрылым қалыптастырушы компонент ретінде материалдың орташа тығыздығын төмендетіп, оның жылуфизикалық сипаттамаларын жақсартуға мүмкіндік береді [9].

Керамзитті шаңның фазалық-минералдық құрамы ДРОН-3 дифрактометрінде $CuK\alpha$-сәулеленуін пайдалана отырып, рентгенфазалық талдау әдісімен анықталды. Алынған дифрактограммалар ICDD PDF-2 (2022) деректер базасы негізінде талданып, негізгі кристалдық фазалардың салыстырмалы мөлшері жартылай сандық әдіспен бағаланды.

Рентгендифрактометриялық зерттеу нәтижелері керамзитті шаңның полиминералдық құрамын көрсетті. Негізгі жоғары интенсивті дифракциялық рефлекстер $2\theta \approx 26{,}6°$ аймағында байқалып, кварц фазасының басым екенін дәлелдейді, оның мөлшері 38,3% құ-

рады. Сонымен қатар, үлгі құрамында альбит (21,9%), гематит (11,4%), темірқұрамды шпинель (11,3%), гроссманит (11,3%) және кальций сульфаты (5,8%) фазалары анықталды. Темірқұрамды фазалардың болуы керамзитті шаңға тән табиғи бояуды қалыптастырып, арнайы минералдық пигменттерді қолданбай-ақ силикат кірпіштің эстетикалық қасиеттерін жақсартуға мүмкіндік береді [10, 14].

Жалпы алғанда, алынған рентгенфазалық деректер керамзитті шаңды силикат кірпіш өндірісінде құрылым түзуші және микрокеуек қалыптастыратын тиімді модифицирлеуші қоспа ретінде қолданудың мақсатқа сай екенін растайды. Кварц пен алюмосиликатты фазалар автоклавтық өңдеу жағдайында материалдың құрылымдық тұрақтылығын арттырса [1, 4], темірқұрамды фазалар дайын өнімнің түстік және микроструктуралық қасиеттеріне оң әсер етеді [14].

Тәжірибелік-өндірістік сынақтар барысында шикізат компоненттері берілген арақатынастарда өлшеніп, біртекті силикат массасы алынғанға дейін араластырылды, кейін өнеркәсіптік престеу арқылы қалыпталып, регламенттелген температуралық-қысымдық режимдерде автоклавтық өңдеуден өткізілді. Автоклавтау нәтижесінде кальций-гидросиликатты фазалардың түзілуі қамтамасыз етіліп, кірпіштің құрылымдық беріктігі қалыптастырылды [1, 2].

Дайын силикат кірпіштің негізгі қасиеттері қолданыстағы стандартты әдістемелерге сәйкес анықталды. Сығылуға беріктік үлгілерді осьтік жүктеме әсерінен бұзу арқылы анықталды, ал иілуге беріктік үш нүктелі иілу сызбасы бойынша бағаланды. Орташа тығыздық кірпіш массасының оның геометриялық көлеміне қатынасы ретінде есептелді. Су сіңіргіштік құрғақ және суға қанықкан үлгілер массаларының айырмашылығы негізінде пайызбен анықталды. Аязға төзімділік мұздату-еріту циклдарына төзімділігін сынау нәтижелері бойынша бағаланып, F маркасымен сипатталды. Жылуөткізгіштік коэффициенті материалдың тығыздығы мен оның құрылымдық ерекшеліктерін ескере отырып, есептік-эмпирикалық әдіс арқылы анықталды.

Нәтижелер мен талқылау

Өндірістік жағдайда жүргізілген тәжірибелік-өндірістік сынақтардың нәтижелері силикат массасының құрамына шыны қалдықтарының ұнтағы мен керамзитті шаңды енгізу силикат кірпіштің физика-механикалық және жылуфизикалық қасиеттерін кешенді түрде жақсартатынын көрсетті. Барлық сынақтар зауыттық режимде дайындалған толық өлшемді кірпіш бұйымдарында жүргізілгендіктен, алынған нәтижелер өнеркәсіптік өндірістің нақты жағдайларын объективті түрде сипаттайды және автоклавты кальций-силикатты материалдардың қасиеттерін бағалау кезінде сенімді болып табылады [1, 2].

Кестеде дәстүрлі және модификацияланған силикат кірпіштің негізгі физика-механикалық және эксплуатациялық қасиеттерінің салыстырмалы көрсеткіштері келтірілген. Кесте деректері модифицирлеуші қоспаларды қолдану материал құрылымының қайта ұйымдасуына және оның қасиеттерінің бағытты түрде өзгеруіне әкелетінін көрсетеді, бұл техногендік компоненттер пайдаланылатын автоклавты материалдарға тән заңдылық болып табылады [2, 5].

Модификацияланған силикат кірпіштің орташа тығыздығы 1850-ден 1640 кг/м^3-ке дейін төмендеп, материалда микрокеуекті құрылымның қалыптасқанын дәлелдейді.



1-сурет – Модифицирлеуші қоспаларды қолдана отырып, силикат кірпіш алу өндірістік процесі және дайын үлгілер

Дәстүрлі және модификацияланған силикат кірпіштің қасиеттерінің салыстырмалы көрсеткіштері

Фракция, мкм	Орташа тығыздық, кг/м³	Сығылуға беріктік, МПа	Су сіңіргіштік, %	Жылу өткізгіштік, Вт/(м·°С)	Аязға төзімділік, F
Дәстүрлі силикат кірпіш (бақылау үлгісі)	1850	14,2	14,7	0,87	F50
Қоспалармен модификацияланған силикат кірпіш	1640	12,5	16	0,70	F50

Тығыздықтың төмендеуі қоршау конструкцияларының өзіндік салмағын азайтып, ғимараттардың энергия тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Бұл үрдіс жеңілдетілген силикатты және кеуекті құрылымды материалдарға тән құбылыс болып табылады [13].

Модификацияланған кірпіштің сығылуға беріктігі 12,5 МПа болып, бақылау үлгісімен (14,2 МПа) салыстырғанда төмендегенімен, ол нормативтік талаптар шегінде сақталады. Беріктіктің шамалы төмендеуі құрылымдық кеуектіліктің артуымен байланысты және жылуөткізгіштіктің төмендеуімен өтеледі, бұл автоклавты силикатты материалдар үшін рұқсат етілген теңгерімді көрсетеді [1, 4].

Су сіңіргіштік көрсеткіші модификацияланған үлгіде 16%, ал дәстүрлі силикат кірпіште 14,7% құрады. Бұл ашық кеуектер үлесінің артуымен түсіндіріледі, алайда, көрсеткіш рұқсат етілген шектерде қалып, материалдың ұзақ мерзімділігі мен пайдалану сенімділігіне теріс әсер етпейді [5].

Ең айқын оң нәтиже жылуөткізгіштік көрсеткіші бойынша байқалды: оның коэффициенті 0,87-ден 0,70 Вт/(м·°С)-қа дейін төмендеді. Бұл модификацияланған силикат кірпіштің жылуоқшаулау қабілетінің едәуір артқанын және оны энергия тиімді қабырға материалдары қатарына жатқызуға болатынын көрсетеді [13].

Аязға төзімділік көрсеткіші екі үлгі үшін де F50 деңгейінде сақталды, бұл материалдың құрылымы мен тығыздығы өзгергеніне қарамастан, мұздату-еріту циклдеріне төзімділіктің төмендемейтінін дәлелдейді [2].

Сонымен қатар, керамзитті шаңды қолдану кірпіштің сыртқы түріне оң әсер етіп, модификацияланған үлгілердің арнайы минералдық пигменттерсіз табиғи қоңыр реңк алуына мүмкіндік берді. Бұл әсер керамзитті шаң құрамындағы темір оксидтері мен боялған минералдық фазалардың болуымен байланысты және дайын өнімнің эстетикалық әрі экономикалық тартымдылығын арттырады [14].

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер модифицирлеуші қоспаларды қолдану арқылы тығыздығы мен жылуөткізгіштігі төмен, ал беріктігі мен аязға төзімділігі нормативтік деңгейде сақталған силикат кірпіш алуға болатынын көрсетеді. Дәстүрлі және модификацияланған силикат кірпіш қасиеттерінің кешенді салыстырмасы олардың негізгі эксплуатациялық сипаттамаларының үйлесімді өзгеруін көрнекі түрде бағалауға мүмкіндік береді [1, 2, 13].

Радарлық диаграмма модификацияланған силикат кірпіштің тығыздығы мен жылуөткізгіштік коэффициенті төмендегенімен, оның сығылуға беріктігі мен аязға төзімділігі нормативтік деңгейде сақталатынын айқын көрсетеді. Бұл оның жылуфизикалық және эксплуатациялық қасиеттерінің кешенді түрде жақсарғанын дәлелдейді (2-сурет).

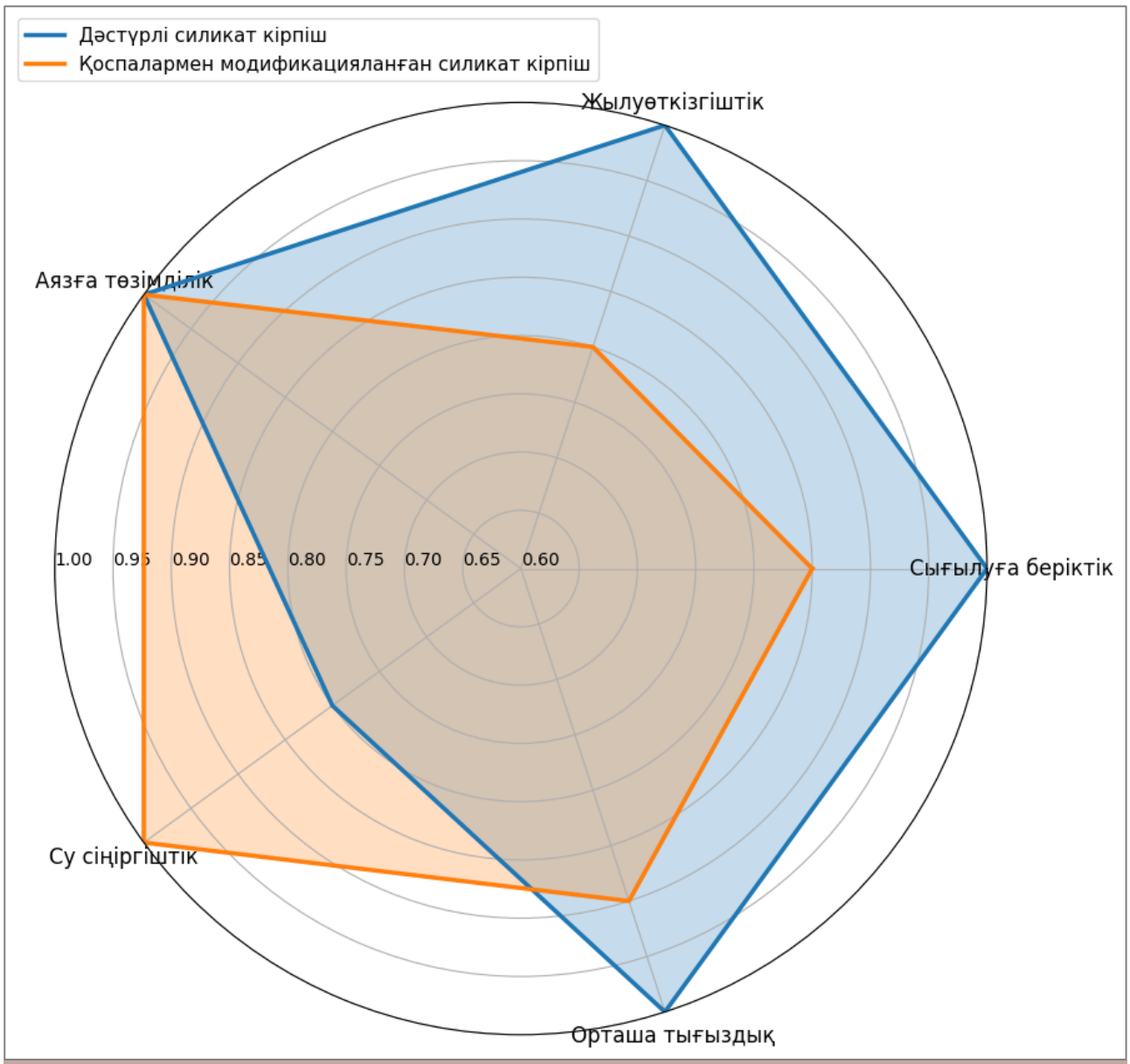
Қорытынды

Жүргізілген зерттеулер шыны қалдықтарының ұнтағы мен керамзитті шаңды модифицирлеуші қоспалар ретінде қолдану силикат кірпіштің құрылымын және негізгі эксплуатациялық қасиеттерін тиімді басқаруға мүмкіндік беретінін көрсетті. Өндірістік жағдайда орындалған тәжірибелік-өндірістік сынақтар алынған нәтижелердің зауыттық технологияға сәйкестігін және оларды практикада қолдану мүмкіндігін растады.

Модификацияланған силикат кірпіштің орташа тығыздығының төмендеуі және жылуөткізгіштік коэффициентінің айтарлықтай азаюы оның жылуоқшаулау қабілетінің артқанын және энергия тиімді құрылыс талаптарына сай келетінін дәлелдейді. Сығылуға беріктіктің белгілі бір деңгейде төмендеуіне қарамастан, бұл көрсеткіш нормативтік шектерде сақталып, материалдың аязға төзімділігі F50 деңгейінде қалды.

Керамзитті шаңды қолдану силикат кірпіште микрокеуекті құрылым қалыптастырумен қатар, арнайы минералдық пигменттерді пайдаланбай-ақ табиғи қоңыр реңкті бұйымдар алуға мүмкіндік берді. Бұл өнімнің сәулеттік-эстетикалық тартымдылығын арттырып, қосымша бояу мен әрлеу операцияларынан бас тартуға жағдай жасайды, соның нәтижесінде өндірістің экономикалық тиімділігі жоғарылайды.

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер модификацияланған силикат кірпіштің жылу-



2-сурет – Силикат кірпіш қасиеттерінің кешенді салыстырмалы радарлық диаграммасы

физикалық, физика-механикалық және эстетикалық қасиеттерінің оңтайлы үйлесіміне ие екенін көрсетіп, оны қазіргі заманғы энергия тиімді құрылыс нысандарында қолдануға арналған перспективалы қабырға материалы ретінде қарастыруға мүмкіндік береді.

Алғыс білдіру: *Ғылыми зерттеулер Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі тарапынан бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру аясында, BR24993125 «ТКШ объектілерін қайта жаңғырту кезінде қоршау конструкцияларының жылуоқшаулау қасиеттерін арттыру үшін силикат кірпіш өндірісінде шыны тұғырды пайдаланудың ұтымды технологиясы» тақырыбы бойынша жүргізілді.*

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Bensted J., Barnes P. Structure and performance of autoclaved calcium silicate materials. Construction and Building Materials, 2017. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.012
2. Rakhimov R.Z., Rakhimova N.R. Autoclaved building materials based on mineral raw materials. Materials

Science Forum, 2018.
3. Ramachandran V.S. Concrete Science. Elsevier, 2017. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100773-0.00001-3
4. Kurdowski W. Cement and Concrete Chemistry. Springer, 2016. https://doi.org/10.1007/978-94-017-7339-3
5. Zhang T., Yu Q., Wei J. Utilization of waste glass in building materials. Journal of Cleaner Production, 2018. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.189
6. Meyer C. The greening of the concrete industry. Cement and Concrete Composites, 2016. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.03.007
7. Richardson I.G. The nature of C-S-H in hardened cements. Cement and Concrete Research, 2014. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2014.10.012
8. Matalkah F., Soroushian P. Reactivity of finely ground glass in cementitious systems. Materials, 2016, 9(6), 473. https://doi.org/10.3390/ma9060473
9. Du H., Tan K.H. Properties of high volume glass powder concrete. Cement and Concrete Composites, 2017. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.02.005
10. Rashad A.M. Recycled materials in autoclaved building products. Journal of Materials Research and Technology, 2021. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.02.018
11. Wang X., Huang Y. Microstructure of autoclaved silicate materials with glass powder. Materials Today, 2020. https://doi.org/10.1016/j.mattod.2020.03.021
12. Pacheco-Torgal F., Jalali S. Reusing waste glass in construction materials. Resources, Conservation and Recycling, 2016. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.03.007
13. Demir I., Orhan M. Thermophysical properties of lightweight masonry materials. Construction and Building Materials, 2016. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.032
14. Kizinievic O., Kizinievic V. Influence of industrial wastes on masonry bricks. Materials, 2020, 13(10), 2348. https://doi.org/10.3390/ma13102348

Опытно-промышленное испытание технологии производства силикатного кирпича с применением модифицирующих добавок

[1]МОНТАЕВ Сарсенбек Алиакбарулы, *д.т.н., профессор, montaevs@mail.ru,*
[1]*САХИЕВ Болатбек Жеткергенович, *докторант, bolatbek.87@mail.ru,*
[1]ЖАРЫЛГАПОВ Сабит Муратович, *PhD, ассоциированный профессор, sabit.raisa@mail.ru,*
[2]МОНТАЕВА Айнур Сарсенбековна, *PhD, старший преподаватель, asmontay@gmail.com,*
[3]ДАБСКА Агниешка, *PhD, ассистент-профессор, agnieszka-dabska@mail.ru,*
[1]Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана, Уральск, Казахстан,
[2]Кызылординский университет им. Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан,
[3]Варшавский технологический университет, Варшава, Польша,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *В результате испытаний, проведённых в производственных условиях, была оценена степень влияния применения модифицирующих отходов в процессе производства силикатного кирпича на его основные эксплуатационные свойства. Исследования выполнены в условиях действующего предприятия по выпуску силикатного кирпича, при этом опытно-производственные испытания проводились на полноразмерных образцах кирпича, изготовленных в заводских условиях. В состав силикатной массы в качестве модифицирующих добавок вводились измельчённые отходы стекла и керамзитовая пыль. Результаты исследований показали, что у модифицированного силикатного кирпича при сохранении нормативного уровня прочности на сжатие и морозостойкости снижаются средняя плотность и коэффициент теплопроводности. Кроме того, применение керамзитовой пыли позволило получить кирпич с естественным коричневым оттенком без использования специальных минеральных пигментов. Полученные результаты подтверждают, что модифицированный силикатный кирпич является энергоэффективным, надёжным в эксплуатации и экономически целесообразным стеновым материалом.*

Ключевые слова: *силикатный кирпич, модифицирующие добавки, порошок отходов стекла, керамзитовая пыль, автоклавирование, теплопроводность, энергоэффективные строительные материалы.*

Experimental and Industrial Testing of Silicate Brick Production Technology Using Modifying Additives

[1]MONTAYEV Sarsenbek, *Dr. of Tech. Sc., Professor, montaevs@mail.ru,*
[1]*SAKHIYEV Bolatbek, *Doctoral Student, bolatbek.87@mail.ru,*
[1]ZHARYLGAPOV Sabit, *PhD, Associate Professor, sabit.raisa@mail.ru,*
[2]MONTAYEVA Ainur, *PhD, Senior Lecturer, asmontay@gmail.com,*
[3]DĄBSKA Agnieszka, *PhD, Assistant Professor, agnieszka-dabska@mail.ru,*
[1]Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian Technical University, Oral, Kazakhstan,
[2]Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan,
[3]Warsaw University of Technology, Warsaw, Poland,
**corresponding author.*

Abstract. *As a result of tests carried out under industrial conditions, the influence of using modifying waste materials in the production process of silicate brick on its main performance properties was evaluated. The studies were conducted at an operating silicate brick manufacturing plant, where experimental and industrial trials were performed on full-size brick specimens produced under factory conditions. Ground waste glass and expanded clay dust were introduced into the silicate mass as modifying additives. The research results showed that, while maintaining the normative levels of compressive strength and frost resistance, the modified silicate brick exhibits reduced average density and thermal conductivity coefficient. In addition, the use of expanded clay dust made it possible to obtain bricks with a natural brown shade without the use of special mineral pigments. The obtained results confirm that the modified silicate brick is an energy-efficient, reliable in service, and economically viable wall construction material.*

Keywords: *silicate brick, modifying additives, waste glass powder, expanded clay dust, autoclaving, thermal conductivity, energy-efficient building materials.*

REFERENCES

1. Bensted J., Barnes P. Structure and performance of autoclaved calcium silicate materials. Construction and Building Materials, 2017. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.012
2. Rakhimov R.Z., Rakhimova N.R. Autoclaved building materials based on mineral raw materials. Materials Science Forum, 2018.
3. Ramachandran V.S. Concrete Science. Elsevier, 2017. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100773-0.00001-3
4. Kurdowski W. Cement and Concrete Chemistry. Springer, 2016. https://doi.org/10.1007/978-94-017-7339-3
5. Zhang T., Yu Q., Wei J. Utilization of waste glass in building materials. Journal of Cleaner Production, 2018. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.189
6. Meyer C. The greening of the concrete industry. Cement and Concrete Composites, 2016. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.03.007
7. Richardson I.G. The nature of C-S-H in hardened cements. Cement and Concrete Research, 2014. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2014.10.012
8. Matalkah F., Soroushian P. Reactivity of finely ground glass in cementitious systems. Materials, 2016, 9(6), 473. https://doi.org/10.3390/ma9060473
9. Du H., Tan K.H. Properties of high volume glass powder concrete. Cement and Concrete Composites, 2017. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.02.005
10. Rashad A.M. Recycled materials in autoclaved building products. Journal of Materials Research and Technology, 2021. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.02.018
11. Wang X., Huang Y. Microstructure of autoclaved silicate materials with glass powder. Materials Today, 2020. https://doi.org/10.1016/j.mattod.2020.03.021
12. Pacheco-Torgal F., Jalali S. Reusing waste glass in construction materials. Resources, Conservation and Recycling, 2016. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.03.007
13. Demir I., Orhan M. Thermophysical properties of lightweight masonry materials. Construction and Building Materials, 2016. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.032
14. Kizinievic O., Kizinievic V. Influence of industrial wastes on masonry bricks. Materials, 2020, 13(10), 2348. https://doi.org/10.3390/ma13102348

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_190 ӘОЖ 691.53:614.841

Жергілікті ресурстар мен қалдықтарға негізделген отқа төзімді құрғақ құрылыс қоспа

***АКИМБЕКОВА Самал Тотайкызы,** докторант, sammi_ok@mail.ru, https://orcid.org/0009-0004-6336-372X,
АРУОВА Ляззат Боранбаевна, т.ғ.д., профессор, ecoeducation@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-7700-0303,
УРКИНБАЕВА Жузимкул Исаевна, аға оқытушы, zhuzim.isina@mail.ru, https://orcid.org/0009-0004-5294-3497,
КИРГИЗБАЕВ Акпан Турабаевич, т.ғ.к., аға оқытушы, kirgizbayev_at@enu.kz, https://orcid.org/0009-0007-3134-4913,
БИСЕНОВА Жазира Сералиевна, аға оқытушы, Bisenova_1983@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-4242-0751,
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,
*автор-корреспондент.

Андатпа. Күрделі минералды және модификациялық қоспаларды қолдана отырып, глиноземді тұтқырғыш негізінде құрғақ отқа төзімді құрылыс қоспасын жасау ұсынылған. Зерттеудің мақсаты сылақ құрамдарының физикалық-механикалық, жылу-физикалық және отқа төзімді сипаттамаларын арттыру болды. Шыны талшықты, жеңіл балқитын сазды, целлюлоза эфирлерін және боксит шламын енгізу материалдың тығыз және ыстыққа төзімді құрылымын қалыптастыруға ықпал ететін синергетикалық әсерді қамтамасыз ететіні анықталды. Құрамды оңтайландыру нәтижесінде беріктігі 25-30%-ға, тығыздығы 1100 кг/м³ дейін төмендеді, суды сіңіру 30-35%-ға азайды. Материал 900°С температурасына 40 минуттан артық әсер еткенде тұтастығын сақтайды, бұл оның отқа төзімділігін айтарлықтай арттырады. Жұмыстың практикалық маңыздылығы қолжетімді жергілікті шикізатты қолдана отырып және өндіріс құнын төмендете отырып, Құрылыс конструкцияларын өрттен қорғау үшін әзірленген қоспаны қолдану мүмкіндігі болып табылады.

Кілт сөздер: құрғақ құрылыс қоспасы, ыстыққа төзімділік, минералды компоненттер, реологиялық қасиеттері, техногендік қалдықтар.

Кіріспе

Заманауи құрылыс ағаш, талшықты бетон және арматураланған конструкциялардың ішкі әрлеуіне арналған материалдардың отқа төзімді және пайдалану сипаттамаларына жоғары талаптар қояды. Осыған байланысты отқа төзімділікті, беріктікті, жарыққа төзімділікті және өнімділікті қамтамасыз ететін құрғақ құрылыс қоспаларына (ҚҚҚ) қажеттілік артады.

Дәстүрлі цемент және гипс сылақтары бұл талаптарды толығымен қанағаттандырмайды: олар температураға төзімділігі шектеулі, ұзақ уақыт жұмыс істегенде жарылып кетуге және құрылымдық деградацияға бейім. Бұл жақсартылған қасиеттері бар жаңа құрамдарды әзірлеу қажеттілігін тудырады [1].

Құрғақ құрылыс қоспалары бойынша заманауи зерттеулерді талдау дәстүрлі цементтермен салыстырғанда беріктігі мен жоғары температураға төзімділігінің жылдам жиынтығының арқасында глиноземді тұтқырғыш перспективті бағыт болып табылатынын көрсетеді. Алайда, оларды қолдану құрамды өзгертпестен жоғары шығындармен және төмен өнімділікпен шектеледі. Қасиеттерін жақсарту үшін минералды қоспаларды, жеңіл толтырғыштарды және техногендік қалдықтарды пайдалану ұсынылады [2]. Бұл ретте жұмыстардың көпшілігі фрагменттік сипатта болады және көп компонентті жүйелердің материалдардың отқа төзімділігіне, реологиясына және беріктігіне кешенді әсерін ескермейді [3].

Осылайша, ғылыми мәселе жергілікті шикізат пен қалдықтарды пайдаланған кезде жоғары отқа төзімділікті, жақсартылған реологиялық қасиеттерді және жарыққа төзімді-

лікті қамтамасыз ететін ҚҚҚ-ның глиноземді тұтқырғыш негізіндегі негізделген құрамдарының болмауы болып табылады.

Жұмыстың мақсаты – сылақ жабындарының отқа төзімділігі мен пайдалану сипаттамаларын арттыру үшін кеңейтілген агрегаттарды, минералды қоспаларды және техногендік қалдықтарды енгізе отырып, глиноземді тұтқырғыш негізінде ҚҚҚ құрамын әзірлеу.

Әзірленіп жатқан қоспалар әртүрлі конструкциялардың ішкі отқа төзімділігіне арналған және отқа төзімділікті арттыруға, материал сыйымдылығы мен өзіндік құнын төмендетуге, сондай-ақ, жергілікті ресурстар мен қалдықтарды пайдалану арқылы тұрақтылықты арттыруға мүмкіндік береді.

Материалдар және зерттеу әдістері

Тапсырманы шешу үшін отқа төзімді құрғақ құрылыс қоспасы ұсынылды. Компоненттерді таңдау олардың үйлесімділігі мен қатаюдан кейін құрылымның оңтайлы тығыздығы мен біркелкілігін қамтамасыз ету қабілетін ескере отырып жүзеге асырылды.

Қорғаныш қабатының қалыңдығы 20 мм болатын 180 минутқа дейінгі отқа төзімді тиімділікке компоненттердің келесі қатынасында қол жеткізіледі (мас. %): глиноземді цемент – 71% (негізгі тұтқырғыш, беріктік пен отқа төзімділікті қамтамасыз етеді), боксит шламы – 4% (өндіріс қалдықтары, ыстыққа төзімділікті арттырады), кеңейтілген вермикулит – 13,85% (жеңіл жылу оқшаулағыш толтырғыш, отқа төзімділікті арттырады), шыны талшық (ұзындығы <5 мм) – 1,6% (арматура, жарыққа төзімділікті арттыру), жеңіл балқитын Кембрий сазы – 8% (пластификациялаушы компонент, жылу оқшаулауды жақсартады), ауа тартатын қоспа (Silipon 1880) – 0,02% (микрокеуектер жасау, жылу оқшаулауды жақсарту), вин қышқылы – 0,1% (тежегіш), қайта дисперсті ұнтақ (Vinnapas 5010N) – 1,2% (адгезия мен серпімділікті арттырады), қоюландырғыш (Amitrolit 8882) – 0,1% (қоспаның тұтқырлығын реттейді), целлюлоза эфирі (Mecellose FMC-7150) – 0,1% (суды сақтайды, қоспаны тұрақтандырады).

Сынақ әдістері

Үлгілердің тығыздығы МемСТ 12730.1-2020 бойынша үлгілердің массасы мен геометриялық өлшемдерін өлшеу әдісімен анықталды. Масса 0,1 г дәлдікпен, сызықтық өлшемдер 0,1 мм дәлдікпен анықталды. тығыздық үлгінің массасының оның көлеміне қатынасы ретінде есептелді.

МемСТ 310.4-81 бойынша үш нүктелі иілу әдісімен сынақ жүргізілді. Үлгі-призма екі тірекке орнатылды, жүктеме аралықтың ортасында жойылғанға дейін тұрақты жылдамдықпен қолданылды. Иілу кезінде беріктік есептелген максималды жүктеме бекітілді.

МемСТ 310.4-81 сәйкес иілу сынағынан кейін призмалардың жартысында сынақ орындалды. Жүктеме үлгі жойылғанға дейін біркелкі қолданылды. Сығымдау беріктігі жүктеме жүктемесінің жүктелген бетінің ауданына қатынасы ретінде анықталды.

Суды сіңіру МемСТ 12730.3-2020 бойынша толық сумен қанықтыру әдісімен анықталды. Үлгілер тұрақты массаға дейін кептірілді, содан кейін 48 сағат бойы (20±2)°С температурада суда ұсталды. Қанықкаңнан кейін үлгінің массасы анықталып, судың сіңуі массаның салыстырмалы өсуі ретінде есептелді.

Отқа төзімділік МемСТ 30247.0-94 сәйкес муфель пешінде 900°С температураға ұшыраған кезде тұтастықты жоғалту уақыты бойынша бағаланды. Үлгілер алдын ала қыздырылған пешке орналастырылды. Жарықшақтар пайда болғанға, бұзылуға немесе үлгі құрылымының тұтастығын жоғалтуға дейінгі уақыт белгіленді.

Нәтижелер және талқылау

Нәтижелер әзірленген қоспаның көптеген параметрлер бойынша бақылау құрамынан асып түсетінін көрсетті. Бақылау ретінде өзгертетін қоспаларсыз және жеңіл толтырғыштарсыз композиция қолданылды.

Бақылау және әзірленген қоспалардың салыстырмалы физикалық-механикалық және отқа төзімді сипаттамалары кестеде келтірілген.

Эксперименттік нәтижелер әзірленген қоспаның бақылау құрамынан айтарлықтай жоғары екенін көрсетеді. Кеңейтілген минералды толтырғыштар беріктігін жоғалтпай тығыздықты 24%-ға төмендетті, шыны талшық жарыққа төзімділікті арттырды, ал метилцеллюлоза жұмыс қабілеттілігін жақсартты және судың сіңуін азайтты.

Сығу және иілу беріктігі шамамен 30%-ға өсті, бұл арматурамен және жақсартылған материал құрылымымен байланысты. Суды сіңіру беріктігін арттыра отырып, үштен бірінен астамға азайды. 900°С температурада қоспасы 42 мин тұтастығын сақтайды, бақылау құрамынан 2,8 есе ұзақ, бұл оның жоғары отқа төзімді тиімділігін растайды.

Алынған нәтижелер А.Н. Каштанов пен А.В. Пушкаревтің зерттеулеріне сәйкес келеді [4], мұнда минералды қоспалары бар глиноземді тұтқырғыш жоғары температураға ұшыраған кезде тұрақтылықты көрсетеді. Алайда, бұл жұмыстарда шамамен 900°С температурада тұтастықты сақтау шегі әдетте 20-30 мин құрайды, ал осы зерттеуде 42 мин мәніне қол жеткізілді, бұл әзірленген композицияның жоғары тиімділігін көрсетеді.

Савельев Ю.Г. және Орлова Н.И. [5] мәліметтері бойынша күл-қож қалдықтарын енгізу тығыздықтың 10-15% төмендеуін қамтамасыз ететін кеуекті құрылымның қалыпта-

суына ықпал етеді. Бұл жұмыста тығыздықтың төмендеуі 24%-ға жетеді, бұл қосымша ауа ағынымен және түйіршіктік құрамды оңтайландырумен байланысты болуы мүмкін.

А.А. Чернышев пен С.Г. Рябовтың нәтижелері бойынша [6], метилцеллюлозаны қолдану судың сіңуін 15-25%-ға төмендетеді. Бұл зерттеуде бұл көрсеткіш 33%-дан астамға төмендеді. Бұл целлюлоза эфирі мен ауа өткізгіш қоспаны бірге қолданудың синергетикалық әсерін көрсетеді.

Осылайша, белгілі аналогтармен салыстырғанда, әзірленген қоспа тығыздықтың едәуір төмендеуін, беріктіктің жоғарылауын және отқа төзімділіктің жақсаруын көрсетеді, бұл оның бәсекелестік артықшылықтарын растайды.

1-суретте бақылау және әзірленген құрғақ құрылыс қоспаларының беріктігін салыстыру көрсетілген. Әзірленген қоспа сығу беріктігінің 5,6-дан 7,2 МПа-ға дейін және иілу кезінде 2,4-тен 3,1 МПа-ға дейін жоғарылауын көрсетеді. Бұл материалдың тығыз және біркелкі құрылымын қамтамасыз ететін арматуралық талшықтар мен минералды қоспаларды енгізуге байланысты. Нәтижелер жүк көтергіштігінің жоғарылауын және жабынның жарылуына төзімділігін растайды.

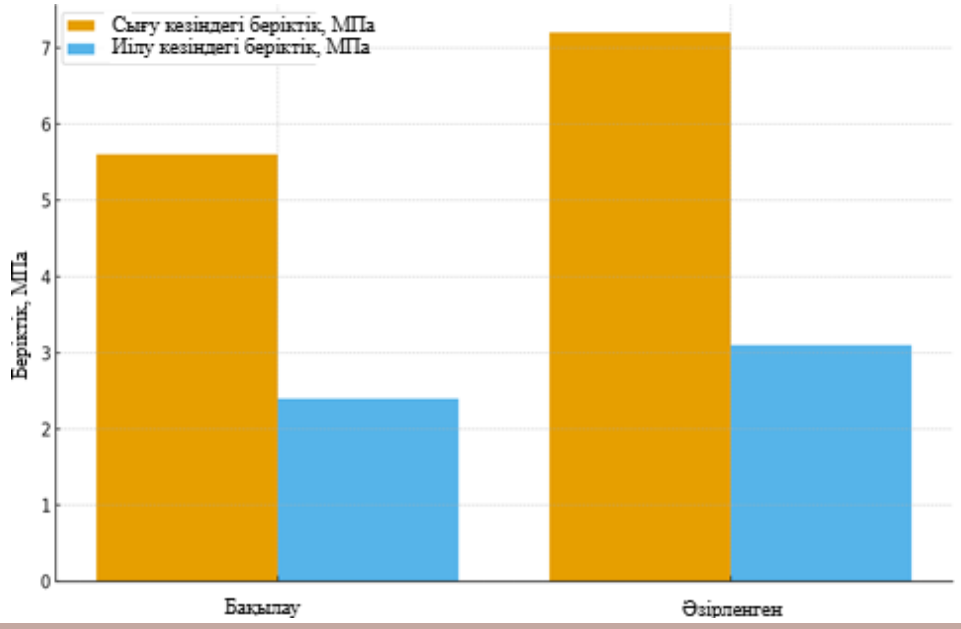
Минералды қоспалардың қоспа тығыздығы мен суды сіңіруіне әсері төменде 2-суретте көрсетілген.

Үлгілердің тұтастығын жоғалту уақытының қыздыру температурасына тәуелділігі 3-суретте көрсетілген. Диаграмма 100-ден 900°C-қа дейін қызған кезде үлгілердің тұтастығын сақтау уақытының өзгеруін көрсетеді. Әзірленген қоспа жоғары температураның әсеріне айтарлықтай ұзағырақ төтеп береді: 900°C температурада 42 минутқа дейін, ал бақылау 15 минуттан кейін тұтастығын жоғалтады.

Отқа төзімділіктің жоғарылауы ыстыққа төзімді минералды компоненттердің (боксит шламы және балқитын саз) болуымен түсінді-

Бақылау және әзірленген қоспалардың салыстырмалы физикалық-механикалық және отқа төзімді сипаттамалары

Көрсеткіштер	Бақылау қоспасы	Әзірленген қоспасы	Өзгеру, %
Тығыздығы, кг/м³	1450	1100	-24
Сығу кезіндегі беріктігі, МПа	5,6	7,2	+29
Иілу кезіндегі беріктігі, МПа	2,4	3,1	+29
Суды сіңіру, %	18,5	12,2	-34
900°C температурада тұтастықты жоғалту уақыты, мин	15	42	+180



1-сурет – Сығу және иілу беріктіктерін салыстыру

ріледі, олар қорғаныс жақтауын құрайды және қызған кезде жарылып кетуге жол бермейді.

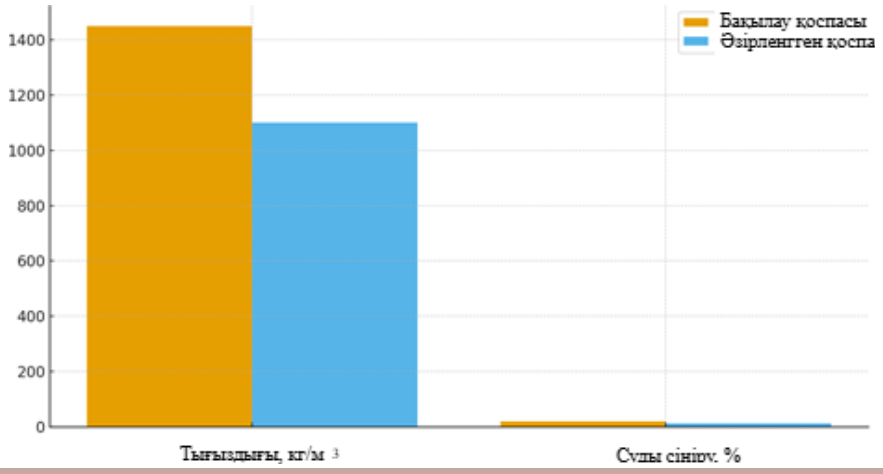
Қорытынды

Кешенді минералды және модификациялық қоспаларды қолдану материалдың негізгі физикалық-механикалық және пайдалану сипаттамаларын бақылау құрамымен салыстырғанда едәуір жақсартуға мүмкіндік берді.

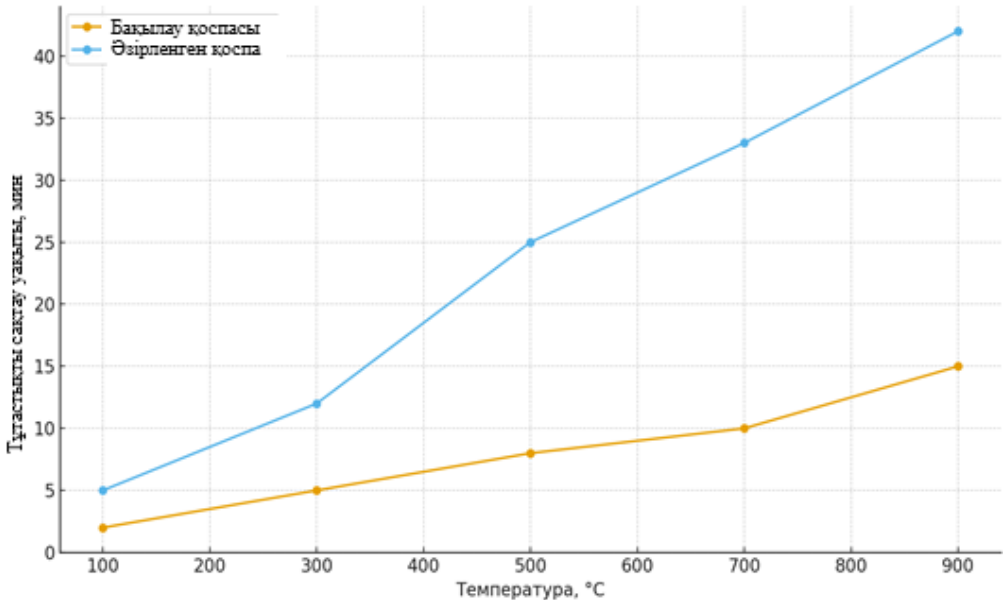
Графиктен көрініп тұрғандай (1-сурет), сығу беріктігі 5,6-дан 7,2 МПа-ға дейін, ал иілу кезінде 2,4-тен 3,1 МПа-ға дейін өсті. Бұл ішкі кернеулерді қайта бөлетін шыны талшықтың енгізілуіне және құрылымның микропластификациясын қамтамасыз ететін жеңіл балқытылған сазға байланысты. Қоспалардың жиынтық әрекеті глиноземді тұтқыр кристалдық тордың тығыз қалыптасуына ықпал етеді және материал ішіндегі ақауларды азайтады.

Жоғарыдағы 2-суретке сәйкес, материалдың тығыздығы 24%-ға, ал суды сіңіру 34%-ға төмендеді. Тығыздықтың төмендеуі кеуекті, бірақ берік құрылымды құрайтын кеңейтілген толтырғыштарды қолдануға байланысты. Суды сіңірудің төмендеуіне целлюлоза эфирі және ылғалдың капиллярлық енуіне жол бермейтін ауа өткізгіш қоспалардың гидрофобты қасиеттері арқылы қол жеткізіледі.

Сынақ нәтижелері (3-сурет) 900°С температураға ұшыраған кезде тұтастықты жоғалту уақыты 15 минуттан 42 минутқа дейін артқанын көрсетеді. Бұл бетіндегі боксит шламында кездесетін ыстыққа төзімді алюминий мен кремний оксидтерінің қорғаныш



2-сурет – Минералды қоспалардың тығыздық пен суды сіңіру әсері



3-сурет – Отқа төзімділіктің температураға тәуелділігі

қабатының пайда болуымен түсіндіріледі. Мұндай қабат гипстің ішкі қабаттарының тез қызып кетуіне жол бермейді және ыдырау процесін баяулатады.

Зерттеу барысында оттан қорғау және пайдалану қасиеттері жақсартылған глиноземді тұтқырғыш негізінде құрғақ құрылыс қоспасы әзірленді. Оңтайландырылған композиция тығыздықты 1100 кг/м³ дейін төмендетуге, беріктігін 25-30%-ға арттыруға және суды сіңіруді 30-35%-ға төмендетуге мүмкіндік берді. Материал 900°С температурада 40 минуттан астам тұтастықты сақтайды, бұл оның отқа төзімділігін 2,5 еседен астам арттырады.

Ғылыми жаңалық – тығыз және ыстыққа төзімді құрылымды құрайтын компоненттердің (шыны талшық, жеңіл балқитын саз, целлюлоза эфирлері, боксит шламы) синергетикалық әсерін анықтау, сонымен бірге, беріктіктің жоғарылауымен тығыздықты төмендету және суды сіңіру механизмдерін құру. Отқа төзімділіктің жоғарылауы ыстыққа төзімді оксидтердің қорғаныш қабатының пайда болуымен байланысты екендігі негізделген.

Әзірленген қоспа түрлі құрылымдарды өрттен қорғауға және отқа төзімді жабындарды өндіруге жарамды. Оны қолдану жергілікті шикізатты пайдалану, материалды тұтынуды азайту және беріктігін арттыру арқылы экономикалық тұрғыдан тиімді. Жалпы алғанда, материал жоғары беріктік, жылуфизикалық және отқа төзімді сипаттамаларды біріктіреді және өнеркәсіптік енгізу үшін перспективалы.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. McGraw-Hill, 2014.
2. Scrivener K.L., John V.M., Gartner E.M. Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO_2 cement-based materials industry. Cement and Concrete Research, 2018.
3. Bedi R.S. et al. Utilization of industrial waste in construction materials: A review. Construction and Building Materials, 2020.
4. Каштанов А. Н., Пушкарёв А. В. Огнезащитные составы на основе гипсовых вяжущих // Строительные материалы. – 2019. – №7. – С. 12-17.
5. Савельев Ю. Г., Орлова Н. И. Исследование влияния золошлаковых отходов на свойства гипсовых растворов // Вестник строительной науки. – 2020. – №3. – С. 44-52.
6. Чернышев А. А., Рябов С. Г. Применение метилцеллюлозы в сухих строительных смесях // Строительная химия и материалы. – 2022. – №5. – С. 22-29.

Огнезащитная сухая строительная смесь на основе местных ресурсов и отходов

***АКИМБЕКОВА Самал Тотайкызы,** докторант, sammi_ok@mail.ru, https://orcid.org/0009-0004-6336-372X,*
***АРУОВА Ляззат Боранбаевна,** д.т.н., профессор, ecoeducation@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-7700-0303,*
***УРКИНБАЕВА Жузимкул Исаевна,** старший преподаватель, zhuzim.isina@mail.ru, https://orcid.org/0009-0004-5294-3497,*
***КИРГИЗБАЕВ Акпан Турабаевич,** к.т.н., старший преподаватель, kirgizbayev_at@enu.kz, https://orcid.org/0009-0007-3134-4913,*
***БИСЕНОВА Жазира Сералиевна,** старший преподаватель, Bisenova_1983@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-4242-0751,*
Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

***Аннотация.** В работе представлена разработка сухой огнезащитной строительной смеси на основе глиноземистого вяжущего с применением комплексных минеральных и модифицирующих добавок. Цель исследования заключалась в повышении физико-механических, теплофизических и огнезащитных характеристик штукатурных составов. Установлено, что введение стекловолокна, легкоплавкой глины, эфиров целлюлозы и бокситового шлама обеспечивает синергетический эффект, способствующий формированию плотной*

и термостойкой структуры материала. В результате оптимизации состава прочность увеличена на 25-30%, плотность снижена до 1100 кг/м³, водопоглощение уменьшено на 30-35%. Материал сохраняет целостность при воздействии температуры 900°С более 40 минут, что существенно повышает его огнестойкость. Практическая значимость работы заключается в возможности применения разработанной смеси для огнезащиты строительных конструкций с использованием доступного местного сырья и сниженной себестоимостью производства.

Ключевые слова: *сухая строительная смесь, термостойкость, минеральные компоненты, реологические свойства, техногенные отходы.*

Fire-resistant Dry Construction Mix Based on Local Resources and Waste

***AKIMBEKOVA Samal,** Doctoral Student, sammi_ok@mail.ru,
https://orcid.org/0009-0004-6336-372X,
ARUOVA Lyazzat, Dr. of Tech. Sc., Professor, ecoeducation@mail.ru,
https://orcid.org/0000-0002-7700-0303,
URKINBAEVA Zhuzimkul, Senior Lecturer, zhuzim.isina@mail.ru,
https://orcid.org/0009-0004-5294-3497,
KIRGHIZBAEV Akpan, Cand. of Tech. Sc., Senior Lecturer, kirgizbayev_at@enu.kz,
https://orcid.org/0009-0007-3134-4913,
BISSENOVA Zhazira, Senior Lecturer, Bisenova_1983@mail.ru,
https://orcid.org/0000-0003-4242-0751,
L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
corresponding author.

***Abstract.** The paper presents the development of a dry flame-retardant construction mixture based on alumina binder using complex mineral and modifying additives. The purpose of the study was to improve the physico-mechanical, thermophysical and flame-retardant characteristics of plaster compositions. It has been established that the introduction of fiberglass, low-melting clay, cellulose esters and bauxite sludge provides a synergistic effect that promotes the formation of a dense and heat-resistant material structure. As a result of optimizing the composition, the strength was increased by 25-30%, the density was reduced to 1100 kg/m³, and the water absorption was reduced by 30-35%. The material retains its integrity when exposed to a temperature of 900°C for more than 40 minutes, which significantly increases its fire resistance. The practical significance of the work lies in the possibility of using the developed mixture for fire protection of building structures using affordable local raw materials and reduced production costs.*

***Keywords:** dry construction mix, heat resistance, mineral components, rheological properties, man-made waste.*

REFERENCES

1. Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. McGraw-Hill, 2014.
2. Scrivener K.L., John V.M., Gartner E.M. Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO_2 cement-based materials industry. Cement and Concrete Research, 2018.
3. Bedi R.S. et al. Utilization of industrial waste in construction materials: A review. Construction and Building Materials, 2020.
4. Kashtanov A. N., Pushkarjov A. V. Ognezashhitnye sostavy na osnove gipsovyh vjazhushhih. Stroitel'nye materialy. 2019, no. 7, pp. 12-17.
5. Savel'ev Ju. G., Orlova N. I. Issledovanie vlijanija zoloshlakovyh othodov na svojstva gipsovyh rastvorov. Vestnik stroitel'noj nauki. – 2020, no. 3, pp. 44-52.
6. Chernyshev A. A., Rjabov S. G. Primenenie metilcelljulozy v suhih stroitel'nyh smesjah. Stroitel'naja himija i materialy. 2022, no. 5, pp. 22-29.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_196 УДК 691.334

Влияние жидких сред на прочность магнезиальных вяжущих

МИРЮК Ольга Александровна, *д.т.н., профессор, psm58@mail.ru,*
Рудненский индустриальный университет, Рудный, Казахстан.

Аннотация. *Экспериментальные исследования посвящены проблеме стойкости магнезиальных вяжущих к воздействию агрессивных жидких сред. Объект исследования – каустический магнезит и смешанные вяжущие, содержащие техногенные компоненты. Для сравнения использованы цементы различного состава. Условия испытания вяжущих предусматривали использование солевых растворов повышенной концентрации и попеременное изменение среды твердения. Результаты исследований свидетельствуют о влиянии техногенного компонента на структурные изменения вяжущих под воздействием воды и солевых растворов. Установлена повышенная стойкость магнезиально-шлакового вяжущего в солевых растворах. Выявлена тенденция стабилизации и упрочнения вяжущих после продолжительного пребывания в жидких средах. Результаты исследований расширяют представления о свойствах и сферах назначения магнезиальных вяжущих.*

Ключевые слова: *каустический магнезит, смешанные вяжущие, техногенные материалы, агрессивные жидкости, твердение.*

Введение

Магнезиальные вяжущие оксихлоридного твердения – негидравлические материалы, в которых оксид магния, затворенный раствором хлорида магния, превращается в прочный камень. Каустический магнезит, основной представитель магнезиальных вяжущих, получают при обжиге магнезитовых пород при температурах 750-800°С. Благодаря кристаллической структуре гидратов каустический магнезит характеризуется интенсивным твердением и высокой прочностью [1]. Эффективность магнезиальных бетонов обеспечивается за счет адгезии вяжущего с заполнителями, стойкости к истиранию, воздействию огня и масел.

Растущий интерес к магнезиальным вяжущим обусловлен не только их уникальными свойствами, а также приоритетом технологий низкоуглеродных строительных материалов. По сравнению с портландцементом каустический магнезит отличается малой энергоемкостью производства, возможностью беспрогревного твердения изделий, низкой щелочностью и усадкой [2].

Широкому распространению каустического магнезита в строительстве препятствуют ограниченные запасы магнезитовых пород и низкая водостойкость затвердевшего вяжущего. Многочисленные разработки смешанных магнезиальных вяжущих, содержащих минеральные компоненты, направлены на расширение ассортимента, повышение водостойкости магнезиальных материалов и сокращение доли каустического магнезита [3-5].

Наряду с воздействием воды, эксплуатация бетонных объектов сопровождается агрессией жидких сред. Сведения о состоянии магнезиальных материалов, пребывающих в жидких средах, весьма ограничены [6, 7]. Для распространения магнезиальных вяжущих необходимы представления о характере их поведения в различных эксплуатационных условиях.

Цель работы – исследование влияния жидких сред на прочность магнезиальных вяжущих различного состава.

Материалы и методы

Объект экспериментальных исследований – каустический магнезит марки ПМК-75 и смешанные вяжущие на его основе (таблица 1). Несмотря на сопоставления свойств каустического магнезита и портландцемента, сравнения эксплуатационной коррозийной стойкости указанных вяжущих не проводились. Поэтому в экспериментах исследованы цементы (таблица 1). Фазовый состав портландцемента марки ПЦ400ДО, мас.%: алит – 58; белит – 20, алюмоферриты кальция – 13, трехкальциевый алюминат – 9.

В качестве минеральных добавок использованы техногенные материалы предприятий Казахстана (таблица 2). Выбор ми-

неральных добавок основан на результатах предварительных исследований. Доменный шлак – отход металлургического производства, содержит силикаты и алюмосиликаты кальция, кальциево-магниевые силикаты. Колошниковая пыль – мелкозернистый отход, выносимый через колошники из доменной печи отходящими газами; состоит из пылевидной руды, несгоревшего топлива и известнякового флюса. Зола-унос тепловых электростанций – тонкодисперсный порошок, содержит алюмосиликатное стекло, кварц, муллит и несгоревший уголь.

Доменный шлак измельчали до удельной поверхности 300 м^2/кг. Другие техногенные добавки смешивали с вяжущими без предварительного помола. Удельная поверхность смешанных вяжущих, определенная методом газопроницаемости на приборе ПСХ-10М, составила 300-310 м^2/кг.

Магнезиальные вяжущие затворяли раствором хлорида магния плотностью 1250 кг/м^3. Для затворения цементов использовали водопроводную воду. Свойства вяжущих определяли на образцах размером 2х2х2 см, отформованных из теста нормальной густоты. Условия твердения вяжущих до приобретения проектной прочности: на воздухе – магнезиальные; в воде – цементы.

Для оценки стойкости вяжущих к воздействию жидкостей принят режим, предусматривающий использование солевых растворов повышенной концентрации и попеременное изменение среды твердения. В возрасте 28 сут часть образцов каждого состава помещали в агрессивные жидкости: раствор хлорида магния (концентрация соли 15%), раствор сульфата магния (концентрация соли 13%), раствор хлорида натрия (концентрация соли 12%). Часть образцов магнезиальных вяжущих также погружали в воду. Цикл испытания на стойкость к воздействию жидкостей: 12 ч – в агрессивных средах, 12 ч – на воздухе. По истечении заданного количества циклов образцы испытывали на прочность на гидравлическом прессе. ПГМ – 100МГ4А.

Результаты и обсуждение

Сочетание каустического магнезита с техногенными компонентами обеспечило получение смешанных вяжущих, не уступающих по прочности бездобавочному материалу (рисунок 1).

Добавление техногенных компонентов замедляет твердение портландцемента на начальных этапах наблюдения (рисунок 2). Однако прочность цементов с добавками имеет тенденцию к постоянному росту и достигает показателей портландцемента к 100 сут твердения.

Сравнение прочностных показателей магнезиальных и цементных вяжущих указывает на повышенные значения магнезиальных материалов. Примечательно, что

Таблица 1 – Вещественный состав вяжущих веществ

Шифр состава	Содержание компонентов, мас. %				
	каустический магнезит	портландцемент	колошниковая пыль	доменный шлак	зола-унос теплоэлектростанций
М	100	-	-	-	-
МК	50	-	50	-	-
МШ	50	-	-	50	-
Ц	-	100	-	-	-
ЦТ	-	80	-	-	20
ЦШ	-	80	-	20	-

Таблица 2 – Химический состав техногенных добавок

Название материала	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	прочие	п.п.п.
Доменный шлак	46,0	14,4	0,8	30,2	5,2	2,1	1,2	-
Колошниковая пыль	6,1	5,3	68,5	7,3	1,2	0,8	1,1	9,7
Зола-унос тепловых электростанций	45,3	19,6	2,6	14,9	4,4	1,3	2,5	9,4

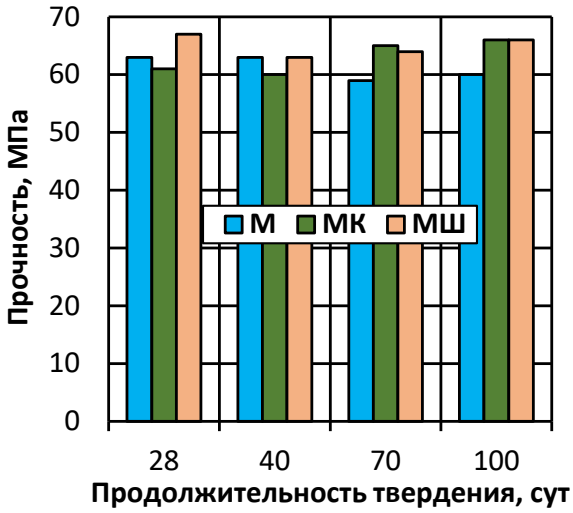


Рисунок 1 – Влияние состава на прочность магнезиальных вяжущих воздушного твердения (обозначения как в таблице 1)

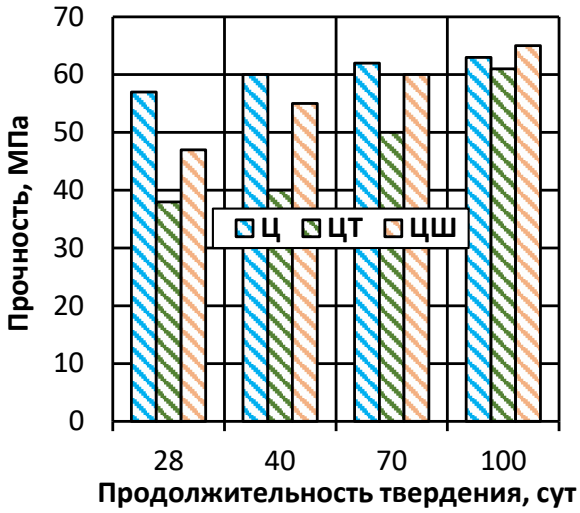


Рисунок 2 – Влияние состава на прочность цементов водного твердения (обозначения как в таблице 1)

смешанные магнезиальные, содержащие 50% техногенных компонентов, превосходят по прочности цементы, в составе которых не более 20% техногенных добавок. Это свидетельствует о высокой активизирующей способности магнезиального оксихлоридного вяжущего.

Каустический магнезит – вяжущее воздушного твердения, пребывание в воде сопровождается снижением прочности (рисунок 3). Низкая водостойкость каустического магнезита обусловлена неустойчивостью основного гидрата – пентагидрооксихлорида магния $5Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 8H_2O$ (5-форма) [8]. При разложении 5-формы образуется гидроксид магния, экспансия которого приводит к появлению трещин на образцах (рисунок 4). Остаточная прочность образцов каустического магнезита после 10 циклов испытаний составила 3,2% показателя воздушного твердения. Смешанные магнезиальные вяжущие отличаются повышенной водостойкостью за счет формирования в структуре камня, наряду с 5-формой, гидратов на основе фаз техногенного компонента. Например, в магнезиально-шлаковом вяжущем образуются гидросиликаты магния, в вяжущем на основе колошниковой пыли – гидрооксид железа.

Состав техногенного компонента влияет на водостойкость смешанного вяжущего. Магнезиально-шлаковое вяжущее после 10 циклов испытаний превосходит по водостойкости в шесть раз каустический магнезит и вяжущее на основе колошниковой пыли (рисунок 3).

Большинство методик определения водостойкости вяжущих предусматривает краткосрочное пребывание образцов в воде [4]. Продолжительное воздействие агрессивных сред, принятое в экспериментах, позволило выявить способность магнезиальных вяжущих к упрочнению ослабленной структуры.

Эффект восстановления прочности обусловлен кольматацией гидрооксида магния, образованного на основе оксида магния, не вовлеченного ранее в процессы гидратации. Упрочнение смешанных вяжущих связано также с образованием аморфных гидратов с участием техногенных компонентов [5].

Характер изменения прочности магнезиальных вяжущих, пребывающих в растворах солей, зависит от состава материала и агрессивной жидкости.

В растворе хлорида магния наибольшие темпы снижения прочности наблюдаются после первых 10 циклов. В последующие сроки уменьшение прочности незначительно, а образцы магнезиально-шлакового вяжущего упрочняются. Такое поведение вяжущих обусловлено образованием вторичного пентагидрооксихлорида магния в результате взаимодействия соли агрессивного раствора с гидрооксидом магния. Это подтверждает сравнение прочности образцов, пребывающих в растворах хлорида магния и хлорида натрия.

Раствор сульфата магния оказал меньшее агрессивное воздействие на образцы каустического магнезита, прочность которых после 70 циклов возросла в 1,4 раза относительно показателей после 10 циклов испытаний. По завершении 10 циклов воздействия раствора сульфата магния проч-

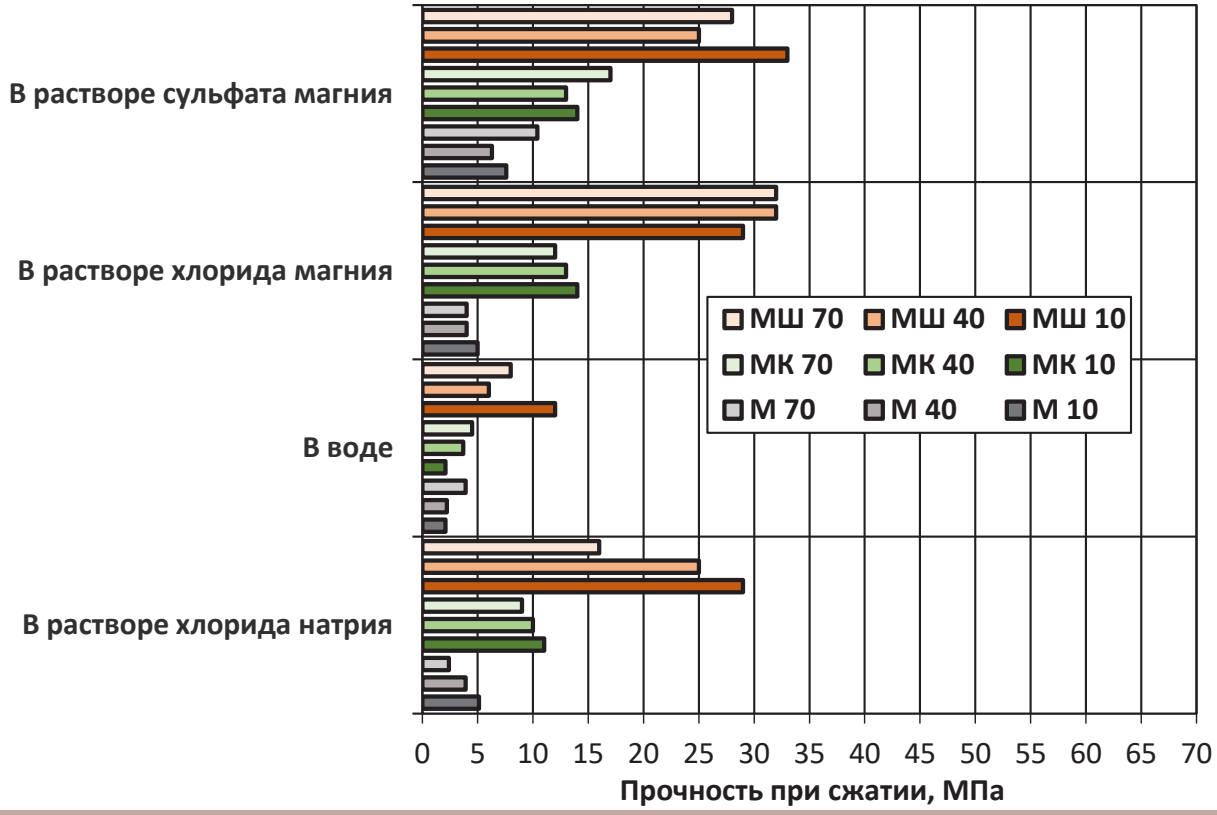


Рисунок 3 – Влияние состава магнезиальных вяжущих на прочность образцов после пребывания в различных жидкостях (обозначения как в таблице 1 с указанием количества циклов испытаний)



Рисунок 4 – Вид образцов магнезиальных вяжущих после 10 циклов воздействия агрессивных жидкостей

ность магнезиально-шлакового вяжущего составила 50% прочности на воздухе. В последующем наблюдается снижение, а затем рост прочности образцов МШ.

Смешанное вяжущее на основе колошниковой пыли после снижения прочности на начальных этапах испытаний в последующем упрочняется. Упрочнение магнезиальных вяжущих после продолжительного пребывания в растворе сульфата магния можно объяснить образованием гидрооксисульфатов магния, отличающихся повышенной стойкостью в воде.

Пребывание цементов в солевых растворах сопровождалось снижением прочности с различной интенсивностью (рисунок 5). Наибольшее разрушительное воздействие на цементы оказал раствор хлорида магния, снизивший прочность образцов в среднем на 50%. Степень воздействия растворов хлорида натрия и сульфата магния на цементы сопоставима. В первые 10 циклов испытаний портландцемент проявляет стойкость в агрессивных жидкостях, сохраняя от 50 до 58% прочности. Цемент с добавкой золы-уноса, характеризующийся меньшей прочностью в контрольных условиях (твердение в воде), отличается повышенной стойкостью в растворе сульфата магния. Во всех растворах цемент ЦТ проявляет склонность к стабилизации прочности при продолжительном испытании. По степени усиления агрессии по отношению к цементу с добавкой доменного шлака растворы солей расположились в ряду «хлорид магния – сульфат магния – хлорид магния». После 40 циклов испытаний прочность цемента ЦШ стабильна.

Стабилизация или повышение прочности магнезиальных и цементных вяжущих подтверждается визуальными изменениями образцов. Например, трещины на образцах вяжущего МК после 10 циклов воздействия агрессивных жидкостей к 70 циклам испытаний уменьшаются в размерах (таблица 3). Аналогическая ситуация отмечена для образцов цементов, например, состава ЦТ (таблица 4).

Следовательно, проектирование вещественного состава вяжущих способствует повышению стойкости камня в агрессивных средах за счет формирования устойчивых гидратов.

Заключение

Вода оказывает наибольшее деструктивное воздействие на магнезиальные вяжущие, вызывая снижение прочности и появление трещин. Однако длительное воздействие воды способно стабилизировать прочность вяжущих и частично восстановить структуру

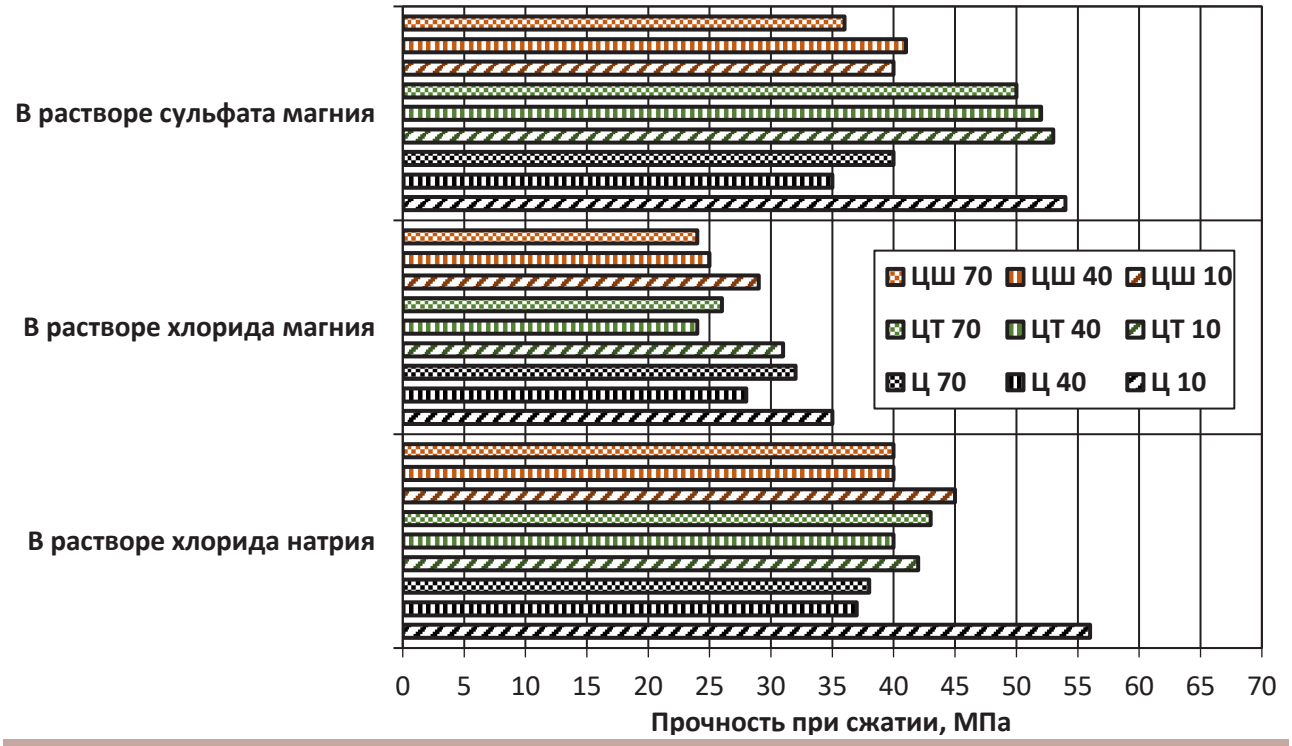


Рисунок 5 – Влияние состава цементов на прочность образцов после пребывания в различных жидкостях (обозначения как в таблице 1 с указанием количества циклов испытаний)

Таблица 3 – Влияние агрессивных сред на свойства магнезиального вяжущего, содержащего колошниковую пыль

Агрессивная среда	Количество циклов испытаний			
	10		70	
	вид образца	прочность, МПа	вид образца	прочность, МПа
Вода		2,1		4,5
Раствор хлорида магния		14,0		12,0

Таблица 4 – Влияние агрессивных сред на свойства цемента с добавкой золы-уноса тепловых электростанций

Агрессивная среда	Количество циклов испытаний			
	10		70	
	вид образца	прочность, МПа	вид образца	прочность, МПа
Раствор хлорида магния		31		26
Раствор сульфата магния		53		50

за счет накопления продуктов гидратации.

В растворах солей магнезиальные вяжущие в меньшей степени подвержены деструкции. Продолжительное пребывание в растворах хлорида и сульфата магния сопровождается ростом прочности ослабленной структуры.

Смешанные магнезиальные вяжущие превосходят каустический магнезит по стойкости к действию всех исследуемых жидкостей. Камень магнезиально-шлакового вяжущего стоек к трещинообразованию и характеризуется наибольшей прочностью во всех испытаниях. Остаточная прочность магнезиально-шлакового вяжущего после пребывания в растворе хлорида магния сопоставима с аналогичными показателями цементов.

Регулирование вещественного состава магнезиальных вяжущих позволит повысить эксплуатационные свойства строительных изделий.

Работа выполнена при финансировании Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, грант AP26199493.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tan Y., Wu C., Yu H., Li Y., Wen J. Review of reactive magnesia-based cementitious materials: Current developments and potential applicability // Journal of Building Engineering. – 2021. – V. 40. – Article No. 102342. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141922
2. Jiříčková A., Pavlík Z., Pavlíková M., Pivák A., Záleská M., Lauermannová A.-M., Jankovský O. Impact of oxidized carbon nanotubes on the mechanical, thermal, and hygric properties of Portland cement- and magnesium oxychloride cement-based mortars: A route to advanced building composites // Case Studies in Construction Materials. – 2025. – V. 22. – Article No. e04902. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04902
3. Sun J., Song Z., Zhang Y., Zhang Y., Zhao S., Guo M., Jiang L. Effect of red mud and phosphate on water resistance and hydration mechanism of magnesium oxychloride cement // Construction and Building Materials. – 2024. – V. 413. – Article No. 134844. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134844
4. Xu W., Song Z., Guo M.-Z., Jiang L., Chu H. Improvement in water resistance of magnesium oxychloride cement via incorporation of dredged sediment // Journal of Cleaner Production. – 2022. – V. 356. – Article No. 131830. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131830
5. Miryuk O., Liseitsev Y., Fediuk R. Influence of Iron-Containing Components on the Curing and Hardening Properties of Magnesium Oxychloride Binders // Journal of Materials in Civil Engineering. – 2024. – V. 36 (12). – Article No. 04024413. https://doi.org/ 10.1061/JMCEE7.MTENG-17856
6. Nguyen V. M., Phung T. B., Pham D.T., Ho L.S. Mechanical properties and durability of concrete containing coal mine waste rock, F-class fly ash, and nano-silica for sustainable development // Journal of Engineering Research. – 2023. – V. 11 (3). – Pp. 75-86. https://doi.org/ 10.1016/j.jer.2023.100097
7. Yu C., Wu Q., Ma, H., Yang N., Darkwah K.K., Akbar M. Study On Corrosion Resistance of Magnesium Phosphate Cement-based Coating Modified by Metakaolin. KSCE // Journal of Civil Engineering. – 2024. – V. 28. – Pp. 302-314. https://doi.org/10.1007/s12205-023-0623-x
8. Zhang X., Ge S., Wang H., Chen R. Effect of 5-phase seed crystal on the mechanical properties and microstructure of magnesium oxychloride cement // Construction and Building Materials. – 2017. – V. 150. – Pp. 409-417. https://doi.org/ 10.1016/j.conbuildmat.2017.05.211

Сұйық ортаның магнезиялық тұтқырлардың беріктігіне әсері

МИРЮК Ольга Александровна, *т.ғ.д., профессор, psm58@mail.ru,*
Рудный индустриялық университеті, Рудный, Қазақстан.

Аңдатпа. *Эксперименттік зерттеулер магнезиялық тұтқыр заттардың агрессивті сұйық ортаның әсеріне төзімділігі мәселесін қарастырады. Зерттеу нысаны – каустикалық магнезит және құрамында техногендік компоненттері бар аралас тұтқыр заттар. Салыстыру үшін әртүрлі құрамдағы цементтер қолданылады. Тұтқыр заттарды сынау шарттары жоғары концентрациядағы тұзды ерітінділерді қолдануды және қатаю ортасын кезек-кезек өзгертуді қарастырды. Зерттеу нәтижелері техногендік компоненттің су мен тұзды ерітінділердің әсерінен тұтқыр заттардың құрылымдық өзгерістеріне әсерін көрсетеді. Тұз ерітінділеріндегі магнезиялық-қожды байланыстырғыштың жоғары төзімділігі анықталды. Сұйық ортада ұзақ уақыт болғаннан кейін тұтқыр заттардың тұрақтану және нығаю үрдісі байқалды. Зерттеу нәтижелері магнезиялық тұтқыр заттардың қасиеттері мен қолданылу бағыттары туралы түсініктерді кеңейтеді.*

Кілт сөздер: *каустикалық магнезит, аралас тұтқыр, техногендік материалдар, агрессивті сұйықтықтар, қатаю.*

The Effect of Liquid Mediums on Strength Magnesia Binders

MIRYUK Olga, *Dr. of Tech. Sc., Professor, psm58@mail.ru,*
Rudny Industrial University, Rudny, Kazakhstan.

Abstract. *Experimental studies are devoted to the problem of the resistance of magnesia binders to the effects of aggressive liquid mediums. The object of the study is caustic magnesite and mixed binders containing technogenic components. Cements of various compositions were used for comparison. The conditions for testing binders provided for the use of high-concentration salt solutions and alternating changes in the hardening medium. The research results indicate the influence of the technogenic component on the structural changes of binders under the influence of water and salt solutions. Increased resistance of magnesia-slag binder in saline solutions has been established. The tendency of stabilization and hardening of binders after prolonged exposure to liquid mediums has been revealed. The research results expand the understanding of the properties and applications of magnesia binders.*

Keywords: *caustic magnesite, mixed binders, technogenic materials, aggressive liquids, hardening.*

REFERENCES

1. Tan Y., Wu C., Yu H., Li Y., Wen J. Review of reactive magnesia-based cementitious materials: Current developments and potential applicability // Journal of Building Engineering. – 2021. – V. 40. – Article No. 102342. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141922
2. Jiříčková A., Pavlík Z., Pavlíková M., Pivák A., Záleská M., Lauermannová A.-M., Jankovský O. Impact of oxidized carbon nanotubes on the mechanical, thermal, and hygric properties of Portland cement- and magnesium oxychloride cement-based mortars: A route to advanced building composites // Case Studies in Construction Materials. – 2025. – V. 22. – Article No. e04902. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04902
3. Sun J., Song Z., Zhang Y., Zhang Y., Zhao S., Guo M., Jiang L. Effect of red mud and phosphate on water resistance and hydration mechanism of magnesium oxychloride cement // Construction and Building Materials. – 2024. – V. 413. – Article No. 134844. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134844
4. Xu W., Song Z., Guo M.-Z., Jiang L., Chu H. Improvement in water resistance of magnesium oxychloride cement via incorporation of dredged sediment // Journal of Cleaner Production. – 2022. – V. 356. – Article No. 131830. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131830
5. Miryuk O., Liseitsev Y., Fediuk R. Influence of Iron-Containing Components on the Curing and Hardening Properties of Magnesium Oxychloride Binders // Journal of Materials in Civil Engineering. – 2024. – V. 36 (12). – Article No. 04024413. https://doi.org/ 10.1061/JMCEE7.MTENG-17856
6. Nguyen V. M., Phung T. B., Pham D.T., Ho L.S. Mechanical properties and durability of concrete containing coal mine waste rock, F-class fly ash, and nano-silica for sustainable development // Journal of Engineering Research. – 2023. – V. 11 (3). – Pp. 75-86. https://doi.org/ 10.1016/j.jer.2023.100097
7. Yu C., Wu Q., Ma, H., Yang N., Darkwah K.K., Akbar M. Study On Corrosion Resistance of Magnesium Phosphate Cement-based Coating Modified by Metakaolin. KSCE // Journal of Civil Engineering. – 2024. – V. 28. – Pp. 302-314. https://doi.org/10.1007/s12205-023-0623-x
8. Zhang X., Ge S., Wang H., Chen R. Effect of 5-phase seed crystal on the mechanical properties and microstructure of magnesium oxychloride cement // Construction and Building Materials. – 2017. – V. 150. – Pp. 409-417. https://doi.org/ 10.1016/j.conbuildmat.2017.05.211

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_204 UDC 332.8(574)

Current State, Problems and Prospects for the Development of Housing and Municipal Utilities in the Republic of Kazakhstan

KROPACHEV Pyotr, *Cand. of Tech. Sc., Associate Professor, p.kropachev@ktu.edu.kz,*
ALPYSBAYEVA Nazym, *Cand. of Tech. Sc., Associate Professor, nalpysbayeva@mail.ru,*
****IMANOV Marat,*** *Cand. of Tech. Sc., Associate Professor, m.imanov@ktu.edu.kz,*
RAKHIMOVA Galia, *Cand. of Tech. Sc., Associate Professor, g.rahimova@ktu.edu.kz,*
GABDRASH Amirzhan, *Master's Degree, Senior Lecturer, amirzhan383@gmail.com,*
Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,

**corresponding author.*

Abstract. *This article analyzes reforms and the current state of housing and utilities in the Republic of Kazakhstan. It identifies the key challenges in this sector, including implementation of state modernization programs. It also identifies the primary causes of a high accident rate in utility systems and rising utility tariffs in the country. It examines the challenges of transitioning to new forms of housing management and addressing the complex challenges of technical operation and repair of housing. A set of measures is proposed to address housing and utilities issues using digital, energy-, and resource-saving technologies. The analysis of the technological infrastructure for digitalization of Kazakhstan housing and utilities sector is also provided. The experience of implementing housing and utilities management information systems in the Republic of Kazakhstan based on various platforms is analyzed.*

Keywords: *housing and municipal utilities, housing stock, multi-apartment residential buildings, cooperative of apartment owners, association of property owners, condominium, operation of housing stock, regulatory framework for construction, digital technologies, information systems.*

Introduction

Housing and utilities play a vital role in the Kazakhstan economy. The state of this sector reflects the country's socioeconomic development, and the services it provides are highly socially significant as life-support processes.

It is no coincidence that Head of State Kassym-Jomart Tokayev's addresses to the people of Kazakhstan set specific objectives for modernizing the utilities sector, fostering a culture of utility conservation, implementing regulatory requirements for energy efficiency and resource conservation, new tariff-setting methods, and modern digital technologies, increasing civic engagement within the country through the development of local self-government, and fostering a conscious and constructive partnership between the state and society [1].

Large-scale reform of the Kazakhstan housing and utilities sector has been underway for three decades, since 1996. Within this period, the state has initiated numerous relevant bills, programs, and decrees [2-7]. However, the current state of this sector is difficult to call sustainable, and its activities effective. The utilities system faces a lot of unresolved social, organizational, and economic problems. Thus, over the years, a dependent attitude toward housing and utilities has become deeply ingrained in the minds of many citizens. This is in particular reflected in the reluctance to actively participate in reform of this important sector.

On the other hand, during the reform of the domestic housing and utilities sector, there was only one large-scale experiment: organizing the apartment owners' cooperatives, which brought the reform idea to all the segments of the population. As part of this experiment, specialists were trained, and demonstration projects were created and demonstrated to confirm the feasibility of the reforms.

In early 2020, property owners' associations and simple partnerships became the current forms of management for multi-apartment residential buildings in the Republic of Kazakhstan. This transition was fraught with a

number of serious problems caused by insufficient methodological and informational support for the reform at the local level, the lack of citizen choice and low participation, and the lack of competent specialists [8]. In this regard, the Majilis deputies initiated and already approved in the first reading a bill according to which residents of multi-apartment residential buildings retain the right to choose the management entity: property owners' associations and direct joint management (replacing simple partnerships).

Statement of the problem

As a result of the mass action, virtually the entire state housing stock was privatized, and today the majority of Kazakhstan population owns apartments [8].

In our country, the housing stock comprises over 5 million apartments, and it is rapidly growing every year. It should be noted that a significant portion of this housing was commissioned more than half a century ago and is in need of urgent, full-scale overhaul due to severe physical and moral deterioration [9]. At the same time, responsibility for the operation and maintenance of the housing stock has shifted from the state to the new owners, who were for the most part unprepared for that. Under these conditions, preserving long-standing housing should become a top priority in this sector, an effective solution only possible with professional management [8].

The analysis of studies [10, 11] shows that the main problems in the housing and utilities sector are as follows:

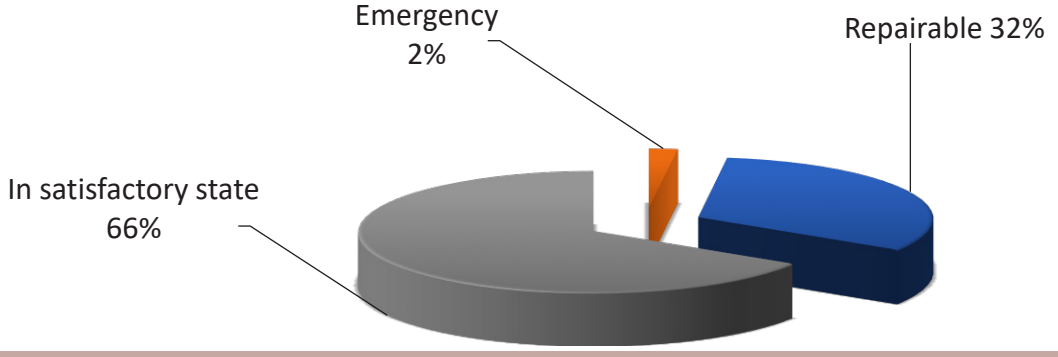
- incompetence of housing and utilities workers and the poor quality of services they provide in the face of little competition in the management company market;
- lack of transparency in the calculation of fees, difficulty in recalculating, additional charges;
- significant physical deterioration of fixed assets and a significant proportion of dilapidated and hazardous housing (Figure);
- irrational use of resources, especially water and thermal energy, due to the poor condition of utility networks and public facilities.

The analysis of the technical and energy state of the Kazakhstan housing and utilities sector revealed a complex set of serious problems: an extremely high accident rate of fixed assets, an unacceptably high level of energy losses, and the technological backwardness of utility networks and systems. For example, the average depreciation of heating networks is 54%, while that of water supply networks is 43%. Depreciation of heating and water networks is the main cause not only of utility system failures but also of rising tariffs. As a result, since 2023, the rate of price growth for basic housing and utilities services has outpaced the rate of price growth for all the other goods.

To address these accumulated problems, changes are required in the functioning of the housing and utilities sector, forming conditions for genuine citizen participation in the management of this vital sector and their homes in particular. Under current conditions, the technical operation and maintenance of modern housing involves a complex set of tasks and requires a systematic approach. This necessitates the development of an appropriate regulatory framework containing a specific system for the technical maintenance, repair, and reconstruction of residential buildings, as well as scientific and technical support for their life cycle [12-15].

Results and further prospects of the study

Housing management involves not only ensuring the comfort and safety of residents but also managing complex engineering systems: water, gas, electricity, heating, ventilation, and elevators. This is a complex task that requires operating organizations not only to possess the appropriate competencies but also to constantly address dynamically changing conditions and residents' needs. The system for



Technical state of the housing stock in the Republic of Kazakhstan

technical maintenance, repair, and reconstruction of residential buildings also includes a set of regulations for inspection, survey, monitoring, energy audits, planning and organizing routine and major repairs, and reconstruction of housing [9, 12, 13].

Globally, management companies are responsible for servicing multi-apartment residential buildings. Kazakhstan property owners' associations are also among them. However, international practice shows that the work of a management company should be assessed by an independent party through certification. To address the problems of the normal functioning of property owners' associations and direct joint management of housing, it is also necessary to improve the legislative framework in terms of strengthening the work of housing inspectorates within local executive bodies, as well as changes regarding the conclusion of contracts with utility providers. In the absence of, or insufficient numbers of, technical supervision personnel in condominiums, and the low level of competence, it is difficult to ensure the reliable operation of the housing stock [8].

The introduction of digital technologies offers great potential in the housing and utilities sector, as repeatedly noted in the President of the Republic of Kazakhstan addresses to the people of Kazakhstan [1]. Today, the transition to new forms of housing management in Kazakhstan is occurring simultaneously with changing the principle of interaction between participants through digitalization of the housing and utilities sector.

The foundation of the technological infrastructure for digitalization of the Kazakhstan housing and utilities sector is mounting meters for heat, water, electricity, and gas supplies. According to local executive bodies, over 40% of the country's housing stock is currently metered.

The digital housing and utilities platform includes subsystems that:

- dispatch requests from individuals and legal entities;

- integrate communication with information systems based on SAP, SQL, and 1C, and data exchange with IoT devices. A billing system based on the settlement and payment complex is also included as a subsystem.

Implementation of the Centralized Collection and Storage of Electronic Information Resources in the Housing and Utilities Sector (E-SHANYRAQ IS) has begun. The main goal of this project is to develop a unified digital ecosystem for the entire housing and utilities sector in Kazakhstan. This system is being implemented through the public-private partnership (PPP) mechanism, without budgetary funding. Currently, it enables generation of the analytical data on:

- the number of apartment buildings;

- the technical condition of the housing stock;

- installed meters.

Integration with natural monopoly entities and market-based IT applications for building management is possible. A unified call center has been launched, and the website https://e-zhkh.gov.kz/ is operational. However, implementation of the E-SHANYRAQ IS is currently hampered by problematic issues, the resolution of which requires participation of relevant government agencies.

One of the innovations in the E-SHANYRAQ information system is the use of the Internet of Things (IoT) technology, which will enable the remote metering of individual and public meters and the generation of Big Data to assess the balance of energy production and consumption as part of the transition to ta green economy.

To implement the "Smart Cities" objective, the "Smart City" concept was developed in Kazakhstan to improve the efficiency of city services and implement smart technologies. The national Smart City benchmark standard has been developed, which is already used to rank Akimats based on implementation of digital products in various areas, including housing and utilities.

A multifunctional mobile "Smart Home" system is being successfully implemented in Pavlodar, Aksu, and Ekibastuz. It enables both residents and relevant city agencies to monitor the activities of city utilities online.

A project called "Smart Energy Metering at Education Institutions" is being implemented in Atyrau, Kyzylorda, Almaty, and Shymkent. It monitors water, electricity, and heat consumption, enabling the prompt detection of leaks.

A housing and utilities management information system based on the Data Evolution platform has been created and successfully implemented in Aktau. It provides access to the structure of residential buildings and their operational characteristics, displays a list of management organizations, the state of utility systems, repair schedules, maintenance costs, reports and meetings, and includes technical data sheets, income and expense analyses, and analytics.

However, given the fragmented nature of progress in digitalizing the Kazakhstan housing and utilities sector, it can be concluded that a critical mass of competencies in this area has not yet emerged in Kazakhstan, and further consistent and systematic steps are required.

Conclusions

The analysis of the current state of the Kazakhstan housing and utilities sector revealed

a complex set of problems associated with the deterioration and high accident rate of a significant proportion of residential buildings and utilities, as well as low levels of energy and resource conservation.

Addressing these issues requires the transition to new forms of housing management with simultaneous changing the principles of interactions between stakeholders through digitalization of the housing and utilities sector.

A legislative framework has already been established in this area, and implementation of the E-SHANYRAQ information system has begun. However, without government assistance, full-scale reform will not be implemented; more effective tools for its promotion must be considered, in particular, the development of a unified platform in the form of a project office supporting the housing and utilities sector reform process through digitalization tools.

Ensuring digitalization of the housing and utilities sector also requires an appropriate regulatory framework that establishes requirements for meters, sensors, data transmission media, information systems, and resources, including a list of software and hardware.

REFERENCES

1. Послание Главы государства К.К. Токаева народу Казахстана от 2 сентября 2024 года «Справедливый Казахстан: закон и порядок, экономический рост, общественный оптимизм».
2. Закон Республики Казахстан от 16 апреля 1997 года № 94 «О жилищных отношениях» (с изм. и доп. На 15.03.2023 г.).
3. «Об утверждении Программы модернизации жилищно-коммунального хозяйства Республики Казахстан на 2011-2020 годы». Постановление Правительства Республики Казахстан от 30 апреля 2011 года №473.
4. Закон Республики Казахстан от 13 января 2012 года № 541-IV «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности».
5. «Концепция развития жилищно-коммунальной инфраструктуры на 2023-2029 годы». Утверждена постановлением Правительства Республики Казахстан от 23 сентября 2022 года № 736.
6. Закон Республики Казахстан от 15 марта 2023 года № 207-VII ЗРК «О внесении изменений и дополнений в некоторые законодательные акты Республики Казахстан по вопросам жилищно-коммунального хозяйства».
7. «Об утверждении Концепции развития сферы энергосбережения и повышения энергоэффективности Республики Казахстан на 2023-2029 годы». Постановление Правительства Республики Казахстан от 28 марта 2023 года № 264.
8. Кропачев П.А., Алпысбаева Н.А., Закариа Р., Габдраш А.Т. Проблемы модернизации и эксплуатации жилого фонда в Республике Казахстан // Труды университета. – Караганда: КарТУ имени Абылкаса Сагинова, 2023. – № 4. – С. 195-200.
9. Кропачев П.А., Иманов Е.К., Иманов М.О., Рахимов М.А. Қайта жаңартылатын ғимараттар мен құрылыстарды ғылыми-техникалық сүйемелдеу. – Қарағанды: «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ баспасы, 2023, 296 б.
10. Гасилов В.В. Эффективность создания проектов государственно-частного партнерства в жилищно-коммунальной сфере // ФЭС: Финансы. Экономика. – 2019. – Т. 16. – № 1. – С. 43-47.
11. Мещерякова М.А. Управление инновационным развитием в сфере ЖКХ: Автореф. дис. ... докт. экон. наук. – Воронеж: ВГТУ, 2021. – 42 с.
12. МСТ ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния». – М.: Стандартинформ, 2014.
13. СН РК 1.04-26-2022 «Реконструкция, капитальный и текущий ремонт гражданских, производственных зданий и сооружений».
14. Кропачев П.А. Научно-техническое сопровождение жизненного цикла геотехнических систем: монография. – Караганда: КарТУ имени Абылкаса Сагинова, 2025. – 173 с.
15. Rakhimova G., Zhangabay N., Samoilova T., Rakhimov M., Stanevich V., Kropachev P., Karacasu M., Ibraimova U. Computational Research of the Efficiency of Using a Three-Layer Panel Made of Highly Porous Polystyrene Concrete (2024) Materials, 17 (16), Switzerland.

Қазақстан Республикасындағы тұрғын үй-коммуналдық шаруашылығының қазіргі жағдайы, мәселелері және даму болашағы

КРОПАЧЕВ Петр Александрович, *т.ғ.к., доцент, p.kropachev@ktu.edu.kz,*
АЛПЫСБАЕВА Назым Амангазықызы, *т.ғ.к., доцент, nalpysbayeva@mail.ru,*
****ИМАНОВ Марат Омирбекович,*** *т.ғ.к., доцент, m.imanov@ktu.edu.kz,*
РАХИМОВА Галия Мухамедиевна, *т.ғ.к., доцент, g.rahimova@ktu.edu.kz,*
ҒАБДРАШ Әміржан Тлеуханұлы, *магистр, аға оқытушы, amirzhan383@gmail.com,*
Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Мақалада Қазақстан Республикасындағы тұрғын үй-коммуналдық шаруашылықтың реформалары мен қазіргі жағдайына талдау жасалған. Бұл саладағы негізгі проблемалар, оның ішінде, оны жаңғыртудың мемлекеттік бағдарламаларын жүзеге асыру анықталды. Елдегі коммуналдық жүйелердегі апаттардың жоғары деңгейінің және коммуналдық қызметтерге тарифтердің өсуінің негізгі себептері анықталды. Тұрғын үй қорын басқарудың жаңа нысандарына көшу мәселелері, тұрғын үй қорын техникалық пайдалану және жөндеу бойынша кешенді міндеттерді шешу жолдары қарастырылады. Цифрлық, энергия және ресурс үнемдейтін технологиялар шеңберінде тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық мәселелерін шешу бойынша шаралар кешені ұсынылады. Қазақстанның тұрғын үй-коммуналдық шаруашылығы саласын цифрландыру бойынша технологиялық инфрақұрылымды талдау аяқталды. Түрлі платформалар негізінде Қазақстан Республикасында тұрғын үй-коммуналдық шаруашылықты басқарудың ақпараттық жүйелерін енгізу тәжірибесі талданған.*

Кілт сөздер: *тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық, тұрғын үй қоры, көппәтерлі тұрғын үйлер, пәтер иелері кооперативі, меншік иелерінің қауымдастығы, кондоминиум, тұрғын үй қорын пайдалану, құрылыс саласындағы нормативтік құқықтық база, цифрлық технологиялар, ақпараттық жүйелер.*

Современное состояние, проблемы и перспективы развития ЖКХ в Республике Казахстан

КРОПАЧЕВ Петр Александрович, *к.т.н., доцент, p.kropachev@ktu.edu.kz,*
АЛПЫСБАЕВА Назым Амангазыевна, *к.т.н., доцент, nalpysbayeva@mail.ru,*
****ИМАНОВ Марат Омирбекович,*** *к.т.н., доцент, m.imanov@ktu.edu.kz,*
РАХИМОВА Галия Мухамедиевна, *к.т.н., доцент, g.rahimova@ktu.edu.kz,*
ГАБДРАШ Амиржан Тлеуханович, *магистр, старший преподаватель,*
amirzhan383@gmail.com,
Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *В статье дан анализ реформ и современного состояния жилищно-коммунального хозяйства в Республике Казахстан. Выявлены основные проблемы данной сферы, в том числе – реализация государственных программ по ее модернизации. Установлены основные причины высокого уровня аварийности коммунальных систем, роста коммунальных тарифов в стране. Рассмотрены проблемы перехода на новые формы управления жилым фондом, решения сложного комплекса задач по технической эксплуатации и ремонту жилого фонда. Предложен комплекс мероприятий по решению проблем жилищно-коммунального хозяйства в рамках цифровых, энерго- и ресурсосберегающих технологий. Выполнен анализ технологической инфраструктуры цифровизации казахстанского ЖКХ. Проанализирован опыт внедрения информационных систем управления ЖКХ в Республике Казахстан на базе различных платформ.*

Ключевые слова: *жилищно-коммунальное хозяйство, жилищный фонд, многоквартирные жилые дома, кооператив собственников квартир, объединение собственников имущества, кондоминиум, эксплуатация жилого фонда, нормативная база строительства, цифровые технологии, информационные системы.*

REFERENCES

1. Poslanie Glavy gosudarstva K.K. Tokaeva narodu Kazahstana ot 2 sentyabrya 2024 goda «Spravedlivyj Kazahstan: zakon i poryadok, ekonomicheskij rost, obshestvennyj optimizm».
2. Zakon Respubliki Kazahstan ot 16 aprelya 1997 goda № 94 «O zhilishnyh otnosheniyah» (s izm. i dop. Na 15.03.2023 g.).
3. «Ob utverzhdenii Programmy modernizacii zhilishno-kommunalnogo hozyajstva Respubliki Kazahstan na 2011-2020 gody». Postanovlenie Pravitelstva Respubliki Kazahstan ot 30 aprelya 2011 goda № 473.
4. Zakon Respubliki Kazahstan ot 13 yanvarya 2012 goda № 541-IV «Ob energosberezhenii i povyshenii energoeffektivnosti».
5. «Koncepciya razvitiya zhilishno-kommunalnoj infrastruktury na 2023-2029 gody». Utverzhdena postanovleniem Pravitelstva Respubliki Kazahstan ot 23 sentyabrya 2022 goda № 736.
6. Zakon Respubliki Kazahstan ot 15 marta 2023 goda № 207-VII ZRK «O vnesenii izmenenij i dopolnenij v nekotorye zakonodatelnye akty Respubliki Kazahstan po voprosam zhilishno-kommunalnogo hozyajstva».
7. «Ob utverzhdenii Koncepcii razvitiya sfery energosberezheniya i povysheniya energoeffektivnosti Respubliki Kazahstan na 2023-2029 gody». Postanovlenie Pravitelstva Respubliki Kazahstan ot 28 marta 2023 goda № 264.
8. Kropachev P.A., Alpysbaeva N.A., Zakaria R., Gabdrash A.T. Problemy modernizacii i ekspluatacii zhilogo fonda v Respublike Kazahstan // Trudy universiteta. – Karaganda: KarTU imeni Abylkasa Saginova, 2023. – № 4. – Pp. 195-200.
9. Kropachev P.A., Imanov E.K., Imanov M.O., Rahimov M.A. Qaita jañartylatyn ğimarattar men qūrylystardy ğylymi-tehnikalyq süiemeldeu. – Qarağandy: «Äbılqas Sağynov atyndağy Qarağandy tehnikalyq universitetı» KeAQ baspasy, 2023, 296 p.
10. Jumabekov B.S. Soverşenstvovanie protsessa tsifrovizatsii v sfere jiliщno-kommunalnogo hozyaistva (na primere g. Petropavlovsk). – Astana, Akademiya gosudarstvennogo upravleniya pri Prezidente Respubliki Kazahstan, 2021. – 73 p.
11. Mesheryakova M.A. Upravlenie innovacionnym razvitiem v sfere ZhKH: Avtoref. dis. dokt. ekon. nauk. – Voronezh: VGTU, 2021. – 42 p.
12. SP RK 1.04-101-2012 «Obsledovanie i otsenka tehnicheskogo sostoyaniya zdanii i soorujenii».
13. SN RK 1.04-26-2022 «Rekonstrukciya, kapitalnyj i tekushij remont grazhdanskih, proizvodstvennyh zdanij i sooruzhenij».
14. Kropachev P.A. Nauchno-tehnicheskoe soprovozhdenie zhiznennogo cikla geotehnicheskih sistem: monografiya. – Karaganda: KarTU imeni Abylkasa Saginova, 2025. – 173 p.
15. Rakhimova G., Zhangabay N., Samoilova T., Rakhimov M., Stanevich V., Kropachev P., Karacasu M., Ibraimova U. Computational Research of the Efficiency of Using a Three-Layer Panel Made of Highly Porous Polystyrene Concrete (2024) Materials, 17 (16), Switzerland.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_210 UDC 624.9(574)=111

Analysis of Pile Foundations as a Geotechnical Component in Complex Soil Conditions

[1]***TOKANOV Daniyar,** Cand. of Tech. Sc., Dean, d.tokanov@ktu.edu.kz,
[2]**MAMMADOV Nurmammad,** Professor, nurmammad.mammadov@azmiu.edu.az,
[1]**ORAZALY Yerbol,** Cand. of Tech. Sc., Associate Professor, e.orazaly@ktu.edu.kz,
[1]**AZIMBAYEVA Zhanat,** Cand. of Ped. Sc., Head of Department, zh.azimbayeva@ktu.edu.kz,
[1]**KIKNADZE Rima,** Senior Lecturer, r.kiknadze@ktu.edu.kz,
[1]Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
[2]Azerbaijan University of Architecture and Construction, Baku, Azerbaijan,
*corresponding author.

Abstract. *For the first time in research practice, the performance of pile foundations is examined in conjunction with a comprehensive geotechnical assessment of soil conditions during construction on problematic territories. The study is based on the results of technical inspections and aims to identify the causes of deformations in the load-bearing structures of buildings. Particular challenges arise in the development of areas located on the sites of former quarries that were later backfilled with loose, uncompacted soils. The analysis revealed significant errors made during geotechnical investigations, which resulted in unacceptable settlements and structural damage. These findings indicate the need to revise existing design approaches and to strengthen quality control over geotechnical surveys. This issue becomes particularly relevant in the context of the transition to Eurocode-based design, which requires a more accurate adaptation of international standards to local geological conditions.*

Keywords: *pile foundations, geotechnical analysis, problematic soils, bearing capacity, engineering-geological conditions, fill soils, foundation deformation, Eurocode standards, quarry backfill, construction design errors.*

Introduction

In conditions of intensive urbanization and expansion of construction activities within previously developed or disturbed areas, including filled quarries, the problem of reliable foundation design on soils with complex engineering-geological structures is becoming increasingly relevant. Studies show that in such conditions, the risks of building deformation increase due to underestimation of foundation properties and design errors [3], [9]. This is especially true for pile foundations, whose behavior is difficult to predict without taking into account geotechnical heterogeneity, the depth of strong layers, and the degree of anthropogenic disturbance of the upper part of the section [1], [2], [10].

The relevance of the problem is exacerbated by the transition to design according to Eurocode standards, which require a more detailed justification of engineering-geological characteristics [5], [7], [9]. In particular, when designing piles operating in conditions of alternating weak and semi-rocky soils, it is critically important to take into account the typological features of the geological structure, including modern man-made deposits (fill sandy-clay and construction debris), eluvial formations and weathering crust of the Lower Carboniferous (loam, sandy loam, gravelly soils), as well as fractured sandstones of the Lower Carboniferous bedrock [6]. Such conditions are observed, for example, at reconstruction sites in areas of old industrial or mining facilities [4], [10].

Practice shows that a frequent cause of accidents is the lack of a reliable connection between the piles and the bearing layer, especially when designing suspended piles in unstable foundations [5], [7]. At the same time, pile foundations, like slab-pile systems, require coordination not only of the depth of immersion, but also of the actual structure of the foundation, including the need to use leader wells to cut through sedimentary deposits to the rock foundation [5], [6-10].

The purpose of this study is to identify the reasons for the inoperability of pile foundations in conditions of technologically disturbed and heterogeneous foundations, as well as to for-

mulate recommendations for the correct selection of the type of foundation and the technology for its construction based on the analysis of actual data, engineering-geological surveys, and design verification.

Methods

This paper examines the construction site of the new laboratory building of L.N. Gumilyov Eurasian National University, located at 5 Munaitpasov Street, Astana. The choice of pile foundation type for this project was dictated by the complex engineering and geological conditions characteristic of the left bank of the city, which was formed within the alluvial deposits of the Esil and Nura rivers.

To a depth of 5-6 m, the area is covered by water-saturated alluvial and redeposited soils, which gives the foundation its specific mechanical properties. During pile driving work at this site, abnormal behavior of the gravel-pebble layer was observed: despite the standard design strength of R = 8800 kPa at a depth of 5 m, the layer did not provide the required bearing capacity. According to the explanation of the engineering geologists, this discrepancy is due to the influence of river silt, which lies in the form of thin interlayers that significantly reduce the values of the angle of internal friction and specific adhesion, turning potentially dense soil into problematic soil.

The groundwater regime is characterized by seasonal variability: the minimum level is observed in February, the maximum in May, with an amplitude of 1-2 m. Considering the local influence of both natural and man-made factors (infiltration from utilities, barrage effect of pile fields), a possible increase in the groundwater level is predicted, which also affects the durability and performance of pile structures.

Thus, analysis of the selected site justifies the need for a detailed assessment of both the geotechnical conditions and the actual condition of the piles, which were constructed in conditions of hidden stratification and variable soil moisture (Figure 1, Figure 2, and Figure 3).

Geological structure of the site

Based on a field visual description confirmed by laboratory soil test results, it has been established that, to a depth of 14.0 m, the geological structure of the survey site consists of weathered crust deposits on Lower Carboniferous sedimentary rocks, represented by loams, gravelly soils, a gravelly-boulder zone, and Lower Carboniferous sandstones. There is a sharp difference in the thickness of the base soil layers, as the entire site was previously occupied by a quarry, which was subsequently filled with fill soil, forming an artificial base at the time of the survey.

BULK SOILS tQIV

The bulk soils have a thickness of 4.9–7.9 m. According to the field description, they consist of loam and sandy loam, in a single case clay with up to 49.8% gravel and crushed stone, and concrete. In borehole No. 260-22, at a depth of 4.9 m, the voids are filled with ice and snow. In terms of compaction, the soils are unconsolidated and cannot serve as a reliable foundation. According to the regulatory documents in force in the Republic of Kazakhstan, the time required for self-compaction of fill soils of this quality and method of filling is 2-5 years (SP RK 1.02-102-2014, clause 9.7, table 7). It should also be noted [5] that, as static probing has shown, this layer cannot serve as a foundation for pile tips and make significant corrections to the foundation model.

LOAM e(C1)

Exposed by borehole No. 262-22 at a depth of 7.9 m, with a thickness of 1.10 m. According



Figure 1 – General view of building structures



Figure 2 – Monolithic reinforced concrete pile grillage



Figure 3 – Deep cracks with a width of acrc=0,05…3,0 mm at the top of the pile

to the field description, they are yellowish-gray, manganese-rich, iron-rich, with inclusions of gravel and crushed weathered sandstone up to 10%. In terms of deformation modulus, the soils are classified as moderately compressible, requiring settlement calculations, and can serve as a natural foundation.

RUBBLE AND GRUS SOILS e(C1)

Exposed at a depth of 4.9-9.7 m, with a thickness of 0.8-6.0 m. According to the field description, sandy-gravelly soils (weathered sandstone crust) are yellow-gray, greenish-gray, with loamy filler up to 37.9%. The gravel and crushed stone consist of fragments of slightly to moderately weathered, low-strength sandstone. They are classified as coarse-grained soils and can serve as a natural foundation.

CRUSHED STONE AND BOLDER ZONE e(C1)

It is represented by interlayers of gravelly soils and sandstone boulders. The gravelly-boulder zone was exposed by all boreholes except No. 262-20, with an exposed thickness of 1.0 and 3.80 m. According to the field description, the gravelly-boulder zone is gray, greenish-gray, the gravel is represented by moderately to strongly weathered and low-strength sandstones and can serve as a natural foundation.

SANDSTONES C1

Wells No. 257-22 and No. 260-22 were drilled to depths of 7.4 and 11.2 m, respectively, with exposed thicknesses of 1.1 and 2.8 m. According to the field description, the sandstones are gray, dark gray, dense and very dense, weathered, fissured, and iron-rich along the fissures. Rock soils are a reliable foundation for civil buildings.

On the survey site, according to drilling data (October 2022), groundwater was exposed at a depth of 5.00-6.65 m (absolute marks of the established level were 352.39-353.81 m). In the spring, the groundwater level is expected to rise 1.20 m above the one-time measurement (October 16, 2022), and the absolute marks of the predicted level will be 353.59–355.01 m.

The average values of the filtration coefficients for fill soils are taken from laboratory data, and for other water-bearing soils from research data: for fill soils – 0.009 m/day; for eluvial loams – 0.017 m/day; for gravelly-crumbly soils – 11.2 m/day; for the gravelly-boulder zone – 11.5 m/day; for fine-grained sandstones – 18.25 m/day.

Results and Discussion

Based on a field visual description of the soils, confirmed by laboratory tests and static probing, the soils comprising the survey area were divided into engineering-geological elements in the stratigraphic sequence of their occurrence: EGE – 1 Fill soils tQIV; IGE-2 Loam e(CI); EGE-3 Gravelly-crumbly soils e(C1); EGE-4 Crumbly-boulder zone e(C1); EGE-5 Sandstones C1.

The average value of the deformation modulus according to the results of stamp tests for fill soils represented by loams of hard consistency was 9.5 MPa, in wells No. 256-22 at a depth of 6.5 m, No. 259-22 at a depth of 3.3 m, it was 1.45 MPa for fill soils represented by loams of fluid-plastic consistency, which does not recommend considering them as a natural foundation.

The effective operation of pile foundations depends on the appropriate type of piles and their length. The distances to the roof of low-compressible and practically incompressible soils, determined by the results of drilling, must be linked to the cross-sections of the building's load-bearing structures. In the example under consideration, the customer specified a design load on the pile of 55.835 tons (558.35 kN). The total number of piles

driven in six blocks, according to the pile driving log, is 1,373. The design loads on the piles adopted in the project are: in block 1 – 573.24 kN, in blocks 2 and 5 – 560.82 kN, in blocks 3 and 4 – 573.24 kN, and in block 6 – 509.84 kN.

According to Table 16 in the Technical Report prepared by KaragandaGIIZ LLP, the bearing capacity of the piles at depths for the blocks is as follows:

- in block 1 – 320-512 kN (at depths of 3.0-9.0 m);
- in block 2 – 309 kN (at a depth of 3.0 m);
- in block 3 – 252…524 kN (at depths of 3.0…5.0 m);
- in block 4 – 282…431 kN (at depths of 3.0…5.0 m);
- in block 5 – 214…400 kN (at depths of 3.0…5.0 m);
- in block 6 – 219…543 kN (at depths of 3.0…6.0 m).

If suspended piles of various lengths are used as load-bearing elements for foundations, their required load-bearing capacity will not be ensured (Figure 4).

N+1. Discussion

Selecting the length of suspended piles is a rather complex and responsible decision that requires experience and the subsequent adoption of appropriate pile driving equipment. At the same time, it is necessary to "place the building on an engineering-geological section" and clarify the soil layers along the length of the piles and those falling within the compressible thickness of the foundation. Errors made at this stage of design can lead to significant deviations in the bearing capacity and deformation of the piles, as confirmed by data from technical survey materials:

The current technical condition of the foundations under study, based on the results of the analysis of the soil conditions of the site and the actual data on the piles, is assessed as pre-emergency, due to the fact that their piles are actually located in thick fill soils and loams.

According to the engineering-geological sections specified in the survey report prepared by SCARI Zhanat LLP at the construction site in 2022, the following data has been determined:

- According to section I-I, the reliable foundation (sandstone) is located within the absolute elevations of 345.30-348.20; the distance from the surface of the site to the sandstone layer is 8.5-11.0 m;
- According to section II-II, the reliable foundation (sandstone) is located at an absolute elevation of 348.50; the distance from the surface of the site to the sandstone layer is 7.8 m;
- According to section III-III, the reliable foundation (sandstone) is located within absolute elevations of 347.40-349.20; the distance from the surface of the site to the sandstone layer is 7.3-9.0 m;
- According to section IV-IV, the reliable foundation (sandstone) is located within absolute elevations of 349.40-351.30; the distance from the site surface to the sandstone layer is 5.5-7.0 m.
- Along section V-V, the reliable foundation (sandstone) is located within absolute elevations of 350.80-351.80; the distance from the site surface to the sandstone layer is 5.0-5.8 m;
- According to section VI-VI, the reliable foundation (sandstone) is located within absolute elevations of 351.00-351.80; the distance from the site surface to the sandstone layer is 5.0-5.7 m;
- According to section VII-VII, the reliable foundation (sandstone) is located within absolute elevations of 348.20-351.80; the distance from the site surface to the sandstone layer is 5.0-8.5 m;
- Along section VIII-VIII, the reliable foundation (sandstone) is located within absolute elevations of 347.40-351.80; the distance from the site surface to the sandstone layer is 5.0-9.0 m;
- Along section IX-IX, the reliable founda-

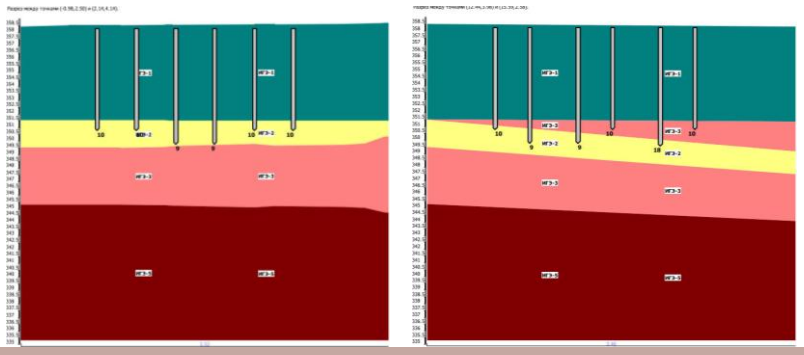


Figure 4 – Foundations of blocks 1...6 (piles, grillage)

tion (sandstone) is located within absolute elevations of 345.30-351.00; the distance from the site surface to the sandstone layer is 5.7-11.0 m;

• According to section X-X, the reliable foundation (sandstone) is located within absolute elevations of 350.80-351.80; the distance from the site surface to the sandstone layer is 5.0-5.8 m;

• According to section XI-XI, the reliable foundation (sandstone) is located within absolute elevations of 347.40-351.80; the distance from the site surface to the sandstone layer is 5.0-9.0 m;

• According to section XII-XII, the reliable foundation (sandstone) is located within absolute elevations of 345.30-348.20; the distance from the site surface to the sandstone layer is 8.5-11.0 m.

• Analysis of the above information showed that in order to use piles as pile supports (the ends of such piles must be located in a layer of reliable foundation, which in this case is rock soil – sandstone), a pile length of 12.0 m is sufficient, while the bearing capacity of the pile, according to the soil, made of B22.5 class concrete and reinforced with 4 Ø 12AII [5].

$$F_d = \gamma_c \cdot R \cdot A = 1 \cdot 2000 \cdot 0.09 =$$
$$= 180\ mc = 1800\ kN.$$

The design load on the pile on the soil is determined taking into account the safety factor. γd = 1,4.

$$N = \frac{F_d}{d} = \frac{1800}{1.4} = 1280\ kN.$$

The design load on the pile based on the material strength is determined according to the pile strength verification chart provided in the working drawings of typical pile structures. For this pile, N = 1200 kN. The design load on the pile is recommended to be the lesser of the two values, i.e., N = 1200 kN.

It should be noted that when the pile is driven into the crushed stone and boulder zone e(C1) by 0.5 m, it will also function as a pile-post. Thus, pile supports are understood to be not just piles that transfer most of the load to the ground with their lower end, but piles that are practically unable to transfer the load through their side surface due to insignificant settlements of the soil underlying the lower end of these piles. Therefore, the connection between the piles and the grillage should be considered rigid.

Conclusion

1. When constructing on problematic soils, it is critically important to accurately determine the boundaries of their distribution both in plan and in sections. This requires close cooperation between surveyors, geotechnical engineers, and designers at all stages of design and construction.

2. In conditions of weak soils, it is advisable to conduct a technical and economic comparison of alternative foundation options, such as a slab foundation with a system of expansion joints and a slab-pile foundation, in order to select the optimal solution.

3. Cutting through problematic soils using suspended piles is associated with a number of geotechnical difficulties related to ensuring bearing capacity, controlling deformation, and the technological feasibility of the pile foundation.

4. For civil buildings with a load of 0.10...0.30 MPa and in the presence of compressible thickness with a depth to bedrock of 3.0...12.0 m, it is recommended to use pile-posts with rigid embedding in the grillage.

5. In the case of rock eluvial rocks covered by sedimentary soils of medium compressibility, it is necessary to ensure that these layers are cut through with piles, even through leader wells, so that the piles function as pile supports and prevent unwanted deformation of the foundations.

REFERENCES

1. СП РК 1.04-101-2012 «Обследование и оценка технического состояния зданий и сооружений». – Астана: РГП «КазНИИССА», РГКП «КарГТУ» МОН РК, 2015.
2. СП РК 1.02-105-2014 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения». – Астана: РГП «КазНИИССА», ТОО «ЗЦ АТСЭ», 2015.
3. СП РК 1.02-102-2014 «Инженерно-геологические изыскания для строительства». – Астана: РГП «КазНИИССА», ТОО «ЗЦ АТСЭ», 2015.
4. СП РК 5.01-101-2013 «Земляные сооружения, основания и фундаменты». – Астана: РГП «КазНИИССА», 2024.

5. СН РК 5.01-03-2013 «Свайные фундаменты». – Астана: Комитет по делам строительства, жилищно-коммунального хозяйства и управления земельными ресурсами Министерства национальной экономики Республики Казахстан, 2015.
6. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения. 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Изд-во Ассоциация строительных вузов, 2016. – 1031 с.
7. Турдалиев, В.М., Хакимов, У.А., и Уктамов, С.М. (2025). Выбор оптимальных конструкций приводов для гидроэнергетических систем с низконапорным потоком // Российские инженерные исследования, 45 (7), 909-910. https://doi.org/10.3103/S1068798X2570145X
8. Алауи, К., Уакки, М., Арибоу, З., Рбаа, М., Тухами, М.Э., и Эль Касими, Й. (2025). Экспериментальное, математическое моделирование и симуляция ингибирования коррозии в травильной ванне мягкой стали // Гибридные достижения, 11, 100544.
9. Шимшек, М., Челик, С., и Акогуз, Х. (2025). Сравнительное исследование механических и микроструктурных свойств биоцементированных песчаных грунтов, улучшенных с помощью биополимера: оценка методов смешивания и инъекционной обработки // Прикладные науки, 15 (14), 8090. https://doi.org/10.3390/app15148090
10. Сивакумар, В.Г., Баскар, В.В., Вадивел, М., Вимал, С.П., и Муруган, С. (2023, октябрь). Интеграция IoT и ГИС для мониторинга состояния почв и уровня питательных веществ в режиме реального времени // Материалы Международной конференции по самообеспечивающимся системам искусственного интеллекта (ICSSAS 2023) (С. 1265-1270). IEEE.

Тұрғын үй құрылысындағы ғимараттардың тұрақтылығына терең жатқан күрделі геологиялық-грунттық жағдайлардың сындарлы әсері

*[1]*ТОКАНОВ Данияр Токанович, т.ғ.к., декан, d.tokanov@ktu.edu.kz,*
[2]МАММАДОВ Нурмаммад, профессор, nurmammad.mammadov@azmiu.edu.az,
[1]ОРАЗАЛЫ Ербол Ермекулы, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, e.orazaly@ktu.edu.kz,
[1]АЗИМБАЕВА Жанат Амантаевна, п.ғ.к., кафедра меңгерушісі, zh.azimbayeva@ktu.edu.kz,
[1]КИКНАДЗЕ Римма Кенесовна, аға оқытушы, r.kiknadze@ktu.edu.kz,
[1]Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
[2]Әзербайжан сәулет және құрылыс университеті, Баку, Әзербайжан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Зерттеу тәжірибесінде алғаш рет қадалы іргетастардың жұмыс істеу ерекшелігі күрделі аумақтардағы құрылыс кезінде топырақ жағдайларын геотехникалық бағалаумен кешенді түрде қарастырылды. Зерттеу техникалық тексеру нәтижелеріне негізделіп, ғимараттардың көтеруші конструкцияларында пайда болатын деформациялардың себептерін анықтауға бағытталған. Ерекше күрделілік бұрын пайдаланылған карьерлердің орнында орналасқан, кейіннен тығыздалмаған үйінді топырақтармен толтырылған аумақтардағы құрылыс жағдайларымен байланысты. Талдау барысында инженерлік-геологиялық ізденістер кезінде жіберілген елеулі қателіктер анықталып, олардың салдарынан іргетастарда шамадан тыс шөгу мен құрылымдардың зақымдануы орын алған. Бұл деректер жобалау тәсілдерін қайта қарау және геотехникалық ізденістердің сапасына бақылауды күшейту қажеттігін көрсетеді. Әсіресе, жобалаудың Еурокодтарға көшу жағдайында бұл мәселенің өзектілігі артып, шетелдік нормаларды жергілікті жағдайларға неғұрлым дәл бейімдеуді талап етеді.*

Кілт сөздер: *проблемалық топырақтар, деформациялар, көп қабатты ғимарат, қадалы іргетас, жобалау қателері, инженерлік-геологиялық жағдайлар.*

Критическое влияние заглубленных сложных грунтовых условий на устойчивость зданий в жилищном строительстве

*[1]*ТОКАНОВ Данияр Токанович, к.т.н., декан, d.tokanov@ktu.edu.kz,*
[2]МАММАДОВ Нурмаммад, профессор, nurmammad.mammadov@azmiu.edu.az,
[1]ОРАЗАЛЫ Ербол Ермекулы, к.т.н., ассоциированный профессор, e.orazaly@ktu.edu.kz,
[1]АЗИМБАЕВА Жанат Амантаевна, к.п.н., зав. кафедрой, zh.azimbayeva@ktu.edu.kz,
[1]КИКНАДЗЕ Римма Кенесовна, старший преподаватель, r.kiknadze@ktu.edu.kz,
[1]Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
[2]Азербайджанский университет архитектуры и строительства, Баку, Азербайджан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Впервые в исследовательской практике работа свайных оснований рассматривается в комплексе с геотехнической оценкой грунтовых условий при строительстве на проблемных территориях. Исследование основано на результатах технического обследования и направлено на выявление причин возникновения деформаций несущих конструкций зданий. Особую сложность представляет застройка участков, расположенных на месте бывших выработанных карьеров, позднее засыпанных неуплотнёнными насыпными грунтами. В процессе анализа выявлены серьёзные ошибки, допущенные при инженерно-геологических изысканиях, что привело к недопустимым осадкам и повреждениям конструкций. Данные факты свидетельствуют о необходимости пересмотра подходов к проектированию и усиления контроля за качеством геотехнических изысканий. Особенно актуальной становится данная проблема в условиях перехода к проектированию по Еврокодам, что требует более точной адаптации зарубежных норм к местным условиям.*

Ключевые слова: *проблемные грунты, деформации, высотное здание, свайный фундамент, ошибки проектирования, инженерно-геологические условия.*

REFERENCES

1. SP RK 1.04-101-2012 Inspection and Assessment of the Technical Condition of Buildings and Structures. – Astana: RSE "KazNIISSA", RSE "KarGTU" MES RK, 2015.
2. SP RK 1.02-105-2014 Engineering Surveys for Construction. General Provisions. – Astana: RSE "KazNIISSA", LLP "ZC ATSE", 2015.
3. SP RK 1.02-102-2014 Engineering and Geological Surveys for Construction. – Astana: RSE "KazNIISSA", LLP "ZC ATSE", 2015.
4. SP RK 5.01-101-2013 Earth Structures, Foundations and Footings. – Astana: RSE "KazNIISSA", 2024.
5. CH RK 5.01-03-2013 Pile Foundations. – Astana: Committee for Construction, Housing and Communal Services and Land Management of the Ministry of National Economy of the Republic of Kazakhstan, 2015.
6. Geotechnical Handbook. Foundations, Footings, and Underground Structures. 2nd edition, revised and expanded. – Moscow: Association of Civil Engineering Universities Publishing House, 2016, 1031 p.
7. Turdaliev, V.M., Khakimov, U.A., & Uktamov, S.M. (2025). Selecting optimal drive designs for hydropower systems with low-pressure flow // Russian Engineering Research, 45(7), 909-910. https://doi.org/10.3103/S1068798X2570145X
8. Alaoui, K., Ouakki, M., Aribou, Z., Rbaa, M., Touhami, M.E., & El Kacimi, Y. (2025). Experimental, mathematical modeling and simulation of corrosion inhibition of mild steel pickling bath // Hybrid Advances, 11, 100544.
9. Şimşek, M., Çelik, S., & Akoğuz, H. (2025). Comparative study of mechanical and microstructural properties of biocemented sandy soils enhanced with biopolymer: Evaluation of mixing and injection treatment methods // Applied Sciences, 15(14), 8090. https://doi.org/10.3390/app15148090
10. Sivakumar, V.G., Baskar, V.V., Vadivel, M., Vimal, S.P., & Murugan, S. (2023, October). IoT and GIS integration for real-time monitoring of soil health and nutrient status // In 2023 International Conference on Self Sustainable Artificial Intelligence Systems (ICSSAS) (pp. 1265-1270). IEEE.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_217 UDC 656.1:556.5

Engineering and Hydraulic Engineering Approaches to Water Management in Conditions of Water Scarcity

[1]*PRIVALOVA Oxana, Doctoral Student, o.privalova@keu.kz, https://orcid.org/0009-0001-5338-9633,
[1]KADYROV Adil, Dr. of Tech. Sc., Research Professor, adil.suratovich@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-7071-2300,
[1]KUKESHEVA Aliya, PhD, Assistant Professor, aliya.kukesheva@bk.ru, https://orcid.org/0000-0002-3063-5870,
[1]KARSAKOVA Akbope, PhD, Associate Professor (Docent), a.karsakova@ktu.edu.kz, https://orcid.org/0009-0005-0305-6741,
[2]KALININ Andrey, Dr. of Tech. Sc., Professor, andrkalinin@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-6301-5758,
[1]Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
[2]Saint Petersburg State Agrarian University, Saint Petersburg, Russia,
*corresponding author.

Abstract. Methods of snowmelt accumulation as a means of ensuring water security in the Republic of Kazakhstan are considered. The relevance of the topic is justified in the context of limited water resources, transboundary dependence of river flows and climate change. Analytical, predictive and engineering-hydraulic approaches, eco-hydraulic planning and monitoring methods were used. An analysis of threats to water security was carried out, including climate change, anthropogenic impacts and transboundary hydrological risks. The scientific results include the systematization of methods of snowmelt accumulation, the justification of reservoirs, transport infrastructure and engineering equipment to increase the efficiency of water supply and reduce erosion. The practical significance lies in the provision of an integrated approach to sustainable water resource management, increasing water security and adapting to climate change.

Keywords: water security, snowmelt, accumulation, reservoirs, hydrological risk, transport equipment.

Introduction

Water security is a set of measures and conditions that ensure the protection of key societal areas – public health, ecosystems, and economic activity – from threats emanating from the aquatic environment. These threats include natural hydrological processes and phenomena, anthropogenic impacts, and potentially hazardous characteristics of the water bodies themselves, which, under unfavorable circumstances, can cause damage (Figure 1).

Objects and methods of study

Uncontrolled climate change poses the risk of international problems, the emergence of a new zone of vulnerability, and the undermining of the foundations of socioeconomic development. Using the method of predictive modeling of climate scenarios, it was determined that in Kazakhstan, by 2035, the temperature of the surface air in all months of the year is expected to increase by 0.8-1.2 °C, as well as a change in average annual precipitation by 1-3% by 2035 [2].

The natural-economic systems of the Aral-Syr Darya (89%), Ural-Caspian (79%), and Shu-Talash (76%) basins are particularly vulnerable to transboundary water flows.

Due to likely unfavorable climate and transboundary hydrological scenarios, Kazakhstan is expected to lose up to 81.6 km³ of river resources annually by 2020, of which 33.2 km³ will be due to transboundary flows and 48.3 km³ to local flows. By 2030, these figures are projected to reach 72.4 km³ (22.2 km³ transboundary and 50.2 km³ local). These projections serve as the basis for developing a water security strategy for Kazakhstan.

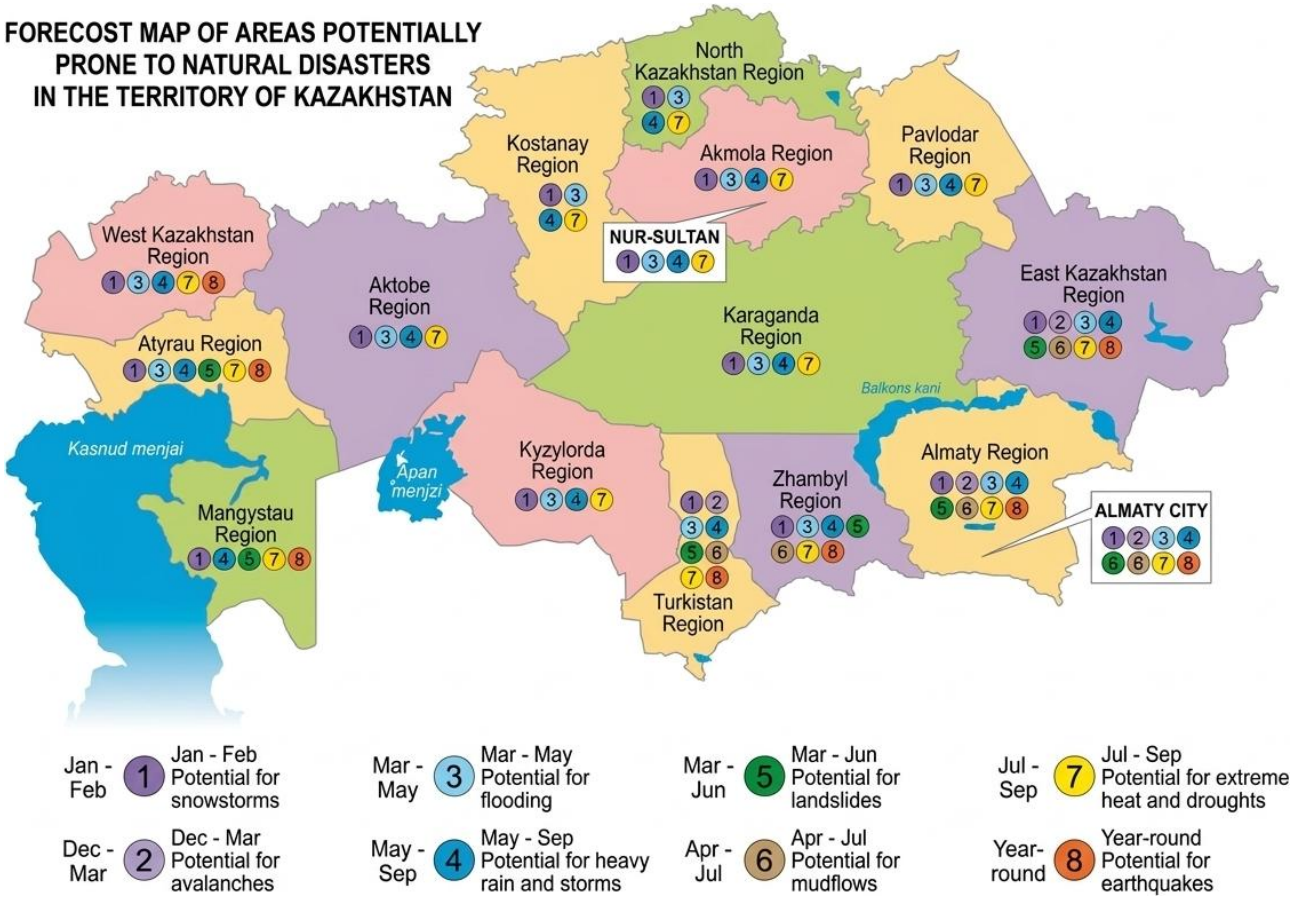


Figure 1 – The Impact of Climate Change on Water Resources in Kazakhstan

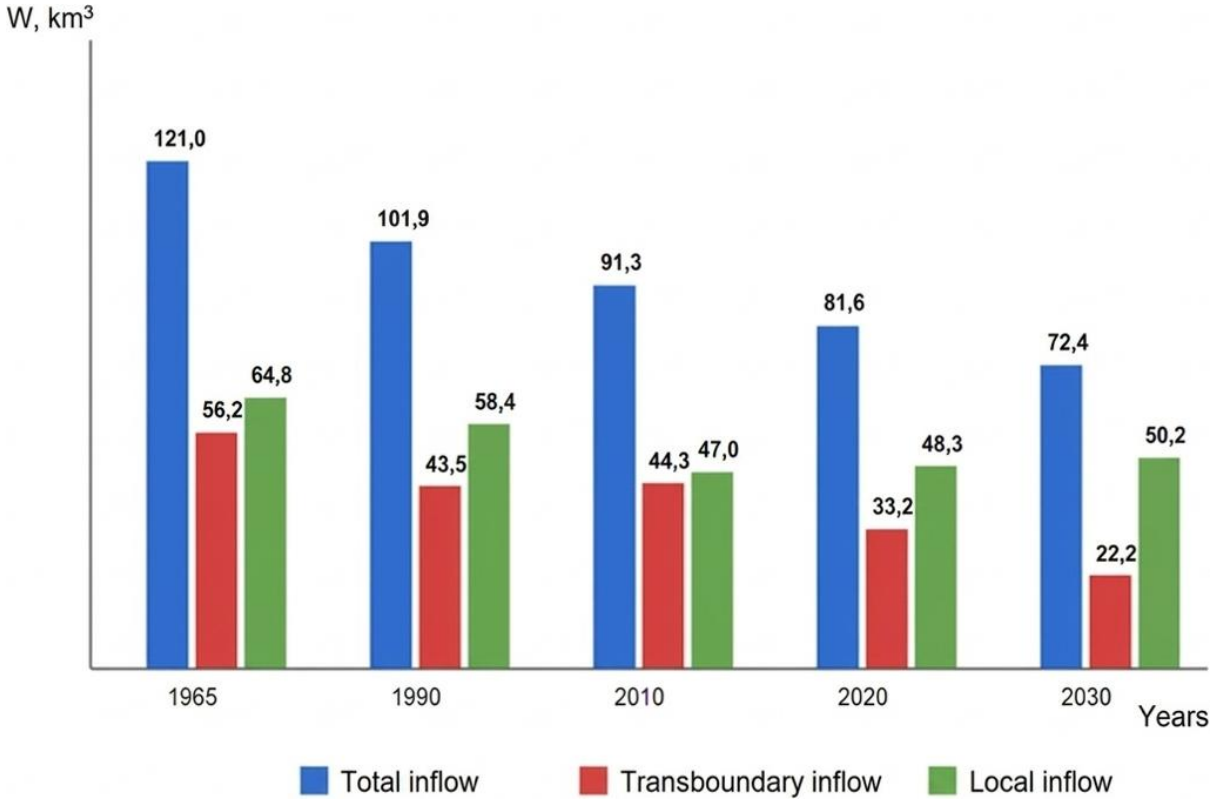


Figure 2 – Risk of depletion of freshwater reserves in rivers

Results and discussion

The following criteria are used to assess the condition of Kazakhstan's water basins:

- Water supply criterion: This indicator reflects the degree to which water needs are met by the population, the economy, and natural resources. It is important that this satisfaction occurs without negatively impacting the ability of water systems to replenish their resources naturally.

- River flow disturbance criterion: This assesses the extent to which human activity alters the natural river flow regime. Since river flow is a key natural resource, its condition directly determines the well-being of both natural and economic systems [4].

In general, due to the reduction in transboundary flows, the republic will face a water deficit of 5.9 km³ per year in 2020 and 15.1 km³ per year in 2030.

Meltwater plays a significant role in the region's hydrological cycle. Its accumulation, especially in the summer, when active melting of snow and glaciers contributes to the abundant filling of rivers and reservoirs, is critical. Effective accumulation allows you to regulate runoff, reduce the risk of drought and ensure water supply during periods when natural water sources are depleted. In addition, the accumulation of meltwater reduces erosion, protects the soil and contributes to the development of agriculture. This is especially important for Kazakhstan, where large areas are subject to desertification and land degradation [5].

Main methods and measures for harvesting meltwater

1. Creation and expansion of artificial water storage systems

The construction of reservoirs and cisterns is the main method for harvesting meltwater. In order to collect the maximum amount of meltwater in the mountainous regions of Kazakhstan, it is necessary to build new reservoirs and expand existing ones. These systems will regulate the flow, reduce the risk of floods and ensure a stable water supply.

2. Development of transport and distribution infrastructure

To effectively use the accumulated resources, it is necessary to create networks of canals, pipelines and pumping stations. Modern automatic control systems optimize the operation of reservoirs, reduce costs and ensure timely water supply to consumers. Introduction of technologies for harvesting meltwater from surfaces [6].

3. Environmental and hydraulic measures

The creation of forest belts, forests and green spaces helps to regulate meltwater flow, reduce erosion and increase water concentration in targeted areas. These measures also contribute to the preservation of biodiversity and the improvement of the ecological condition of the region.

4. Monitoring, scientific research and forecasting

The introduction of monitoring and forecasting systems allows for an accurate assessment of meltwater volumes and seasonal

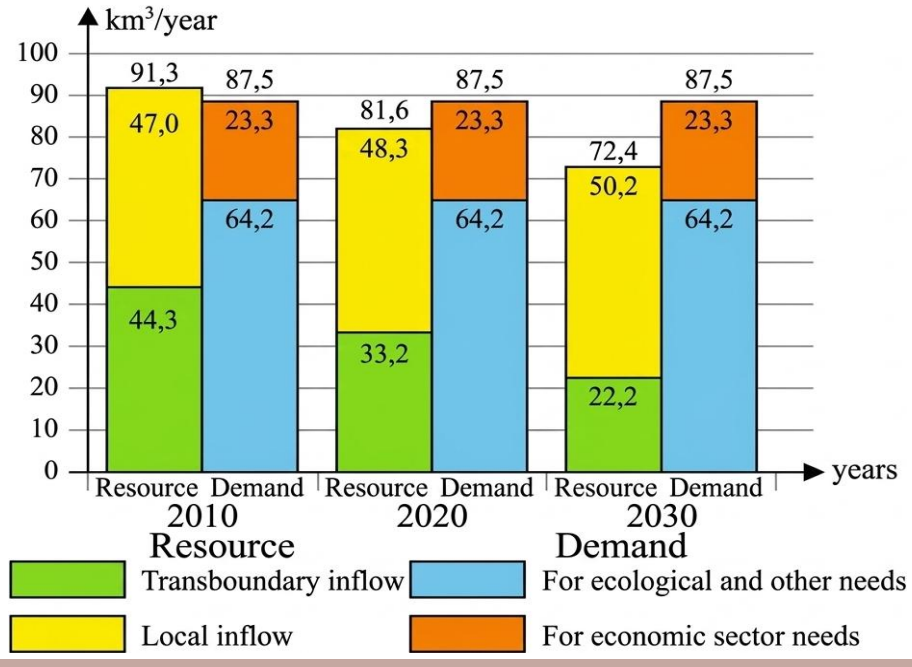


Figure 3 – A real threat of water shortages

Transport equipment in snow and meltwater collection technology

Type of equipment	Main purpose	Specific tasks
Snow plows, graders	Snow removal	Snow removal from streets, roads and open areas; sending snow to water bodies or fields for melting
Loaders, front-end and articulated	Snow transportation	Loading and moving snow masses into self-propelled snow throwers or storage areas
Dump trucks	Snow and meltwater transportation	Transporting snow to ponds, reservoirs or agricultural fields for melting
Mobile pumping stations (on trucks, tractors)	Snow water pumping	Pumping water from temporary reservoirs to reservoirs, canals and reservoirs
Bulldozers, excavators	Construction and maintenance of storage tanks	Extracting soil for ponds, canals and dams; preparing water bodies for receiving melt water
Tractors with trailers or plows	Snow separation and soil preparation	Evenly distributing snow on areas to moisten the soil; forming snow retaining walls
Cranes and manipulators	Installation of hydraulic structures	Installation of tanks, assembly of dams, installation of equipment for temporary water storage

patterns. This helps to plan the collection and distribution of resources, as well as prevent possible emergencies.

5. Educational programs and outreach work

Educational activities, information campaigns and public participation are important components of the successful implementation of these measures [7].

One of the key aspects of effective collection and storage of meltwater is the use of specialized transport equipment that ensures fast and high-quality delivery, processing, and distribution of water. Using transport equipment in large-scale projects and on complex infrastructure sites allows for significant increases in productivity and a significant reduction in the time required to complete tasks.

Conclusions

The use of engineering solutions allows for more efficient management of meltwater reserves, resulting in:

- increased storage volumes;
- reduced evaporation losses and unwanted runoff;
- prevents erosion and leaching of the fertile layer;
- reduces manual labor costs and accelerates the construction of snow retention facilities.

The development and implementation of modern technologies for snowmelt storage opens up new opportunities for increasing the sustainability of water resources, especially in the context of climate change.

The presented methods offer significant potential for optimizing meltwater collection and utilization processes. They allow for simultaneous improvements in environmental performance and economic feasibility. Future research should focus on the further development and implementation of these technologies, adapting them to different climatic zones, and integrating them with water supply systems at the regional and local levels.

REFERENCES

1. Strategy "Kazakhstan-2050": the new political course of the existing state. Poslanie Prezidenta Respublika Kazakhstan – Leadera natsii N.A. Nazarbayeva is the people of Kazakhstan. – Astana, 2012.
2. State program of management of water resources of Kazakhstan. Approved by the Decree of the President of the Republic of Kazakhstan on April 4, 2014, No. 786.
3. Action Plan for the Implementation of the State Water Resources Management Program of Kazakhstan for 2014-2020. Approved by Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan on May 5, 2014, No. 457.

4. Malkovsky I.M. Geographical basis of water supply of natural and economic systems of Kazakhstan. – Almaty, 2020. – 204 p.
5. Water resources of Kazakhstan: assessment, prognosis, management. – B 30 t. Almaty, 2022.
6. Medeu A.R., Malkovsky I.M., Toleubaeva L.S., Alimkulov S.K. Water security of the Republic of Kazakhstan: problems of sustainable water supply. – Almaty, 2015. – 582 p.
7. Bekturganov N.S., Pivovarov A.N., Malkovsky I.M. Water security of the Republic of Kazakhstan: Trans-Kazakhstan channel "Yertis-Syr Darya" // Izvestiya NAEN. – Astana, 2016. – No. 4. – Pp. 4-9.

Су тапшылығы жағдайында суды үнемдеуді басқаруға инженерлік және гидравликалық тәсілдер

*[1]*ПРИВАЛОВА Оксана Алексеевна,* *докторант, o.privalova@keu.kz, https://orcid.org/0009-0001-5338-9633,*
[1]ҚАДЫРОВ Әділ Суратұлы, *т.ғ.д., зерттеуші-профессор, adil.suratovich@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-7071-2300,*
[1]КУКЕШЕВА Әлия Бакибайқызы, *PhD, профессор ассистенті, aliya.kukesheva@bk.ru, https://orcid.org/0000-0002-3063-5870,*
[1]КАРСАКОВА Ақбөпе Жолайқызы, *PhD, қауымдастырылған профессор (доцент), a.karsakova@ktu.edu.kz, https://orcid.org/0009-0005-0305-6741,*
[2]КАЛИНИН Андрей Борисович, *т.ғ.д., профессор, andrkalinin@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-6301-5758,*
[1]Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
[2]Санкт-Петербург мемлекеттік аграрлық университеті, Санкт-Петербург, Ресей,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Қазақстан Республикасының су қауіпсіздігін қамтамасыз ету құралы ретінде еріген қар суын шоғырландыру әдістері қарастырылады. Су ресурстарының шектеулілігі, өзен ағысы мен климаттық өзгерістердің трансшекаралық тәуелділігі жағдайында тақырыптың өзектілігі негізделген. Талдамалық, болжамдық және инженерлік-гидротехникалық тәсілдер, эко-гидротехникалық жоспарлау және мониторинг әдістері пайдаланылды. Климаттық өзгерістерді, антропогендік әсерлерді және трансшекаралық гидрологиялық тәуекелдерді қоса алғанда, су қауіпсіздігіне қауіп-қатерлерге талдау жүргізілді. Ғылыми нәтижелер еріген суларды шоғырландыру әдістерін жүйелеуді, сумен қамтамасыз етудің тиімділігін арттыру және эрозияны төмендету үшін су қоймаларын, көлік инфрақұрылымын және инженерлік техниканы негіздеуді қамтиды. Практикалық маңыздылығы су ресурстарын орнықты басқаруға, су қауіпсіздігін арттыруға және климаттық өзгерістерге бейімделуге кешенді тәсілді ұсынудан тұрады.*

Кілт сөздер: *су қауіпсіздігі, еріген су, шоғырлану, су қоймалары, гидрологиялық тәуекел, көлік жабдықтары.*

Инженерные и гидротехнические подходы к водохозяйственному управлению в условиях водного дефицита

*[1]*ПРИВАЛОВА Оксана Алексеевна,* *докторант, o.privalova@keu.kz, https://orcid.org/0009-0001-5338-9633,*
[1]КАДЫРОВ Адиль Суратович, *д.т.н., профессор-исследователь, adil.suratovich@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-7071-2300,*
[1]КУКЕШЕВА Алия Бакибаевна, *PhD, ассистент профессора, aliya.kukesheva@bk.ru, https://orcid.org/0000-0002-3063-5870,*
[1]КАРСАКОВА Акбопе Жолаевна, *PhD, ассоциированный профессор (доцент), a.karsakova@ktu.edu.kz, https://orcid.org/0009-0005-0305-6741,*
[2]КАЛИНИН Андрей Борисович, *д.т.н., профессор, andrkalinin@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-6301-5758,*

[1]Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
[2]Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Россия,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Рассматриваются методы концентрации талых вод как средства обеспечения водной безопасности Республики Казахстан. В условиях ограниченности водных ресурсов, трансграничной зависимости речного стока и климатических изменений обусловлена актуальность темы. Использованы аналитические, прогнозные и инженерно-гидротехнические подходы, методы экогидротехнического планирования и мониторинга. Проведен анализ угроз водной безопасности, включая климатические изменения, антропогенные воздействия и трансграничные гидрологические риски. Научные результаты включают систематизацию методов концентрации талых вод, обоснование водохранилищ, транспортной инфраструктуры и инженерной техники для повышения эффективности водообеспечения и снижения эрозии. Практическая значимость заключается в предоставлении комплексного подхода к устойчивому управлению водными ресурсами, повышению водной безопасности и адаптации к климатическим изменениям.*

Ключевые слова: *водная безопасность, талая вода, концентрация, водохранилища, гидрологический риск, транспортное оборудование.*

REFERENCES

1. Strategy "Kazakhstan-2050": the new political course of the existing state. Poslanie Prezidenta Respublika Kazakhstan – Leadera natsii N.A. Nazarbayeva is the people of Kazakhstan. – Astana, 2012.
2. State program of management of water resources of Kazakhstan. Approved by the Decree of the President of the Republic of Kazakhstan on April 4, 2014, No. 786.
3. Action Plan for the Implementation of the State Water Resources Management Program of Kazakhstan for 2014-2020. Approved by Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan on May 5, 2014, No. 457.
4. Malkovsky I.M. Geographical basis of water supply of natural and economic systems of Kazakhstan. – Almaty, 2020. – 204 p.
5. Water resources of Kazakhstan: assessment, prognosis, management. – B 30 t. Almaty, 2022.
6. Medeu A.R., Malkovsky I.M., Toleubaeva L.S., Alimkulov S.K. Water security of the Republic of Kazakhstan: problems of sustainable water supply. – Almaty, 2015. – 582 p.
7. Bekturganov N.S., Pivovarov A.N., Malkovsky I.M. Water security of the Republic of Kazakhstan: Trans-Kazakhstan channel "Yertis-Syr Darya" // Izvestiya NAEN. – Astana, 2016. – No. 4. – Pp. 4-9.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_223 УДК 69.002.5

Исследование траншейных машин механического принципа действия

СУЮНБАЕВ Шинполат Мансуралиевич, *д.т.н., профессор, shinbolat_84@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-4867-8270,*
Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан.

Аннотация. *Рассмотрен процесс разрушения грунта фрезерным рабочим органом, основанный на взаимодействии режущих элементов с грунтовым массивом при сложном движении инструмента. Движение резцов описывается как суперпозиция поступательного перемещения и вращения, в результате чего траектория их движения имеет циклоидальный характер. Получены аналитические зависимости для определения абсолютной скорости резания, кинематического угла резания и толщины срезаемой стружки с учетом параметров режима работы. Проведен анализ сил, действующих на фрезерный рабочий орган, включая активные усилия подачи и вращения, сопротивление грунта разрушению, а также дополнительные нагрузки, возникающие при транспортировании разрушенного грунта и работе в тиксотропной среде. Учтены гидродинамические эффекты и вторичные силы, влияющие на общее нагружение инструмента. На основе комплексного подхода предложена математическая модель процесса взаимодействия фрезерного рабочего органа с грунтом, позволяющая оценить влияние кинематических и силовых параметров на эффективность разрушения грунта. Результаты исследования могут быть использованы при проектировании и оптимизации рабочих органов землеройных машин.*

Ключевые слова: *фрезерный рабочий орган, разрушение грунта, кинематика резания, циклоидальная траектория, толщина стружки, силы сопротивления, математическое моделирование.*

Введение

Процесс разрушения грунта фрезерным рабочим органом происходит путем внедрения резцов в грунтовый массив и представляет собой совокупность элементарных взаимодействий резцов с грунтом. При этом каждый резец движется по сложной траектории, являющейся результатом сочетания подачи инструмента за собой со скоростью V и вращательного движения фрез с угловой скоростью ω. При внедрении резца в грунтовый массив направление вращательного движения совпадает с направлением поступательного перемещения инструмента, а при выходе – с противоположного ему. Угол охвата рабочего органа грунтом в общем случае равен 180°, и следовательно, лишь половина резцов имеет контакт с грунтом. В каждый момент времени в некоторой точке на расстоянии $\tau_0=\upsilon/\omega$ от оси фрезы скорости поступательного и вращательного движения уравниваются [1].

Методы исследования

Перемещение окружности радиусом r_0 без скольжения по прямой, расположенной на расстоянии r_0 от оси фрезы, перпендикулярно резцам. Ее уравнения имеют вид циклоиды $x=r_0\Theta-R\sin\Theta$, $y=r_0\Theta-R\sin\Theta$, где Θ – угол поворота фрезы из начального положения; R – радиус фрезерного рабочего органа до режущих кромок резцов.

Абсолютная скорость резания υ_p – результат сложения переносной скорости подачи и относительной скорости вращения инструмента, она определяется по теореме косинусов:

$$\upsilon_P = \sqrt{\upsilon^2 + \omega^2 R^2 + 2\omega R\cos\theta}\ *. \qquad (1)$$

*Для исследуемых машин величина ωR на два порядка выше υ. Для УТФ-2 ωR=1 м/с; $\upsilon=1\cdot10^{-2}$ м/с.

Циклоидальные траектории перемещения резцов, описываемыми в процессе непрерывной подачи рабочего органа на забой, смещены относительно друг друга на величину шага, который является максимальной толщиной срезаемой стружки $h_{\max}=\frac{2\pi\upsilon}{\omega}$.

Угол резания, равный углу между передней гранью резца касательной к траектории резания, в рассматриваемом случае отличается от угла резания δ в простом вращательном или поступательном движениях резцов.

Это связано с переменным положением касательной к траектории резания в случае сложного движения инструмента. Кинематический (истинный) угол резания в сложном движении будет меньше δ_1 на угол, заключенный между касательными к кругу и циклоиде, и определится зависимостью [2]:

$$\delta = \delta_1 - \theta + arctg\frac{R\sin\theta}{R_{\max} + R\cos\theta_1}. \quad (2)$$

Толщину срезаемой резцом стружку находим из выражения

$$h = h_{\max}\sin t, \quad (3)$$

где t – угол положения рассматриваемого сечения стружки.

Закон изменения угла t можно установить, если взять первую производную от параметрических уравнений траекторий резца и определить угол наклона касательной к циклоиде в рассматриваемом сечении с использованием геометрической интерпретации первой производной.

В итоге, используя выражение $h_{\max}$, получим

$$h = \frac{2\pi\upsilon}{\omega}\sin \operatorname{arctg}\frac{R\sin\theta}{R\cos\theta + \frac{\upsilon}{\omega R}}. \quad (4)$$

Если угол охвата фрезы грунтом 180°, то толщина среза сначала увеличится от 0 до максимума, а затем падает до 0, а стружка имеет серповидное сечение.

Внедрение режущих элементов фрезерного рабочего органа в грунт и снятие ими стружки с поверхности забоя происходит под действием нагрузок различной физической природы. Рассмотрим эти нагрузки более подробно для определения полного нагружения фрезерного инструмента. При этом направление сил задается в цилиндрической системе координат с вертикальной осью OZ и вращением относительно оси OX.

Действующие на фрезерных рабочий орган силы разделим на активные и пассивные. К активным силам относятся усилие подачи Q инструмента на забой, создаваемое механизмом подачи, и окружная сила вращения P_p фрезы, создаваемая приводом вращения. В случае гибкой подвески инструмента усилие подачи адекватно весу рабочего органа и может уменьшаться натяжением каната. Усилие подачи Q в зависимости от наличия штанги или канатной подвески определяется по формулам

$$Q_{\text{ш}} = mg + P_H, \quad (5)$$

$$Q_T = mg - P_H, \quad (6)$$

где $Q_{\text{ш}}$ и Q_T – усилие подачи, создаваемое штанговым или трособлочным механизмом, Н;

m – масса рабочего органа, кг;

P_H – сила тяги троса или задавливающее (удерживающие) усилие, Н.

В зависимости от кинематических характеристик режима и физико-механических свойств грунта соотношение усилия подачи и окружной силы переменно в каждой точке траектории движения. Так, при соприкосновении резца с грунтом в начальный момент времени (угол поворота фрезы θ незначителен) происходит только срез грунта, при котором обе активные силы направлены в одну строну и дополняют друг друга [3].

С увеличением угла поворота фрезы вокруг оси вращения возрастает угол между направлением действия сил Q и P_p, что приводит к внедрению задней грани резца в грунтовый массив вдавливанием и соответственному уменьшению усилия резания. При достижении углом Θ значений 90°, наблюдается обратная картина. Описанное явление можно проследить при рассмотрении движения только одного резца фрезы. При работе инструмента в целом процесс стабилизируется за счет компенсации разнонаправленных усилий.

Разрушаемый фрезами грунт одновременно транспортируется на поверхность.

В связи с наличием транспортирующего оборудования в системе «рабочий орган-базовая машина» появляются дополнительные нагрузки на инструмент. Они вызываются движением массы транспортера $dP_P = V_{\text{тр}}\frac{dm_{kp}}{dt}$, где $V_{\text{тр}}$ – скорость движения массы грунта; $\frac{dm_{kp}}{dt}$ – изменение массы транспортируемого грунта во времени.

По зависимости для различных видов

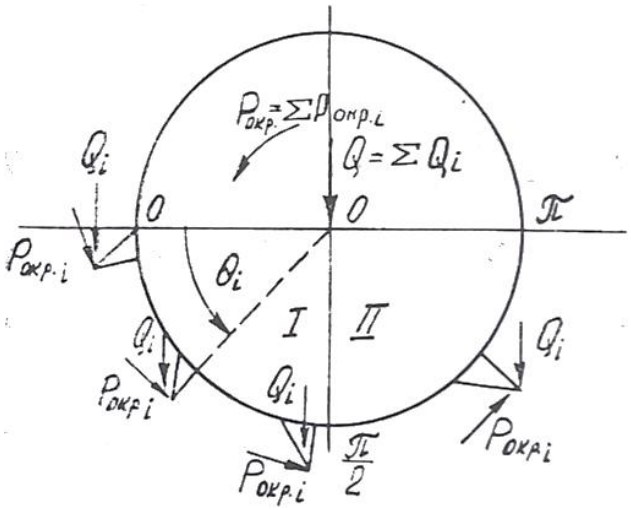


Схема приложения активных сил

транспортеров с учетом их конструктивных параметров можно установить величину P_P и использовать ее при математическом моделировании процесса.

Наиболее существенным фактором рабочего процесса фрезерного инструмента является сопротивление грунта механическому воздействию – реакция грунтового массива на совокупность напряжений сжатия, растяжение и сдвиг, создаваемых режущими элементами. Преодоление напряжений завершается разрушением грунта и отделением от массива его кусков. В соответствии с условным разделением активных сил на вертикальную и окружную составляющие силу сопротивления грунта разрушению рассмотрим, как сумму двух составляющих: вертикальной силы сопротивления грунта подаче рабочего органа на забой $Q_З$; окружной силы сопротивления разрушению забоя P_0. Эти силы сопротивления зависят от комплекса физико-механических свойств грунта и режима работы и определяются значениями удельных сил сопротивления подаче фрезы *A* и вращению *B* [4].

Проходка траншей фрезерным рабочим органом осуществляется, как правило, под слоем глинистого тиксотропного раствора. При этом на рабочий орган как уже отмечалось, действуют:

1) выталкивающая сила $P_в$, имеющая постоянное значение для инструмента с трособлочной системой создания усилия подачи и переменное при штанговом механизме подачи $P_{шв}$=const, $P_{шв}=P_в+K_{вz}=\upsilon p_р+\upsilon\rho_е+\upsilon_е\rho_\rho z$, где z – глубина проходки, м;

2) сопротивление вертикальному перемещению штанги в глинистом растворе за счет бокового трения [5]:

$$P_в = 2\left(\tau \pm \mu\frac{d\upsilon}{dn}\right)F = 2\left(\tau \pm \mu\frac{d\upsilon}{dn}\right)\Pi z = K_б z, \quad (7)$$

где П – периметр штанги.

В расчетах реальных машин величину градиента скорости можно не учитывать ввиду ее чрезвычайной малости. Тогда $K_б=2\tau\Pi$, $K_б$ – коэффициент сопротивления трению штанги в тиксотропном растворе, Н/м.

Крутящий момент от силы сопротивления вращению фрезы в тиксотропном растворе:

$$M_р = 2\pi R^2 L\left(\tau \pm \mu\frac{d\upsilon}{dt}\right) + C_Д F_т \omega^2 R^2 \rho^2 = K_р \omega^2, \quad (8)$$

$$K_р = C_Д F_т R^2 \rho_\rho,$$

где $K_б$ – коэффициент нагружения при вращении в растворе, Н·м·с^2;

$F_т$ – подъемная сила, вызываемая циркуляцией потока раствора, Н.

Наложение потока раствора, перемещаемого фрезой во вращении (циркуляционный поток) вызывает увеличение скорости над фрезой и уменьшается, а под ним увеличивается. Разность давлений вызывает появление подъемной силы, определяемой по теореме Жуковского-Кутта $P_{под}=2\pi\omega R\rho\upsilon S$, где S – площадь цилиндрической поверхности фрезы [6].

Из формулы (8) следует, что силы взаимодействия поступательного движения раствора и динамического его вращения около оси, нормальной к направлению скорости поступательного движения, равны произведению плотности раствора p на скорость поступательного движения υ и на величину скорости вокруг оси ее динамического вращения.

Наличие в конструкции фрезерного рабочего органа двух вращающихся грунторазрушающих элементов (фрез) вызывает появление силы их взаимовлияния друг на друга. Она зависит от скорости вращения фрез и действует по касательной к рабочему органу. В целом эта сила вследствие симметричности инструментов и их одинакового конструктивного исполнения невелика и проявляет себя лишь при значительной неоднородности грунтового массива.

Колебания двух исполнительных элементов в среде вызывают появление силы Бъеркнеса, стремящейся либо раздвинуть фрезы в случае их колебаний в разных фазах, либо сблизить при колебаниях в одной фазе. Эта сила зависит от расстояния между центрами фрез, разности фаз колебаний и объема скорости движения инструментов.

Наконец, последней силой, действующей на фрезерный рабочий орган, является сила Кориолиса.

Значение сил Кориолиса, Бъеркнеса и подъемной силы на два-три порядка меньше общего сопротивления проходки.

Перечисленные силы определяют нагружение фрезерного рабочего органа при проходке траншей в среде тиксотропного раствора.

Рассматривая совокупность этих сил с учетом их направления, можно осуществить математическое моделирование исследуемого процесса.

Выводы

В ходе проведенного исследования были получены аналитические зависимости, описывающие кинематические и динамические особенности процесса разрушения грунта фрезерным рабочим органом. Установлено, что траектория движения резцов носит циклоидальный характер, что обусловлено сочетанием поступательного перемещения инструмента и его вращательного движения. Это приводит к изменчивости скорости

резания и геометрии формируемой стружки.

Получено выражение для абсолютной скорости резания, из которого следует, что решающая роль в ее формировании играет окружная составляющая скорости. Также определена зависимость кинематического угла резания от положения резца, показывающая его уменьшение относительно геометрического угла вследствие изменения направления касательной к траектории движения.

Исследования изменения толщины стружки показали, что при угле охвата фрезы грунтом 180° она изменяется по синусоидальному закону: от нуля в момент входа резца в грунт до максимального значения с последующим снижением до нуля при выходе. В результате формируется стружка серповидной формы.

Проведенный анализ сил выявил, что нагружение фрезерного рабочего органа определяется совокупным действием активных и пассивных сил.

Результаты и обсуждение

Полученные результаты подтверждают сложное взаимодействие фрезерного рабочего органа с грунтом, обусловленное кинематическими и силовыми факторами. Циклоидальная траектория резцов вызывает неравномерность резания, что важно учитывать при выборе режимов работы.

Установлено, что основное влияние на разрушение грунта оказывает окружная скорость, а изменение кинематического угла резания требует учета реальных условий при проектировании режущих элементов. Эффективность процесса достигается при согласованной работе усилия подачи и окружной силы, с учетом влияния тиксотропной среды.

В целом, исследование расширяет представление о процессе разрушения грунта и может быть полезно для совершенствования землеройных машин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Balovnev V.I., Danilov, R.G. New methods for calculating resistance of soils innovative cutting working tools. Mechanization of Construction. 2016, 77(7), pp. 5-13. ISSN 0025-8903, eISSN2409-7594.
2. Kadyrov A., Amangeldiev N. New specifications of the theory of ground cutting. Periodico Tche Quimica. – 2019. Vol. 16, Issue 31. – Pp. 922-936.
3. Корн Г.А., Корн Т.М. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Лань, 2003. – 832 с.
4. Weiming Gong, Guoliang Dai, Haowen Zhang.Experimental study on pile-end post-grouting piles for superlarge bridge pile foundations. Journal.Frontiers of Architecture and Civil Engineering in China. Volume 3, Issue 2, pp. 228-233.
5. Корн Г.А., Корн Т.М. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Лань, 2003. – 832 с.
6. Кадыров А.С., Мулдагалиев З.А., Нурмаганбетов А.С., Курмашева Б.К., Жунусбекова Ж.Ж. Теоретические основы проектирования и расчета бурильных и фрезерных землеройных машин: Монография / Под общ. ред. д.т.н., проф. Кадырова А.С. Караганда. 2010. – 220 с.

Механикалық жұмыс принципі бар траншея қазу машиналарын зерттеу

СУЮНБАЕВ Шинполат Мансуралиевич, *т.ғ.д., профессор, shinbolat_84@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-4867-8270,*
Ташкент мемлекеттік көлік университеті, Ташкент, Өзбекстан.

Аңдатпа. *Кескіш элементтердің күрделі құрал қозғалысы кезінде топырақ массасымен өзара әрекеттесуіне негізделген фрезерлеу жұмыс жабдығымен топырақтың бұзылу үрдісі қарастырылған. Кескіштердің қозғалысы ілгерілемелі орынауыстыру және айналудың суперпозициясы ретінде сипатталады, нәтижесінде циклоидты траектория пайда болады. Жұмыс режимінің параметрлерін ескере отырып, абсолютті кесу жылдамдығын, кинемати-*

калық кесу бұрышын және жоңқа қалыңдығын анықтау үшін аналитикалық байланыстар алынды. Фрезерлеу жұмыс органына әсер ететін күштердің, соның ішінде, белсенді беріліс пен айналу күштері, топырақтың бұзылуына кедергі күштер және тиксотропты ортада бұзылған топырақты тасымалдау және пайдалану кезінде пайда болатын қосымша жүктемелердің талдауы жүргізілді. Жұмыс құралының жалпы жүктемесіне әсер ететін гидродинамикалық әсерлер мен екінші реттік күштер ескерілді. Кешенді тәсіл негізінде фрезерлік жұмыс органының топырақпен өзара әрекеттесу үрдісінің математикалық моделі ұсынылды, бұл кинематикалық және күш параметрлерінің топырақтың бұзылуының тиімділігіне әсерін бағалауға мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелерін жер қазу машиналарының жұмыс органдарын жобалау және оңтайландыру кезінде пайдалануға болады.

Кілт сөздер: *фрезерлеу жұмыс органы, топырақтың бұзылуы, кесу кинематикасы, циклоидтық траектория, жоңқаның қалыңдығы, кедергі күштер, математикалық модельдеу.*

Research of Trenching Machines with Mechanical Operating Principle

SUYUNBAYEV Shinpolat, *Dr. of Tech. Sc., Professor, shinbolat_84@mail.ru,*
https://orcid.org/0000-0002-4867-8270,
Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan.

Abstract. *The process of soil destruction by a milling tool is considered, based on the interaction of the cutting elements with the soil mass during complex tool movement. The movement of the cutters is described as a superposition of translational motion and rotation, resulting in a cycloidal trajectory. Analytical relationships are obtained for determining the absolute cutting speed, kinematic cutting angle, and chip thickness, taking into account operating mode parameters. An analysis of the forces acting on the milling tool is conducted, including active feed and rotation forces, soil resistance to destruction, and additional loads arising during the transportation of disturbed soil and operation in a thixotropic environment. Hydrodynamic effects and secondary forces influencing the overall tool loading are taken into account. Based on an integrated approach, a mathematical model of the interaction between the milling tool and the soil is proposed, allowing one to evaluate the influence of kinematic and force parameters on the efficiency of soil destruction. The results of the study can be used in the design and optimization of earthmoving equipment.*

Keywords: *milling working elements, soil destruction, cutting kinematics, cycloidal trajectory, chip thickness, resistance forces, mathematical modeling.*

REFERENCES

1. Balovnev V.I., Danilov, R.G. New methods for calculating resistance of soils innovative cutting working tools. Mechanization of Construction. 2016, 77(7), pp. 5-13. ISSN 0025-8903, eISSN2409-7594.
2. Kadyrov A., Amangeldiev N. New specifications of the theory of ground cutting. Periodico Tche Quimica. – 2019. Vol. 16, Issue 31. – Pp. 922-936.
3. Korn G.A., Korn T.M. Spravochnik po matematike dlya nauchny`x rabotnikov i inzhenerov. – Moscow: Lan`, 2003. – 832 p.
4. Weiming Gong, Guoliang Dai, Haowen Zhang.Experimental study on pile-end post-grouting piles for superlarge bridge pile foundations. Journal.Frontiers of Architecture and Civil Engineering in China. Volume 3, Issue 2, pp. 228-233.
5. Korn G.A., Korn T.M. Spravochnik po matematike dlya nauchny`x rabotnikov i inzhenerov. – Moscow: Lan`, 2003. – 832 p.
6. Kady`rov A.S., Muldagaliev Z.A., Nurmaganbetov A.S., Kurmasheva B.K., Zhunusbekova Zh.Zh. Teoreticheskie osnovy` proektirovaniya i rascheta buril`ny`x i frezerny`x zemlerojny`x mashin: Monografiya / Pod obshh. red. d.t.n., prof. Kady`rova A.S. Karaganda. 2010. – 220 p.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_228 ӘОЖ 625.089(574)=512.122

Мобильді жол өтпесіне арналған инженерлік шешімдер әзірлеуге бағытталған теориялық және әдістемелік негіздерді қалыптастыру

[1]*АХМЕТОВА Анель Жанатовна, докторант, anelya_97_03@mail.ru,
[2]ВАРГУЛА Лукаш, PhD, профессор,
[1]Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
[2]Познань техникалық университеті, Познань, Польша,
*автор-корреспондент.

Аңдатпа. *Коммуналдық және жөндеу жұмыстары кезінде көше-жол желісінің өткізу қабілетінің төмендеуі мен көлік кідірістерінің артуынан туындайтын көлік жүйесінің мәселелері қарастырылды. Көлік шығындарын азайтудың халықаралық тәжірибесі, соның ішінде, уақытша айналма жолдар, интеллектуалды басқару жүйелері және модульдік көпірлер талданды. Жолды толық жаппай қозғалысты қамтамасыз ететін перспективалы шешім ретінде мобильді жол өтпелеріне баса назар аударылды. Қолданыстағы инженерлік шешімдердің техникалық шектеулері анықталып, мобильді жол өтпелерін таңдау және есептеуге арналған алгоритм ұсынылды. Ол жүктемелерді анықтау, беріктікке тексеру және қажет болған жағдайда конструкция параметрлерін түзету мүмкіндігін қамтиды. Зерттеу нәтижелері Қазақстанның көлік инфрақұрылымына бейімделген мобильді жол өтпелерін жобалау әдістемесін әзірлеуге негіз болады.*

Кілт сөздер: *көлік техникасы, көліктің жылжымалы жол өтпесі, жолдарды жөндеу, көліктің тоқтап қалуы, есептеудің блок-схемасы.*

Кіріспе

Автомобиль жолдарында жөндеу, коммуналдық және авариялық-қалпына келтіру жұмыстарын жүргізу жол қозғалысының шектелуімен немесе толық жабылуымен сүйемелденеді. Сонымен қатар, уақытша айналма жолдар мен қозғалыстың тар жағдайлары орын алады, бұл көбінесе жол ағынын ұйымдастыру схемаларының бұзылуына және жол-көлік оқиғаларының қаупінің артуына әкеледі. Нәтижесінде жол учаскесінің өткізу қабілеті төмендейді, жол жүру уақыты артады, кептелістер мен көлік кідірістері пайда болады. Бұл жағдай көлік уақытының жоғалуына, қозғалыс қарқындылығына, жөнделетін учаскенің ұзақтығына және жұмыс ұзақтығына тікелей әсер етеді.

Халықаралық зерттеулер көрсеткендей, жолдарды жөндеу көптеген елдерде көлік кідірістерінің негізгі себептерінің бірі болып табылады. Мысалы, Ұлыбританияда ALARM Survey 2024 деректері бойынша, магистральдық кешігулердің 30%-дан астамы жоспарлы жөндеу жұмыстарына байланысты [1].

Коммуналдық және жөндеу жұмыстары жүргізілген кезде көше-жол желісінің жұмысында бірқатар проблемалар туындайды, олардың негізгісі 1-кестеде жүйеленіп, техникалық және әлеуметтік-экономикалық салдары көрсетілген [2].

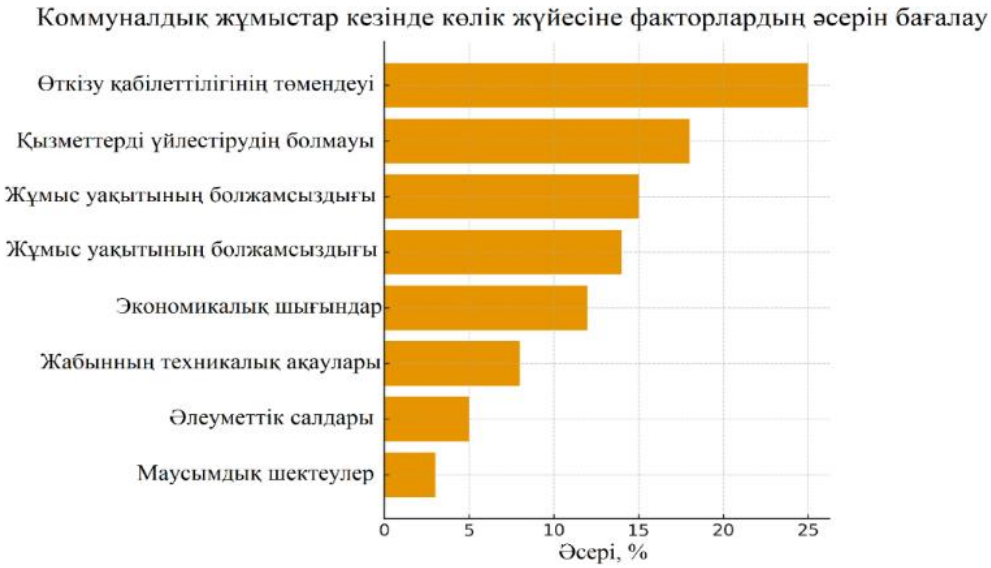
1-кесте деректері негізінде 1-суретте әр фактордың көлік кептелісі мен ұйымдастырушылық қиындықтарға ықпалын көрсететін диаграмма ұсынылған.

Талдау нәтижелері коммуналдық жөндеу жұмыстары кезінде көлік жүйесіне ең күшті әсер ететін факторлар – өткізу қабілетінің төмендеуі мен қызметтер арасындағы үйлестірудің жеткіліксіздігі екенін көрсетті. Дәл осы себептер көлік шығындарының негізгі бөлігін қалыптастырып, кептелістердің пайда болуына әкеледі. Техникалық ақаулар мен маусымдық шектеулердің ықпалы салыстырмалы түрде төмен болғанымен, ұзақ мерзімді жөндеу кезінде олардың да әсері елеулі бола түседі [2].

Қазақстан Республикасы Статистика комитетінің талдамалық деректеріне сәйкес, қалалық магистральдарда жөндеу іс-шараларының орташа ұзақтығы 5-тен 15 тәулікке дейін, ал республикалық маңызы бар учаскелерде – 30 тәулікке дейін құрайды. Қозғалыс қарқындылығы сағатына 1000-

1-кесте – Коммуналдық-жөндеу жұмыстарын жүргізу кезінде жол қозғалысын ұйымдастырудың негізгі факторлары

№	Факторлар	Мазмұны	Салдары	Мысал
1	Өткізу қабілеттілігінің төмендеуі	Жолдың қабаттасуы ағынды нормадан 50-70% дейін төмендетеді	Кептеліс, жол жүру уақытының ұлғаюы, шығындардың өсуі, кідірістердің 25% дейін	Қозғалыс уақытын 35% дейін жоғалту (ЕО, АҚШ);
2	Жұмыс уақытының болжамсыздығы	Желілердің жасырын ақауларын анықтау, үйлестірудің болмауы	Мерзімдердің 30-50%-ға өсуі, жол жамылғысын қайта ашу	Жөндеудің орташа ұзақтығы 1,5 есеге артады
3	Ведомствоаралық үйлестірудің болмауы	Коммуналдық қызметтердің шашыраңқы әрекеттері	Жолдарды бірнеше рет ашу, жұмыстарды қайталау. Кідірістердің 17% дейін	Жыл ішінде 25%-на дейін қайталанады
4	Қозғалысты жеткіліксіз ұйымдастыру	Сапасыз уақыт схемалары, нашар хабарлау	ЖКО, ағындарды хаотизациялау, халықтың сенімсіздігі. Кідірістердің 13% дейін	Апаттардың 18%-ы нашар навигацияға байланысты (Астана, Алматы)
5	Экономикалық және экологиялық шығындар	Ұзақ тоқтап қалу және көліктің бос жүруі	ЖІӨ шығыны 0,5-0,7%, СО шығарындыларының өсуі. Кідірістердің 12%-ы	Жылына 20 млрд теңгеге дейін шығын
6	Жабынның техникалық ақаулары	Жол жамылғысын қайта ашу, қайта құру сапасының төмендігі	Жарықтар, ойықтар, шатырдың тез тозуы. Кідірістердің 8%-ы	Ақаулардың 40%-ы жол жамылғысын қайта ашумен байланысты
7	Әлеуметтік салдары	Нысандарға кіруді шектеу, ұтқырлықты төмендету	Қоғамдық көліктің кешігуі, жүргізушілердің күйзелісі.	Көлікке қолжетімділікті 15-20%-ға төмендету
8	Маусымдық шектеулер	Климаттық факторлар, қысқы жұмыстарды шектеу	Мерзімдердің ұлғаюы және қамту сапасының нашарлауы	Мерзімдер 1,3-1,5 есе артады



1-сурет – Факторлардың көлік жүйесіне әсерін бағалау

нан асатын болса, уақыттың жалпы шығыны тәулігіне бірнеше мың сағатқа жетуі мүмкін. Астана және Алматы сияқты ірі қалаларда бұл шығындар көлік ағынының тығыздығы 1,5-2 есе артқан кезде ерекше байқалады. 2-суретте 2024 жылғы көліктің тоқтап қалу



2-сурет – 2024 жылы Қазақстан қалалары бойынша көлік құралдарының тоқтап қалу уақыты

диаграммасы берілген [3].

Осыған байланысты анықталған проблемаларды шешу үшін көлік тоқтап қалуын қысқартатын және қозғалыс тұрақтылығын арттыратын тиімді инженерлік әрі ұйымдастырушылық шараларды әзірлеу қажет.

Зерттеудің мақсаты: жөндеу жұмыстары жағдайында көлік тоқтап қалуын төмендетуге бағытталған инженерлік шешімдерді одан әрі әзірлеу үшін теориялық және әдістемелік негіздерді қалыптастыру.

Зерттеу міндеттері:

1. Коммуналдық және жөндеу жұмыстарын жүргізу кезінде көліктің тоқтап қалуына әсер ететін факторларға талдау жүргізу.

2. Көлік тоқтап қалуын азайту үшін инженерлік шешімдерді қолданудың әлемдік тәжірибесін зерделеу және олардың Қазақстан жағдайына бейімделу мүмкіндіктерін бағалау.

3. Шетелдік шешімдерді Қазақстан жағдайына бейімдеудің перспективалық бағыттарын анықтау.

4. Қозғалысты ұйымдастыруға арналған уақытша құрылыстарды жобалауға байланысты қолданыстағы тәсілдердің негізгі проблемалары мен кемшіліктерін анықтау.

5. Қазақстанның жол инфрақұрылымында мобильді жол өтпесін қолдануды одан әрі зерделеудің орындылығы мен бағыттарын негіздеу.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы: жұмыста алғаш рет динамикалық жүктемелерді, топырақ негізімен өзара әрекеттесуді және нақты пайдалану жағдайларын ескеретін жылжымалы өтпелді есептеудің кешенді тәсілі ұсынылды. Құрылым элементтері беріктік пен тұрақтылықты қамтамасыз ететін серпімді деформация шегінде жұмыс істеуі тиіс деген іргелі шарт тұжырымдалды. Ауыспалы жүктемелер жағдайында шекаралық кернеулер мен рұқсат етілетін деформацияларды анықтауға негізделген беріктік пен тұрақтылықты есептеу әдістемесінің құрылымдық схемасы әзірленді.

Практикалық маңыздылығы: алынған нәтижелер жөндеу кезіндегі көлік ағындарының тұрақтылығын арттыруға бағытталған инженерлік шешімдерді дамытуға теориялық-әдістемелік негіз береді. Мобильді жол өтпелерін қолдану жөніндегі тұжырымдар жол желісінің өткізу қабілетін сақтау үшін ұлттық нормативтер мен үлгілік конструкцияларды әзірлеуге негіз бола алады.

Зерттеу нәтижелері жол және коммуналдық қызметтердің жөндеу жұмыстарын жоспарлауда, сондай-ақ, көлік инфрақұрылымы саласындағы инновациялық жобалармен айналысатын ғылыми және жобалау ұйымдарында қолдануға жарамды.

Материалдар мен әдістер

Тиімді инженерлік-ұйымдастырушылық шешімдерді іздеу мақсатында әлемдік тәжірибені талдау қызығушылық тудырады, мұнда кептелістерді азайту және жөндеу жұмыстары кезінде қозғалыс үздіксіздігін қамтамасыз ету үшін әртүрлі тәсілдер әзірленіп, сәтті қолданылады. 2-кестеде коммуналдық

2-кесте – Коммуналдық және жөндеу жұмыстары кезінде қозғалысты ұйымдастырудың әлемдік тәжірибесі

№	Мемлекет	Қолданылатын шешім	Артықшылықтары	Қазақстанда қолдану мүмкіндігі	Кемшіліктері
1	АҚШ, Германия, Япония	Түнгі және жеделдетілген қайта жөндеу	Жолдарды жабу уақытын қысқарту, кептелісті азайту	Ішінара қозғалыс қарқындылығы жоғары магистральдарда	Тез қататын материалдар мен уақытша техниканы қажет етеді; климатпен шектелген
2	Ұлыбритания, Сингапур	Зияткерлік көлік жүйелері (ITS)	Мәліметтерді автоматты түрде қайта салу, жүргізушілерді қалыптастыру	Ірі қалаларда (Астана, Алматы) бейімделуге болады	Цифрлық инфрақұрылымның жоғары құны, қызметтерді интеграциялау қажет
3	Қытай, Оңтүстік Корея, Швейцария	Уақытша көпірлер	Қозғалыстың үзіліссіздігін сақтау, уақыт шығынын азайту	Ең өрісті бағыт, әсіресе желілік жөндеу үшін	Нақты есептеулерді, құрылымдарды сертификаттауды және инженерлік персоналды қажет етеді
4	Франция, Нидерланды	Қызметтерді орталық үйлестіру	Екінші рет ашуды алып тастау, тиімділікті арттыру	«Бір терезе» цифрлық платформасы арқылы іске асыруға болады	Нормативтік өзгерістер мен интервалдық өзара іс-қимылды талап етеді.
5	Канада, Норвегия	Модульді жол жабындарын пайдалану	Қозғалысты толық қайта жаппай жабу секцияларын жылдам ауыстыру	Сынақ учаскелері мен уақытша жолдар үшін перспективалы	Материалдың жоғары құны, модульдердің шектеулі қызмет ету мерзімі
6	Швеция, Финляндия	BIM-модельдер арқылы жөндеуді жоспарлау	Жұмыс кестелерін үйлестіру, қызметаралық қайшылықтарды азайту	«Ақылды қала» мен цифрландыру арқылы	Мамандарды даярлауды және жобалау стандарттарын жаңартуды талап етеді

және жөндеу жұмыстары кезінде қозғалысты ұйымдастырудың әлемдік тәжірибесі берілген [4].

Халықаралық тәжірибе көлік тоқтап қалуын азайтатын көптеген шешімдерді Қазақстанда қолдануға болатынын көрсетеді, алайда, оларды енгізу бірқатар шектеулерге байланысты. АҚШ, Германия және Жапонияда қолданылатын жеделдетілген және түнгі жөндеу технологияларын Қазақстанда климаттық жағдайлар мен тез қататын материалдардың тапшылығы шектейді [5].

Ұлыбритания мен Сингапурдағы интеллектуалды көлік жүйелері жоғары инвестиция мен толық цифрлық интеграцияны талап етеді, бұл Қазақстанда тек Астана мен Алматыда ішінара іске асқан. Қазақстан үшін тиімді шешім ретінде Қытай, Оңтүстік Корея және Швейцарияда қолданылатын мобильді көпірлер қарастырылады, алайда, олар бойынша ұлттық нормативтер мен типтік жобалар әзірленбеген. Сондай-ақ, Нидерланды мен Франциядағы орталықтандырылған үйлестіру үлгілері цифрландырудың жеткіліксіздігі мен ведомстволық бөліну салдарынан толық енгізілмеген [6].

Халықаралық тәжірибені бейімдеу үшін ұлттық стандарттарды енгізу, жөндеу жұмыстарын жоспарлауды цифрландыру және пилоттық жобаларды іске қосу қажет. Талданған тәсілдердің ішінде ең тиімдісі – уақытша көпірлер мен мобильді жол өтпелерін пайдалану, өйткені олар қымбат технологиясыз-ақ жолды толық жаппай қозғалысты сақтап, өткізу қабілетінің төмендеуіне жол бермейді. Қазақстанда мұндай өтпелдер бойынша алғашқы ғылыми идея А.С. Қадыровқа тиесілі, кейін А.А. Ганюков пен Қ.Г. Балабекова тарапынан дамытылды, олар конструкцияның жобалау принциптері мен пайдалану ерекшеліктерін талдады. Мобильді өтпелдер әсіресе қозғалыс қарқыны жоғары учаскелерде тиімді, себебі олар тез жиналып, 3-суретте көрсетілгендей, жөндеу аймағының үстінен уақытша қозғалыс ұйымдастыруға мүмкіндік береді [6].

Бұл шешімді қолдану келесіге мүмкіндік береді:



3-сурет – Мобильді жол өтпесінің жалпы көрінісі

- көше-жол желісінің өткізу қабілетін сақтау;
- күрделі айналма схемалардың қажеттілігін болдырмау есебінен коммуналдық жұмыстарды орындау уақытын қысқарту;
- көлік кідірістерімен байланысты әлеуметтік-экономикалық шығындарды азайту;
- көлік құралдарының бос шығарындыларын азайту арқылы қоршаған ортаға теріс әсерді азайту [6].

Нәтижелер

Қазақстанның жол инфрақұрылымына мобильді жол өтпелдерін енгізу үшін олардың күшті және нашар жақтарын, сондай-ақ, сыртқы мүмкіндіктері мен қауіптерін көрсететін SWOT-талдау жүргізілді. 4-суретте жол өтпесінің SWOT талдауы көрсетілген.

SWOT-талдау Қазақстанда жылжымалы жол өтпелерінің көлік кідірістерін азайтуда айтарлықтай әлеуеті бар екенін көрсетті, өйткені оларды тез орнатып, жөндеу кезінде қозғалысты тоқтатпай сақтауға болады. Алайда, олардың кең ауқымды енгізілуі әзірге нормативтердің, есептеу әдістемесінің және жергілікті өндірістің болмауымен шектелуде. Сондықтан пилоттық жобаларды іске асыру, кейін ұлттық стандарттар мен инженерлік есептеулерді әзірлеу – перспективалы бағыт.

Қазіргі ұсыныстар болса да, оларды практикалық қолдануды қиындататын техникалық және ұйымдастырушылық кемшіліктер сақталып отыр. Біріншіден, қолданыстағы жобаларда қарқынды көлік ағындары ескерілмей, қалалық магистральдардағы нақты жұмыс жағдайлары толық қамтылмайды. Екіншіден, динамикалық жүктемелер мен топырақтың біркелкі емес жұмысы нәтижесінде өтпелдің жылжуы мүмкін, бұл конструкцияның және қозғалыстың қауіпсіздігіне қауіп төндіреді. Үшіншіден, бұрынғы зерттеулер көбіне біржақты қозғалысқа арналған конструкцияларды қарастырған, бұл өткізу қабілетін төмендетіп, заманауи талаптарға сәйкес келмейді [7].

Сондай-ақ, топырақпен өзара әрекеттесуді нақты бағаламау тұрақтылық пен қызмет мерзіміне теріс әсер етуі мүмкін. Осылайша, мобильді жол өтпелерінің беріктігі мен сенімділігін кешенді бағалайтын жетілдірілген әдістеме қажеттілігі туындайды [8]. Бұл тәсіл олардың қауіпсіздігі мен тиімділігін арттырып, Қазақстан жол инфрақұрылымында кең қолдануға ғылыми негіз қалыптастырады. Жобалауды жүйелеу үшін өтпелдің беріктігі мен жұмысқа қабілеттілігін тексеру ретін сипаттайтын алгоритмдік блок-схема ұсынылды. Есептеу әдістемесі 5-суретте көрсетілген.

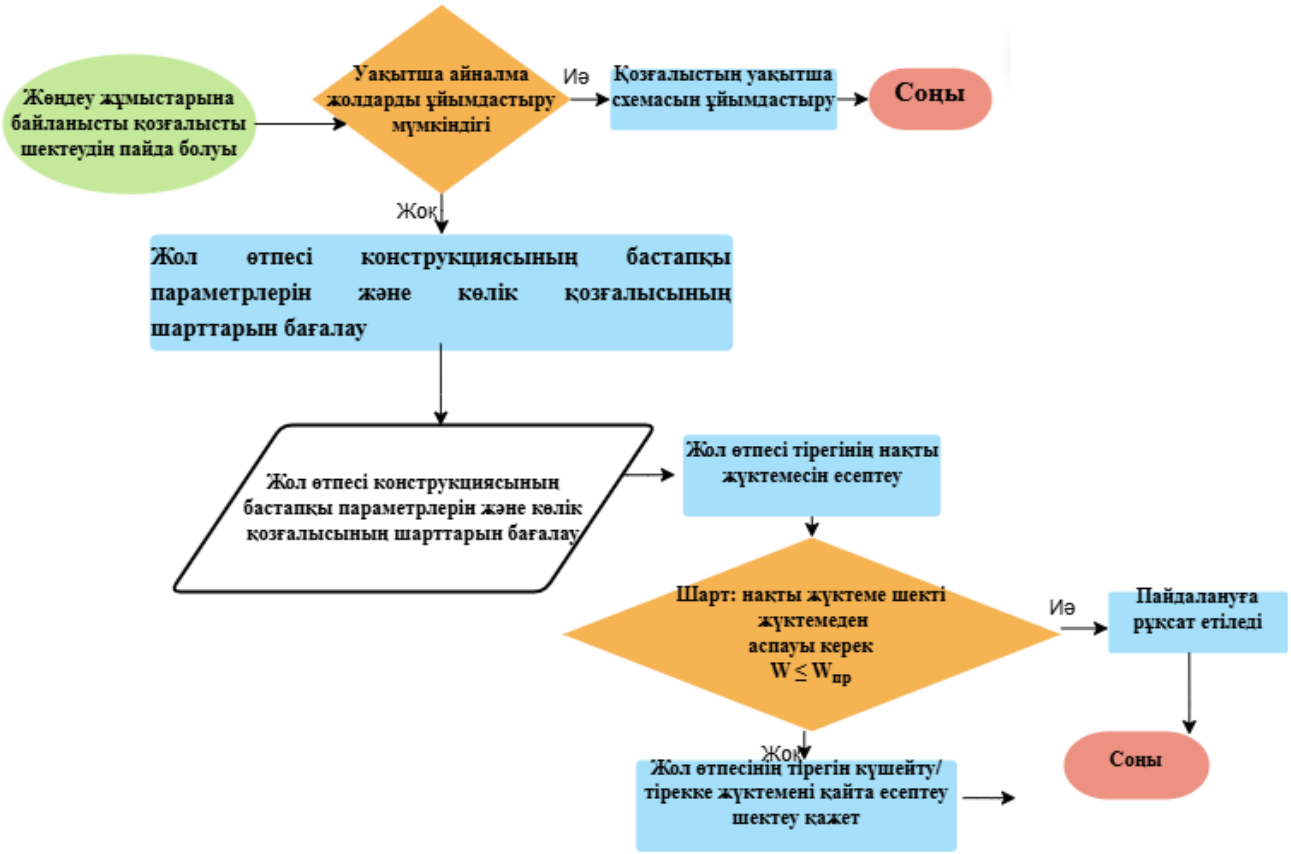
Ұсынылған блок-схема мобильді жол өтпесін бағалаудың толық инженерлік циклін, бастапқы деректерді жинаудан бастап қауіпсіз пайдалану туралы шешім қабылдауға дейін жүйелейді. Осы алгоритм негізінде беріктікке, тұрақтылыққа және нормативтік талаптарға сәйкестікке бағытталған есептеу әдістемесі әзірленеді. Әдістеменің басты қағидасы – конструкция элементтерінің жұмыс жүктемелері әсерінде серпімді деформация шегінен аспауы. Бұл көп мәрте қайталанатын көлік жүктемелері кезінде өтпенің ұзақ мерзімді беріктігі мен сенімділігін қамтамасыз етеді, ал талап бұзылған жағдайда қалдық деформациялар мен қаттылықтың төмендеуі орын алады. Бұл шарт мобильді жол өтпесін жобалаудың негізгі критерийлерінің бірі болып табылады және оның кернеулі-деформацияланған күйін модельдеу кезінде басты шектеу ретінде қолданылады.

Қорытынды

Мақалада коммуналдық және жөндеу жұмыстары кезінде көліктік тоқтап қалуды азайту және қозғалыс тұрақтылығын арт-

Күшті жақтары	Әлсіз жақтары
- жолдың толық жабылуынсыз қозғалыстың үздіксіздігін қамтамасыз ету; - көліктің тоқтап қалуын айтарлықтай азайтады; - жылдам орнату және бөлшектеу; - тоқтап қалудан және бос; жүруден болатын экономикалық шығындарды азайту; - әртүрлі учаскелерде бірнеше рет пайдалану мүмкіндігі.	- ҚР-да ұлттық стандарттар мен нормативтер жоқ; - жоғары бастапқы шығындар және логистикалық шығындар; - дайындалған инженерлік кадрлардың жетіспеушілігі; - сенімді емес негізде құрылымның құлау қаупі; - динамикалық жүктемелер мен қарқындылық бойынша зерттеулердің болмауы.
Мүмкіндіктер	**Қауіптер**
- ірі қалаларда пилоттық жоба ретінде енгізу; - Қазақстанда модульдік конструкциялар өндірісін оқшаулау (металл+құрастыру); - төтенше жағдайлар саласында пайдалану (су тасқыны, құлау, уақытша айналма жолдар); - есептеу әдістемесі мен пайдалану нормативтерін әзірлеу.	- климаттық факторлар: аяз, температураның өзгеруі, көктайғақ; - жол өтпесіне жүктеме артқан кезде құрылымның шамадан тыс жүктелу қаупі; - дұрыс орнатпау, апат қаупі, заңды жауапкершілік; - қолданудың төмен жиілігі экономикалық тиімділікті төмендетеді.

4-сурет – Мобильді жол өтпелінің SWOT анализі



5-сурет – Мобильді жол өтпелін есептеу блок-схемасы

тыруға бағытталған инженерлік шешімдер негізделді. Факторлық талдау негізгі себептердің өткізу қабілеттілігінің төмендеуі мен қызметтер арасындағы үйлестірудің жеткіліксіздігі екенін көрсетті. Әлемдік тәжірибе ішінде Қазақстан үшін ең тиімді шешім ретінде жөндеу кезінде қозғалысты сақтай алатын жылжымалы жол өтпелері айқындалды. SWOT-талдау олардың артықшылықтарын, шектеулерін және жетілдіру бағыттарын анықтады.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы – динамикалық жүктемелер мен негізбен өзара әрекеттесуді ескеретін есептеу тәсілін ұсыну және құрылымның серпімді жұмысын қамтамасыз ететін беріктік критерийін анықтау.

Осылайша, алға қойылған мақсатқа қол жеткізілді, ал зерттеу нәтижелері Қазақстанның көлік техникасы мен технологияларында жылжымалы жол өтпелерінің конструкцияларын жетілдіру бағытын одан әрі дамытудың орындылығын растайды.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. World Road Association (PIARC). Temporary Bridges and Detours: Technical Report. – Paris, 2021.
2. Lee J., Park S. Modular temporary bridge systems for urban construction logistics // Journal of Bridge Engineering. – 2021. – Vol. 26. – Pp. 1-12.
3. Комитет по статистике Республики Казахстан. Транспорт и связь Казахстана. Статистический ежегодник 2019-2024 гг. – Астана, 2024.
4. Numbeo Global Traffic Index. Traffic Time and Congestion Data for Almaty and Astana. – 2024. – URL: https://numbeo.com/traffic
5. TomTom International. Traffic Congestion Report 2024 (Kazakhstan section + global comparison). – Amsterdam, 2024.
6. Смагулов А.Ж. Влияние коммунальных работ на пропускную способность улично-дорожной сети крупных городов // Вестник КазАТК. – 2023. – № 4. – С. 45.
7. Балабекова К.Г. Мобильді жол өтпесі құрылымының жұмысын зерттеу және негіздеу: дисс. на соискание докт. фил. Phd. – Караганда, 2018. – 156 с.
8. Кадыров А.С., Балабекова К.Г. Мобильді көпір өтпесінің жетілген модулінің сәйкестірілген элементтерін есептеу және конструкторлық шешу // ПМУ хабаршысы. Энергетикалық серия. – Павлодар: ПМУ, 2016. – № 3. – Б. 41-52.

Формирование теоретической и методической основ для дальнейшей разработки инженерных решений мобильного путепровода

[1]*АХМЕТОВА Анель Жанатовна, *докторант, anelya_97_03@mail.ru,*
[2]ВАРГУЛА Лукаш, *PhD, профессор,*
[1]Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
[2]Познаньский технический университет, Познань, Польша,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Рассмотрены проблемы транспортной системы, возникающие при снижении пропускной способности улично-дорожной сети и увеличении транспортных задержек в период проведения коммунальных и ремонтных работ. Проанализирован международный опыт снижения транспортных издержек, включая временные объездные дороги, интеллектуальные системы управления и модульные мосты. Особое внимание уделено мобильным дорожным переходам как перспективному решению, позволяющему обеспечивать движение без полного перекрытия дороги. Выявлены технические ограничения существующих инженерных решений и предложен алгоритм выбора и расчёта мобильных дорожных переходов, включающий определение нагрузок, проверку на прочность*

и возможность корректировки параметров конструкции при необходимости. Результаты исследования могут служить основой для разработки методики проектирования мобильных дорожных переходов, адаптированной к условиям транспортной инфраструктуры Казахстана.

Ключевые слова: *транспортная техника, мобильный путепровод, ремонт дорог, простой транспорта, блок-схема расчёта.*

Formation of Theoretical and Methodological Foundations for the Further Development of Engineering Solutions for a Mobile Overpass

[1]*AKHMETOVA Anel, *Doctoral Student, anelya_97_03@mail.ru,*
[2]WARGULA Lukasz, *PhD, Professor,*
[1]Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
[2]Poznan University of Technology, Poznan, Poland,
**corresponding author.*

Abstract. *The problems of the transportation system issues arising from reduced capacity of the street and road network and increased traffic delays during utility and maintenance works are considered. International experience in reducing transport losses is analyzed, including temporary detour roads, intelligent traffic management systems, and modular bridges. Special attention is given to mobile road crossings as a promising solution that ensures traffic flow without complete road closure. The technical limitations of existing engineering solutions are identified, and an algorithm for selecting and designing mobile road crossings is proposed. The algorithm includes load determination, strength verification, and the possibility of adjusting structural parameters when necessary. The research results provide a basis for developing a methodology for designing mobile road crossings adapted to the conditions of Kazakhstan's transport infrastructure.*

Keywords: *transport machinery, mobile overpass, road maintenance, transport downtime, calculation flowchart.*

REFERENCES

1. World Road Association (PIARC). Temporary Bridges and Detours: Technical Report. – Paris, 2021.
2. Lee J., Park S. Modular temporary bridge systems for urban construction logistics. Journal of Bridge Engineering. – 2021. – Vol. 26. – Pp. 1-12.
3. Komitet po statistike Respubliki Kazahstan. Transport i svjaz' Kazahstana. Statisticheskij ezhegodnik 2019-2024 gg. – Astana, 2024.
4. Numbeo Global Traffic Index. Traffic Time and Congestion Data for Al-maty and Astana. – 2024. – URL: https:. numbeo.com/traffic
5. TomTom International. Traffic Congestion Report 2024 (Kazakhstan section + global comparison). – Amsterdam, 2024.
6. Smagulov A.Zh. Vlijanie kommunal'nyh rabot na propusknuju spo-sobnost' ulichno-dorozhnoj seti krupnyh gorodov. Vestnik KazATK. – 2023. – № 4. – P. 45.
7. Balabekova K.G. Mobil'di zhol otpesi qurylymynyn zhұmysyn zertteu zhəne negizdeu: diss. na soiskanie dokt. fil. Phd. – Karaganda, 2018. – P. 156.
8. Kadyrov A.S., Balabekova K.G. Mobil'di kopir otpesinің zhetilgen modulinің sajkestirilgen jelementterin esepteu zhane konstruktorlyq sheshu. PMU habarshysy. Jenergetikalyq serija. – Pavlodar: PMU, 2016. – № 3. – Pp. 41-52.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_236 ӘОЖ 624.046:658.511

Машиналарды жинақтау: қолданылатын әдістемелерге аналитикалық шолу және оларды бағалау

ЖУНУСБЕКОВА Жанара Жумашевна, *PhD, қауымдастырылған профессор, zh.zhunusbekova@ktu.edu.kz, https://orcid.org/0000-0003-0473-1954,*
****КЕШУБАЕВА Айгерим Мақсутовна,*** *докторант, aigerim_kptk@mail.ru, https://orcid.org/0009-0004-3198-197X,*
Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Нақты өндірістік жағдайларда құрылыс жұмыстарын орындау үшін құрылыс машиналарының рационалды жинағын таңдауды оңтайландыру мәселесі қарастырылады. Машиналар жинағын қалыптастыру техникалық үйлесімділік, өнімділік, өмірлік цикл құны және құрылыс нысанының ерекшеліктерін ескеретін көп критерийлі міндет ретінде сипатталады. Зерттеу барысында нормативтік-анықтамалық, сараптамалық, технологиялық және экономикалық тәсілдермен қатар математикалық модельдеу, ақпараттық жүйелер және цифрландыруға негізделген заманауи әдістер талданады. Ерекше назар отандық ғылыми әзірлемелерге аударылып, олар кешенді механикаландыру қағидаттарын жүйелеуге, машиналардың өнімділігін есептеуге және оларды пайдалану тиімділігін экономикалық тұрғыдан бағалауға мүмкіндік беретіні көрсетіледі. Шетелдік зерттеулер нәтижелері көп критерийлі оңтайландыру әдістері мен машина оқыту алгоритмдерін қолдану арқылы есептің әмбебап сипатын дәлелдейді. Зерттеу нәтижесінде ұсынылған тәсіл құрылыс машиналары жинағын таңдау кезінде шығындарды 10-15% төмендетуге, техниканы пайдалану коэффициентін арттыруға және шешім қабылдау уақытын қысқартуға мүмкіндік береді. Ең перспективалы бағыт ретінде цифрлық технологиялар мен жасанды интеллект элементтерін интеграциялау айқындалып, олардың өндірістік көрсеткіштерді болжау және өзгермелі жағдайларға бейімделу мүмкіндіктері негізделеді.*

Кілт сөздер: *оңтайландыру әдістері, кәсіпорын ресурстары, машиналар паркі, жұмыс жабдықтары, кешенді механизация, өмірлік цикл құны, өндірістік процестерді автоматтандыру, ресурстарды тиімді пайдалану, жасанды интеллект, бағдарламалық қамтамасыздандыру.*

Кіріспе

Қазіргі заманғы құрылыс саласы технологиялардың қарқынды дамуымен, ұйымдастырушылық-техникалық үдерістердің күрделенуімен және ресурстарды тиімді пайдалануға қойылатын талаптардың артуымен сипатталады. Құрылыс жобаларын табысты жүзеге асырудың негізгі факторларының бірі – жұмыстарды белгіленген мерзімде және ең аз шығынмен орындауды қамтамасыз ететін машиналар кешенін ұтымды таңдау болып табылады.

Іс жүзінде кәсіпорындар белгілі бір жабдықтар мен машиналар паркіне ие, алайда, бұл парк әрдайым тиімді пайдаланыла бермейді. Кей жағдайларда техниканың бір бөлігі бос тұрып қалса, екінші бөлігі шамадан тыс жүктемемен жұмыс істейді, сондай-ақ, жаңа жұмыс түрлерін орындау үшін қолда жоқ машиналар қажет болады. Мұндай жағдайларда кәсіпорын басшылығының алдында келесі міндеттер туындайды:

- жаңа техниканы сатып алу тиімді ме;
- оны жалға алу орынды ма;
- қолданыстағы машиналарды жаңғырту (модернизациялау) қажет пе;
- немесе нақты объект үшін арнайы жабдықты өз бетінше әзірлеу керек пе.

Белгілі бір жұмыс түрлерін орындауға арналған машиналар мен жабдықтар кешенін таңдаудың әртүрлі әдістері бар. Бұл әдістер техникалық сипаттамаларды, өнімділікті, пайдалану шарттарын және экономикалық тиімділікті талдауға негізделеді. Қазіргі жағ-

дайда құны, орындалу мерзімі, сенімділігі мен техниканың ресурсы сияқты бірнеше критерийді бір мезгілде оңтайландыруды талап ететін көп критерийлі тәсілдердің маңызы артып келеді. Мұндай әдістерді қолдану машиналар паркін ұтымды пайдалануға, еңбек өнімділігін арттыруға және пайдалану шығындарын азайтуға мүмкіндік береді.

Алайда, техникасын таңдаудың дәстүрлі тәсілдері, яғни нормативтік құжаттар мен сараптамалық бағалауларға негізделген дәстүрлі тәсілдер, нақты объектінің барлық алуан түрлі жағдайларын әрдайым ескере бермейді. Оларға жер бедерінің, ерекшеліктері, климаттық жағдайлар, жұмыс көлемі мен түрлері жатады. Мұның нәтижесінде оңтайлы емес шешімдер қабылданып, өзіндік құнының өсуіне және өнімділіктің төмендеуіне әкеледі.

Осындай жағдайларда оңтайлы шешімді таңдауға арналған ғылыми негізделген әдістемелерінің болмауы ресурстардың тиімсіз жұмсалуына, өнімділіктің төмендеуіне және қаржылық шығындарға әкеледі. Сондықтан техниканы ұтымды пайдаланудың әртүрлі сценарийлерін талдауға және барынша жоғары пайда алуға мүмкіндік беретін көпфункционалды әдістеме мен бағдарламалық шешім әзірлеу қажеттілігі туындайды.

Цифрландыру жағдайында кез келген қызмет саласында көп критерийлі оңтайландыруға негізделген машиналар кешенін таңдау процесін автоматтандыруға мүмкіндік беретін тәсілдерді әзірлеудің маңызы арта түседі. Нақты өндірістік шарттарды, техникалық параметрлерді және ресурстық шектеулерді ескере отырып, машиналардың ұтымды құрамы мен санын анықтауға бағытталған әдістемені жасау қажеттілігі туындайды. Жасанды интеллект технологияларын қолдану деректердің үлкен деректер массивін талдауға, өндірістік көрсеткіштерді болжауға және шешімдерді құрылыс жағдайларының өзгеруіне бейімдеуге жаңа мүмкіндіктер ашады.

Мақала нақты жұмыс жағдайларына арналған құрылыс машиналары кешенін таңдауды оңтайландыру әдістемесіне, сондайақ, жасанды интеллект технологияларын қолдану арқылы бағдарламалық қамтамасыз етуді одан әрі дамыту перспективаларын қарастыруға арналған.

Әдістер мен материалдар

Құрылыс машиналарын рационалды жинақтау – бұл көпкритерийлі міндет, мұнда техникалық үйлесімділік, өнімділік, өмірлік циклдің құны және нақты объектінің жағдайлары біртұтас жүйеде біріктірілуі қажет. Құрылыс машиналары кешенін ұтымды таңдау – құрылыс өндірісін ұйымдастырудың негізгі міндеттерінің бірі болып табылады. Дәстүрлі түрде техника таңдау нормативтік құжаттар, анықтамалықтар мен мамандардың тәжірибесіне сүйене отырып жүзеге асырылды. Бұл тәсіл машиналардың негізгі параметрлерін ескеруге мүмкіндік бергенімен, бірқатар елеулі шектеулері болған: еңбек шығындарының көптігі, объектінің нақты жағдайларына жеткіліксіз бейімделуі және өнімділікті болжаудың шектеулі мүмкіндіктері.

Классикалық тәсіл нормативтік құжаттарға, типтік технологиялық карталарға және салалық анықтамалықтарға негізделеді; ол жұмыстарды орындау үшін минималды қажетті жинақтың жеткіліктілігін қамтамасыз етеді, бірақ нақты жағдайлардың вариативтілігін және сыртқы факторлардың динамикасын (климат, логистика, техника паркінің қолжетімділігі, баға ауытқулары және тоқтап қалу тәуекелдері) жиі ескере бермейді. Басымдылық беретін әдістемелерге негізгі критерийлер ретінде өнімділік пен ауысымдық эксплуатациялық шығындар алынады, ал жинақ таңдау принципі жетекші машинаны техникалық тізбектегі қосалқы механизмдермен қамтамасыз етуге бағытталған.

Дәстүрлі түрде машиналарды таңдау құрылыс нормалары мен ережелеріне, типтік технологиялық карталарға және салалық анықтамалықтарға негізделіп, нормативтік анықтамалық тәсіл әдісіне сүйеніп жүргізген. Мұндай әдіс нормативтік талаптарға сәйкестікті қамтамасыз етеді және тәжірибеде тексерілген. Алайда, оның әлсіз тұсы – икемділігінің төмендігі: ол нақты объектінің ерекшеліктеріне атап айтқанда, геологиялық жағдайларға, климатқа немесе логистикаға нашар бейімделеді [1].

Сараптамалық тәсіл инженерлер мен технологтардың тәжірибесіне негізделіп, шешімдері кәсіби білімдерге сүйене отырып қабылдануға мүмкіндік береді. Бұл әдіс объектінің бірегей жағдайларын ескеруге және шешімдері жедел түзетуге мүмкіндік береді. Кемшілігі – субъективтілігі және мамандардың біліктіліне тәуелділігі, бұл оны ауқымды түрде қолдануды шектейді [2]

Технологиялық тәсілде машиналар кешенін таңдау «бас (жетекші)» машинаның төңірегінде құрылады, ол негізгі операцияны орындайды (мысалы, жер жұмыстары кезінде экскаватор). Қалған механизмдер технологиялық тізбектің үздіксіздігін қамтамасыз ету үшін таңдалады. Артықшылығы – өнімділіктің үйлесімділігі және тоқтап қалулардың азаюы. Кемшілігі – дәл есептеулерді қажет етуі және сыртқы факторларды жеткілікті ескермей қалу қаупі [3].

Экономикалық тәсілде басты назар машиналардың пайдалану шығындары мен өмірлік цикл құнын минимизациялауға аударылады. Бұл ретте ауысымдық құн, амор-

тизация, жанар-жағармай және жөндеу шығындары есептеледі. Мұндай әдіс жұмыстардың өзіндік құнын төмендетуге мүмкіндік береді, алайда, үнемдеуге тым басымдық берген жағдайда сапа немесе өнімділік төмендеуі мүмкін.

Ғалымдар ұсынған тиімді әдістердің бірі – математикалық модельдеу және оңтайландыру. Қазіргі заманғы зерттеулер көпкритерийлі оңтайландыру әдістерін, сызықтық және бүтін сандар бағдармалау әдістерін, желілік модельдерді қолдануға негізделген. Бұл техникалық, экономикалық және ұйымдастырушылық факторларды бір мезгілде ескеруге мүмкіндік береді. Артықшылығы – шешімдердің кешенділігі мен айқындығы. Кемшілігі – модельдердің жоғары күрделілігі және сапалы бастапқы деректерге деген қажеттілік.

Ақпараттық жүйелер мен деректер базалары цифрлық технологиялардың дамуы нәтижесінде пайда болды. Машиналардың техникалық сипаттамаларын қамтитын компьютерлік бағдарламалар мен деректер қорлары енгізіледі. Олар параметрлер бойынша фильтрлеуге, жинақты автоматты түрде таңдауға және өнімділікті есептеуге мүмкіндік береді. Артықшылығы – таңдау процесін жеделдету және ақпаратты жүйелендіру. Кемшілігі – деректер базаларын үнемі жаңартып отыру қажеттілігі.

Цифрландыру және жасанды интеллект. Ең перспективалы бағыттардың бірі – машиналық оқыту алгоритмдері мен эксперттік жүйелерді пайдалану. Олар өнімділікті болжауға, жинақты өзгермелі жағдайларға бейімдеуге және оңтайлы шешімдерді автоматты түрде ұсынуға мүмкіндік береді. Артықшылығы – жоғары дәлдік және үлкен деректер көлемін талдау мүмкіндігі. Кемшілігі – статистикалық деректерді жинақтау және айтарлықтай есептеу ресурстарының қажеттілігі.

Отандық ғылыми мектепте құрылыс машиналарын ұтымды таңдау мен кешендеудің әдістемелерін әзірлеу бойынша елеулі тәжірибе жинақталған. Бұл зерттеулер цифрландыруға және жасанды интеллектті қолдануға бағдарланған заманауи тәсілдердің негізін қалыптастырады.

А.С. Қадыровтың атап көрсеткеніндей, жетекші және қызмет көрсетуші машиналардың өнімділігін үйлестіру тоқтап қалуларды минимумға дейін азайтады [4]. Өз зерттеулерінде ғалым құрылыс процестерін кешенді механизацияландыруға жүйелік тәсілді ұсынған, оған қадалық және бұрғылау жұмыстар да кіреді. Оның әдістемесі жетекші және қызмет көрсетуші машиналардың өнімділігін үйлестіруге негізделген, бұл тоқтап қалуларды азайтып, технологиялық тізбектің тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Маңызды элемент ретінде нақты пайдалану жағдайларын ескеру, соның ішінде, жүктеме режимдері мен құрылыс алаңының ерекшеліктері [5].

Е.М. Кудрявцевтің еңбектерін талдау нәтижесінде автор құрылыс машиналарының өнімділігі мен энергия сыйымдылығын есептеу әдістемесін әзірлегені, сондай-ақ, олардың өмірлік цикліне экономикалық бағалау тәсілін ұсынғаны анықталды. Оның зерттеулерінде пайдалану шығындары мен амортизацияны талдау әдістері жүйелендірілген, бұл техника таңдауын тек техникалық емес, экономикалық критерийлер бойынша да таңдауға мүмкіндік береді. Кудрявцев еңбектерінде компьютерлік есептеулерді қолдануға ерекше мән беріледі, бұл процестерді цифрландыру бағытындағы маңызды қадам болды [6].

И.В. Георгиадидің еңбектерінде сипатталған тәсілдерді қарастыру автордың Қазақстан жағдайында құрылыс техникасын қолданудың ұйымдастырушылық-технологиялық схемаларын әзірлеуге ерекше көңіл бөлген. Оның әдістемесіндегі негізгі тәсіл – аймақтық ерекшеліктерді ескеру, соның ішінде, климаттық факторлар, логистикалық шектеулер және машиналар паркіне қолжетімділік. Зерттеулердің маңызды бағыты – заманауи оңтайландыру әдістерін қолданыстағы нормативтік базаға бейімдеу және құрылыс машиналарын таңдау процесін автоматтандыру үшін ақпараттық жүйелерді интеграциялау.

Осылайша, отандық жұмыстар дәстүрлі нормативтік және есептік әдістерден техникалық, экономикалық және ұйымдастырушылық факторларды ескеретін кешенді жүйелерге көшуін көрсетеді. Бұл жұмыстар цифрлық технологиялар мен жасанды интеллектті енгізуге байланысты әрі қарай дамудың негізін қалайды, ал дәл осы тақырып қазіргі зерттеу жұмысының негізгі мазмұнын құрайды.

Әлемдік ғылыми және инженерлік әдебиеттерде құрылыс машиналарын таңдау және оңтайландыру мәселелеріне айтарлықтай көңіл бөлінеді. Шетелдік зерттеулер техниканы ұтымды кешендеудің проблемасы әмбебап және әртүрлі елдердің құрылыс саласы үшін өзекті екенін растайды.

Атап айтқанда, құрылыс саласындағы цифрландыруға, автоматтандыруға және ақпараттық технологияларды қолдануға арналған халықаралық ғылыми журналдарда құрылыс техникасын таңдау кезінде шешім қабылдауды қолдау жүйелерді құруға бағытталған еңбектер жарияланған. Бұл зерттеулер көп критерийлі оңтайландыру, эксперттік жүйелерді және машиналық оқыту

алгоритмдерін құрылыс машиналары мен оларды пайдалану шарттары туралы үлкен деректер массивін талдауды көрсетеді. Осындай әзірлемелер таңдауды автоматтандыруға ғана емес, сонымен қатар, құрылыс жағдайларының өзгеруіне бейімдеуге мүмкіндік береді, бұл саланы цифрландыру міндеттерімен толық сәйкес келеді [8].

Осылайша, құрылыс машиналары жинағын таңдауды оңтайландыру әдістемесін әзірлеуге және жасанды интеллект элементтері бар бағдарламалық қамтамасыз етуді құруға бағатталған зерттеулер ғаламдық үрдістер аясында орналасқан. Бұл бағыт құрылыс ғылымы мен практикасының өзекті даму бағыттарын көрсетеді және халықаралық жобаларға интеграциялану әлеуетіне ие.

Құрылыс машиналарын таңдауға арналған тәсілдердің эволюциясы нормативтік және эксперттік әдістерден математикалық модельдеу, деректер базалары және жасанды интеллект элементтерін қамтитын кешенді оңтайландыру жүйелеріне қарай жүргізіледі. Практикада ең тиімді тәсіл – нормативтік базаны, эксперттік білімді және заманауи цифрлық технологияларды біріктіретін аралас әдіс болып табылады.

Жүргізілген шолу құрылыс машиналарын таңдау мен кешендеудің қолданыстағы тәсілдерінің нормативтік-анықтамалық және эксперттік әдістерден математикалық модельдеуді, ақпараттық деректер базаларын және жасанды интеллект элементтерін қамтитын неғұрлым кешенді жүйелерге дейін дамығанын көрсетті. Елеулі жетістіктерге қарамастан, дәстүрлі әдістемелер құрылыс процестерінің жоғары вариативтілігінде шектеулі болып қалып, бейімделу қабілеті мен тиімділігін төмендетеді.

А.С. Қадыров, Е.М. Кудрявцев және И.В. Георгиади ұсынған отандық әзірлемелер құрылыс машиналарын таңдауды оңтайландыруға ғылыми базаны қалыптастыруға елеулі үлес қосты. Олардың әдістемелері кешенді механикаландыру принциптерін, өнімділікті есептеу мен экономикалық бағалауды, сондай-ақ, өңірлік жағдайларға бейімделуге мүмкіндік берді. Бұл зерттеулер цифрлық технологияларды енгізу және интеллектуалды технологияларды интеграциялау бағытындағы әрі қарай дамуға мықты негіз қалайды.

Құрылыс саласын цифрлық трансформациялау жағдайында машиналар жинағын таңдауды оңтайландыру әдістемесін әзірлеу ерекше өзектілікке ие болып отыр. Ол көп критериалді талдау мен процестерді автоматтандыруға бағытталған. Жасанды интеллектті қолдану өндірістік көрсеткіштерді болжауға, шешімдерді өзгертіп отыратын жағдайларға бейімдеуге және ресурстарды басқарудың тиімділігін арттыруға жаңа мүмкіндіктер ашады.

Нәтижелер және талқылау

Құрылыс машиналарын таңдау және кешендеудің қолданыстағы әдістерін талдау олардың негізгі артықшылықтары мен шектеулерін анықтауға, сондай-ақ, заманауи оңтайландыру әдістемесін әзірлеуге ең перспективалы бағыттарды белгілеуге мүмкіндік берді. Алынған нәтижелер дәстүрлі тәсілдер – нормативтік-анықтамалық, эксперттік, технологиялық және экономикалық – жинақтау мәселесін тек ішінара шешеді және техниканың тиімділігін әсер ететін барлық факторларды ескеруге толық мүмкіндік бермейді.

Зерттеу нәтижелері жаңа әдістемені жасауға негіз қалыптастыруға мүмкіндік берді. Оның бірнеше артықшылығы бар: техникалық, экономикалық және ұйымдастырушылық факторларды кешенді түрде ескеру; әртүрлі құрылыс объектілерінің жағдайларына бейімделу мүмкіндігі; талдауды автоматтандыру және үлкен мәліметтерді талдау сияқты цифрландыру принципін интеграциялау, өнімділік пен шығындар көрсеткіштерін бағалаудың дәлдігін арттыру; жасанды интеллект алгоритмдерін енгізуге база құру. Бұл нәтижелер әдістемені одан әрі дамыту, жетілдіру және бағдарламалық түрде іске асырудың перспективалары зор екенін көрсетеді.

Қорытынды

Ұсынылған нәтижелер құрылыс машиналарын таңдауды оңтайландыру әдістемесін практикалық тұрғыда іске асыруға және шешім қабылдауды интеллектуалды жүйені әзірлеуге ғылыми негіз қалыптастырады. Алдағы зерттеулер перспективаларында бағдарламалық прототип жасау, математикалық модельді кеңейту, статистикалық деректерді жинау және өңдеу, сондай-ақ, жүйенің дәлдігі, бейімделгіштігі мен болжау мүмкіндіктерін арттыру мақсатында машиналық оқыту алгоритмдерін енгізу жатады.

Осылайша, машиналарды таңдауды оңтайландыру әдістемесін әзірлеуге және жасанды интеллект технологияларын қолданатын бағдарламалық қамтамасыз етуді жасауға бағытталған жүргізілген жұмыс қазіргі заманғы құрылыс өндірісінің өзекті талаптарына жауап береді және саланы цифрландырудағы жаһандық үрдістерге сәйкес келеді. Бұл ресурстарды басқарудың интеллектуалды құралдарын енгізу және өндірістік процестердің тиімділігін арттыруға негіз қалайды.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Кудрявцев Е.М. Строительные машины и оборудование (есептеу мысалдары, оның ішінде компьютердегі есептеулерді қоса алғанда). – М.: АСВ, 2016.
2. Ключникова О.В., Шаповалова А.Г., Цыбульская А.А. Основные принципы выбора типа и количества строительных машин для комплексного производства работ // Дона инженерлік хабаршы, 2013.
3. Ким Б.Г., Тур Н.Н., Пенчук В.А. и др. Строительные машины и оборудование стройиндустрии: Оқу құралы. – Владимир: Владимирский государственный университет, 2015.
4. Кадыров А.С., Бойко Н.В., Харченко В.В., Щелконогов В.Н. Технология, организация и комплексная механизация свайных работ. – М.: Стройиздат, 1985.
5. Kadyrov A.S. (2019). Algorithm for making the optimal decision for further operation of freight cars. Transportation Research Procedia, 36, 123-130. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.12.021
6. Кудрявцев Е.М. Строительные машины и оборудование. – М.: АСВ, 2016.
7. Георгиади И.В. Организация и оптимизация применения строительной техники в условиях Республики Казахстан. – Қарағанды: А. Сагинов атындағы техникалық университеті, 2019-2024.
8. Zhang, J., Li, H., & Tam, V.W.Y. Decision support systems for construction equipment selection // Automation in Construction, Volume 98, 2019, pp. 30-40. DOI: 10.1016/j.autcon.2018.10.020.
9. Орлов С.С. Логистика и управление машинными парками. – СПб., 2021.
10. Кузнецов Н.В. Механизация строительных процессов: теория и практика. – М., 2018.

Комплектование машин: аналитический обзор и оценка применяемых методик

ЖУНУСБЕКОВА Жанара Жумашевна, *PhD, ассоциированный профессор, zh.zhunusbekova@ktu.edu.kz, https://orcid.org/0000-0003-0473-1954,*
****КЕШУБАЕВА Айгерим Максутовна,*** *докторант, aigerim_kptk@mail.ru, https://orcid.org/0009-0004-3198-197X,*
Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Рассматривается проблема оптимизации выбора рационального комплекта строительных машин для выполнения работ в конкретных производственных условиях. Формирование комплекта машин представлено как многокритериальная задача, учитывающая техническую совместимость, производительность, стоимость жизненного цикла и особенности строительного объекта. В рамках исследования анализируются традиционные нормативно-справочные, экспертные, технологические и экономические подходы, а также современные методы математического моделирования, информационные системы и цифровые технологии. Особое внимание уделено отечественным научным разработкам, направленным на систематизацию принципов комплексной механизации, расчет производительности машин и экономическую оценку эффективности их эксплуатации. Результаты зарубежных исследований подтверждают универсальный характер рассматриваемой задачи и демонстрируют применение методов многокритериальной оптимизации и алгоритмов машинного обучения. Установлено, что предложенный подход позволяет снизить совокупные затраты на 10-15%, повысить коэффициент использования техники и сократить время принятия управленческих решений. В качестве наиболее перспективного направления выделена интеграция цифровых технологий и элементов искусственного интеллекта, обеспечивающих прогнозирование производственных показателей и адаптацию решений к изменяющимся условиям строительства.*

Ключевые слова: *методы оптимизации, ресурсы предприятия, парк машин, рабочие оборудования, комплексная механизация, стоимость жизненного цикла, автоматизация производственных процессов, эффективное использование ресурсов, искусственный интеллект, программное обеспечение.*

Machine Fleet Composition: An Analytical Review and Assessment of Applied Methodologies

ZHUNUSBEKOVA Zhanara, *PhD, Associate Professor, zh.zhunusbekova@ktu.edu.kz, https://orcid.org/0000-0003-0473-1954,*
****KESHUBAYEVA Aigerim,*** *Doctoral Student, aigerim_kptk@mail.ru, https://orcid.org/0009-0004-3198-197X,*
Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *The problem of optimizing the selection of a rational set of construction machinery for performing works under specific production conditions is considered. The formation of a machinery set is considered as a multi-criteria task that takes into account technical compatibility, productivity, life cycle cost, and the specific characteristics of the construction site. The study analyzes traditional regulatory-reference, expert, technological, and economic approaches, as well as modern methods based on mathematical modeling, information systems, and digital technologies. Special attention is paid to domestic research developments aimed at systematizing the principles of integrated mechanization, calculating machinery productivity, and assessing the economic efficiency of equipment operation. The results of foreign studies confirm the universal nature of the problem and demonstrate the application of multi-criteria optimization methods and machine learning algorithms. The proposed approach makes it possible to reduce total costs by 10-15%, increase equipment utilization rates, and shorten decision-making time. The integration of digital technologies and artificial intelligence elements is identified as the most promising direction, enabling the forecasting of production indicators and the adaptation of decisions to changing construction conditions.*

Keywords: *optimization methods, enterprise resources, machine fleet, working equipment, integrated mechanization, life cycle cost, automation of production processes, efficient use of resources, artificial intelligence, software.*

REFERENCES

1. Kudryavtsev, E.M. Stroitel'nye mashiny i oborudovanie (esepteu mysaldary, onyń ishinde komp'yuterdegi esepteulerdi qosa alǵanda). Moscow: ASV, 2016.
2. Klyuchnikova, O.V., Shapovalova, A.G., Tsybul'skaya, A.A. Osnovnye printsipy vybora tipa i kolichestva stroitel'nykh mashin dlya kompleksnogo proizvodstva rabot. Dona inzhenerlik khabarshy, 2013.
3. Kim, B.G., Tur, N.N., Penchuk, V.A., et al. Stroitel'nye mashiny i oborudovanie stroiindustrii: Oqu quraly. Vladimir: Vladimir State University, 2015.
4. Kadyrov, A.S., Boiko, N.V., Kharchenko, V.V., Shchelkonogov, V.N. Tekhnologiya, organizatsiya i kompleksnaya mekhanizatsiya svainykh rabot. Moscow: Stroiizdat, 1985.
5. Kadyrov, A.S. (2019). Algorithm for making the optimal decision for further operation of freight cars. Transportation Research Procedia, 36, 123-130. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.12.021
6. Kudryavtsev, E.M. Stroitel'nye mashiny i oborudovanie. Moscow: ASV, 2016.
7. Georgiadi, I.V. Organizatsiya i optimizatsiya primeneniya stroitel'noi tekhniki v usloviyakh Respubliki Kazakhstan. Qaraghandy: A. Saginov atyndaǵy Tekhnikalyq Universiteti, 2019-2024.
8. Zhang, J., Li, H., Tam, V.W.Y. Decision support systems for construction equipment selection. Automation in Construction, 98, 30-40 (2019). https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.10.020
9. Orlov, S.S. Logistika i upravlenie mashinnymi parkami Logistics and Fleet Management. Saint Petersburg, 2021.
10. Kuznetsov, N.V. Mekhanizatsiya stroitel'nykh protsessov: teoriya i praktika Mechanization of Construction Processes: Theory and Practice. Moscow, 2018.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_242 ӘОЖ 73.31.41

Іштен жанатын қозғалтқыштардың майлау жүйесіндегі май көлемінің қозғалтқыш ресурсы мен майдың ескіруіне әсері

[1]**ТАБИНБАЕВ Аманжол Муратович,** *докторант, amanzhol.tabinbayev.84@mail.ru,*
[1]***ДЖОЛДАСОВА Куралай Каирберлиновна,** т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, k.joldassova@satbayev.university,*
[2]**БИНИЯЗОВ Абзал Махсотович,** *PhD, қауымдастырылған профессор, abiniyazov@mail.ru,*
[3]**ДЕНИСОВ Александр Сергеевич,** *т.ғ.д., профессор, denisov0307@mail.ru,*
[4]**КАУКАРОВ Алтынбек Кубашевич,** *PhD, қауымдастырылған профессор, altynbek-79@mail.ru,*
[1]Satbayev University, Алматы, Қазақстан,
[2]Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті, Орал, Қазақстан,
[3]Ю.А. Гагарин атындағы Саратов мемлекеттік техникалық университеті, Саратов, Ресей,
[4]Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Андатпа. *Бұл мақалада іштен жанатын қозғалтқыштардың (ІЖҚ), атап айтқанда, КАМАЗ-740 және КАМАЗ-ЕВРО үлгілерінің майлау жүйесіндегі май көлемінің қозғалтқыштың техникалық күйіне және майдың ескіру қарқындылығына әсері зерттелген. Зерттеудің өзектілігі заманауи форсирленген қозғалтқыштардың қуаты артқанмен, майлау жүйесі көлемінің сәйкес пропорцияда өспеуінен туындайтын майдың термиялық тозуы мен ресурстың төмендеуі мәселелерімен негізделеді. Жұмыста жылу балансы мен химиялық кинетика заңдылықтарын (Вант-Гофф ережесі және Аррениус теңдеуі) қолдана отырып, май температурасы мен оның көлемі арасындағы кері пропорционалды тәуелділік негізделген. Авторлар картердегі май деңгейінің шекті мәндерін талдап, майдың аздығынан туындайтын термиялық тозу мен майдың шамадан тыс көптігінен болатын көбіктену процестерінің математикалық модельдерін ұсынған. Зерттеу нәтижесінде тозу және ескіру қарқындылығын сипаттайтын экспоненциалдық функциялар мен оларды практикада қолдануға ыңғайлы екінші дәрежелі полиномдық аппроксимациялау әдістері көрсетілген. Сонымен қатар, мақалада майды толықтырып құю режимінің пайдалану тиімділігіне әсері қарастырылған. Тәжірибелік мәліметтер бойынша, майды жүйелі түрде (әр 1000 км сайын) толықтырып құю май ауыстыру мерзімін 16-20 мың км-ге дейін ұзартуға мүмкіндік беретіні дәлелденген.*

Кілт сөздер: *іштен жану қозғалтқышы, термодинамикалық баланс, майлау жүйесі, май деңгейі, өңделген майлар, тозу қарқындылығы, пайдалану ресурсы.*

Кіріспе

Қазіргі заманғы автомобиль жасау саласындағы негізгі тенденциялардың бірі – іштен жанатын қозғалтқыштардың (ІЖҚ) қуатын арттыру және олардың салмақтық сипаттамаларын оңтайландыру, яғни қозғалтқыштарды форсирлеу болып табылады. Алайда, қозғалтқыш қуатының артуы оның жылулық кернеулігінің жоғарылауына тікелей әсер етеді. Осы орайда, майлау жүйесі тек үйкеліс беттерін майлау функциясын ғана емес, сонымен қатар, бөлшектерден жылуды алып кетуші маңызды салқындатқыш орта рөлін де атқарады.

Зерттеулер көрсеткендей, заманауи форсирленген қозғалтқыштарда, мысалы КАМАЗ-ЕВРО сериясында, номиналды қуат базалық үлгілермен салыстырғанда екі есеге жуық артқанымен, майлау жүйесінің сыйымдылығы мен май сорғысының өнімділігі мұндай пропорцияда өспейді. Бұл майдың айналымдылығының жиілеуіне және оның термиялық жүктемесінің артуына әкеп соғады. Майлау жүйесіндегі жылу балансының бұзылуы мотор майының физика-химиялық қасиеттерінің тез нашарлауына, яғни оның ескіру процесінің жеделдеуіне себеп болады.

Мотор майының температурасы Вант-

Гофф ережесі мен Аррениус теңдеуіне сәйкес химиялық реакциялардың жылдамдығын, демек, қоспалардың шығындалу қарқындылығын анықтайды. Сонымен қатар, картердегі май деңгейінің шекті мәндері үйкеліс тораптарының ресурсына тікелей әсер етеді: май тапшылығы май аштығына әкелсе, оның шамадан тыс көптігі көбіктену процестерін тудырып, майдың тотығуын жылдамдатады.

Осы жұмыстың мақсаты – ІЖҚ-ның майлау жүйесіндегі май көлемі, оның температуралық режимі және бөлшектердің тозу қарқындылығы арасындағы өзара байланысты зерттеу, сондай-ақ майды толықтырып құю режимін оңтайландыру арқылы қозғалтқыш ресурсын арттырудың жолдарын негіздеу болып табылады. Зерттеу барысында КАМАЗ қозғалтқыштарының нақты параметрлері негізінде жылу балансы есептеліп, майдың ескіруін сипаттайтын математикалық модельдер мен практикалық ұсыныстар әзірленді.

Зерттеу әдістері

Қозғалтқыш майлау жүйесіндегі майдың қажетті айналым көлемі келесі формуламен анықталады [1, 2]:

$$V = K \cdot \frac{Q_M}{\rho_M \cdot C_M \cdot \Delta t_M}, \qquad (1)$$

мұндағы ρ_M – мотор майының тығыздығы (880-900 кг/м³).

C_M – меншікті жылу сыйымдылығы (2 кДж/кг·К).

Δt_M – майдың жүйедегі қызу айырмашылығы (10-15 К).

K – қосымша коэффициент (бензинді ІЖҚ үшін K=1, дизельді үшін K=2,5...3).

Зерттеуде базалық КАМАЗ-740 (215 а.к.) мен форсирленген КАМАЗ-ЕВРО (420 а.к.) модельдерінің майлау жүйесінің параметрлері салыстырылды.

Қуаттың өсуі (1,95 есе) мен май сорғысы өнімділігінің өсуі (1,76 есе) арасында алшақтық бар. Бұл май айналымының жиілігін арттырып, майдың «демалуға» және салқындауға уақытының азаюына әкеледі. Нәтижесінде майдың тозуы жеделдеп, оның сапасына (Д тобы) қойылатын талаптар артады.

Қозғалтқыш ресурсы цилиндр-поршень тобы (ЦПТ) мен шатун-кривошипті механизмнің (ШКМ) тозуына тікелей байланысты. Тозу қарқындылығы $\alpha = \alpha_0 + c \cdot t_M$ май температурасына (t_M) сызықтық тәуелді [3].

Майдың сапасы қоспалардың шығындалуымен анықталады. Бұл процесс С. Аррениус теңдеуіне бағынады. Осыны ескере отырып, тозудың температуралық функциясы былай жазылады:

$$\alpha(T) = A_{\exp}\left(-\frac{E_a \cdot V}{R_a}\right). \qquad (2)$$

Қозғалтқыш картеріндегі май деңгейі төмендеген кезде, майдың температурасының жоғарылауынан басқа, оның жүйеге берілуінің үзілуі және ауаның түсуі (яғни, көпіру) ықтималдығы артады. Бұл үйкеліс тораптарын, әсіресе иінді біліктің және турбокомпрессордың мойынтіректерін майлаудың гидродинамикалық режимінің бұзылуына және олардың ресурсының төмендеуіне әкеледі. Жалпы түрде, осыны ескере отырып, үйкеліс тораптары бөлшектерінің май көлеміне (деңгейіне) байланысты тозу қарқындылығының тәуелділігін келесідей жазуға болады:

$$\alpha = \alpha_0 - cV, \qquad (3)$$

мұндағы α_0 – май өлшегіш таяқшадағы жоғарғы белгідегі тозу қарқындылығы (мкм/мың км);

c – пропорционалдық коэффициенті ((мкм/мың км)/м³).

Картердегі май деңгейі (көлемі) $V_{\max}$-тан жоғары көтерілген кезде үйкеліс жұптарына май беру режимі өзгере бастайды, бұл майдың үлкен көлемде көбіктенуі және май тұманының пайда болуы арқылы көрінеді.

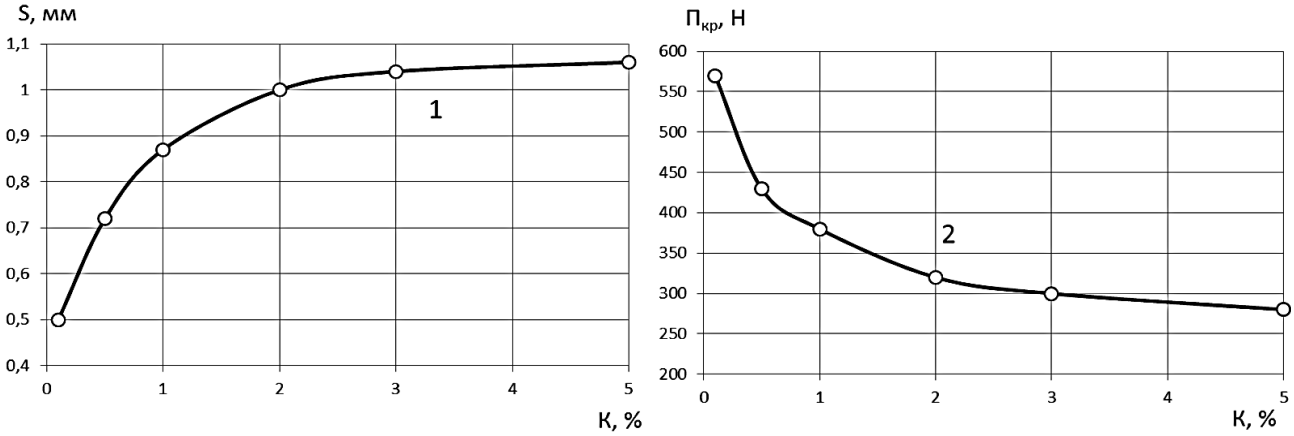
Майдың көбіктенуінің жоғарылауы салдарынан оның үйкеліс жұптарына түсуінің ламинарлы режимі бұзылады. Май ағыны турбулентті болып, үйкеліс жұптары арқылы өту шығынын азайтады және тозу қарқындылығын арттырады. Бұл ретте үйкеліс бетінің тотығу процестері күшейеді. Бұл А.Ф. Аксёновтың [2] 1-суретте келтірілген тәжірибелік деректерімен расталады.

Оттегі концентрациясы 0,5%-дан 5%-ға артқан кезде, тозу 38%-ға ұлғайғаны көрінеді.

Тозу қарқындылығының май көлеміне тәуелділігі функцияның осы анықталу аймағында сызықты емес сипатқа ие, себебі картердегі май деңгейі жоғарылаған сайын ауа көпіршіктерінің ықтималдығы және олардың мөлшері артады. Сондықтан α-ның V-ға

КАМАЗ қозғалтқыштары мысалындағы салыстырмалы талдау

Параметрлері	Базалық (б)	Форсирленген (ф)	Қатынасы (ф/б)
Қуаты, а.к	215	420	1,953
Май сорғысының өнімділігі, м³/сағ	5,1	9,0	1,764
Майлау жүйесінің көлемі, л	28	34	1,214



ШХ15 болаттан жасалған үйкеліс жұбының тозуының (1) және критикалық жүктемесінің (2) Т-7 отынындағы еріген оттегі концентрациясына тәуелділігі [2, 4]

тәуелділік сипатын экспоненциалды деп қабылдауға болады:

$$\alpha = \alpha_0 \cdot e^{fV}, \quad (4)$$

мұндағы α_0 – май көлемі щуптың жоғарғы белгісіне сәйкес келгендегі тозу қарқындылығы (мкм/мың км);

f – эксперименталды коэффициент (1/м³).

Картердегі май көлемінің тозу қарқындылығына тәуелділігінің қорытындысы (5) және (6) функцияларының қосындысын білдіреді.

$$\alpha_\Sigma = \alpha_0 - cV + \alpha_0 e^{fV}. \quad (5)$$

Практикалық мақсаттар үшін бұл тәуелділікті екінші дәрежелі полиноммен көрсету орынды:

$$y = a + bV + cV^2, \quad (6)$$

мұндағы a, b, c – ең кіші квадраттар әдісімен анықталатын эксперименталды параметрлер.

Қазіргі уақытта КАМАЗ-6520 автомобилінің орташа отын шығыны 100 км-ге 40 л құрайды [5]. Автомобильдердің айына орташа жүрісі 4000 км, ал айлық отын шығыны 1600 л болады. Бұл ретте, ЕВРО 2 үшін айлық май шығыны 16 л (1%), ал майдың жануға кетуі отын шығынының 0,2%-ын құрайды, ал үдеткіші жоқ қозғалтқыштарда – майдың жануға шығыны отынның 0,3-0,5%-ын құрайды. Май құю әдетте май өлшегіш щуптағы белгілер бойынша жүргізіледі. Картердегі май көлемінің жоғарғы және төменгі белгілер арасындағы айырмашылығы 4 л болады [6, 7]. Келтірілген жұмыс өтілінің мәндерін ескере отырып, 4 л көлеміндегі май құю орташа есеппен 1000 км сайын орындалады.

Майдың көрсетілген шығын мәндерінде, қозғалтқыш картерінің барлық 32 л көлемі 8000 км жүрістен кейін толығымен жұмсалады.

Әр 1000 км сайын май құю, май ауыстыруға дейінгі жүрісті 16-20 мың км-ге дейін ұзартуға мүмкіндік береді. Бұл ретте қоспалардың, соның ішінде, сілтілік санның концентрациясы төмендейтін болады.

p_0 қоспаларының концентрациясы кезекті май құйғанда келесі қатынас бойынша өзгереді:

$$p_0 = \frac{V_1 p_1 + V_2 p_2}{V_1 + V_2}, \quad (7)$$

мұндағы p_0 – құйғаннан кейінгі қоспалардың концентрациясы;

p_1 – майдың қалдық көлеміндегі қоспалардың концентрациясы;

p_2 – құйылатын майдағы қоспалардың концентрациясы;

V_1 – қалдық көлем;

V_2 – құйылатын майдың көлемі.

Мысалы, бірінші рет май құйғанда V_2=4 л көлеміне қоспаның концентрациясы p_2=10 болған жағдайда V_1=30 л көлеміндегі қоспаның концентрациясы p_1=9 болса, онда жалпы 32 л көлемдегі p_0 қоспасының концентрациясы (7) формуласы бойынша 9,12-ні құрайды.

Майдағы қоспалардың концентрациясынан басқа, май құю режимі картердегі майдың жалпы көлемін де анықтайды, бұл қозғалтқыш бөлшектерінің тозу қарқындылығына және майдың ескіруіне әсер етеді.

Қозғалтқыш бөлшектерінің тозу қарқындылығы ретінде майлау жүйесіндегі қысым және майдың жануға жұмсалу шығыны сияқты диагностикалық параметрлердің өзгеру қарқындылығын қабылдауға болады.

Майлау жүйесіндегі қысым иінді біліктің мойынтіректеріндегі саңылаумен, демек, төсемелер мен мойындардың тозуымен дәрежелік тәуелділікпен байланысты, соның нәтижесінде ол қозғалтқыштың жүрісі өскен сайын экспоненциалдық тәуелділік бойынша төмендейді:

$$P = \frac{a}{S_0^m e^{mbl}} = P_0 e^{-bpl}, \quad (8)$$

мұндағы $P_0 = \frac{a}{S_0^m}$ – пайдалануға беру басталған кездегі үйкеліс соңындағы қысым;

$b_p = m \cdot b$ – тәжірибелік параметр;

S_0 – үйкеліс аяғындағы саңылау.

Сондықтан, иінді біліктің тіректерінің тозу қарқындылығын майлау жүйесіндегі қысымның төмендеу қарқындылығымен бағалауға болады.

Майдың күюге жұмсалуы поршеньдік сақиналардың және поршень ойықтарының тозбасынан туындайды. Жүріс ұлғайған сайын, майдың күюге жұмсалуы экспоненциалды тәуелділікпен артады [8], оны жалпылама түрде келесідей жазуға болады:

$$y = y_0 e^{bl},$$

мұндағы y_0 – пайдалануға берудің басталуына келтірілген үйкеліс аяғындағы көрсеткіштің (май шығынының) мәні;

b – тозудың техникалық жағдайдың өзгеру қарқындылығына әсерін сипаттайтын параметр.

Сондықтан, қозғалтқыштың цилиндрлі-поршеньдік тобының тозу қарқындылығын майдың күюге жұмсалу шығынының өсу қарқындылығымен бағалауға болады.

Қорытынды

1. Май көлемінің сағаттағы айналымдылығы (рет саны) картердегі май көлеміне және май сорғыларының өнімділігіне байланысты болады және КАМАЗ-740 қозғалтқыштарында 2,74-ті, ал КАМАЗ-ЕВРО үшін 3-ті құрайды. Мұндай 1,09 арақатынасы қуаттардың 1,953 арақатынасына тең емес. Осылайша, қозғалтқыш жұмыс істегенде, майлау жүйесінің бірдей көлемін ескере отырып, ондағы май температурасының өсімі артады. Бұл майдың ескіру процесінің қарқындылығын арттыруға және қозғалтқыш бөлшектерінің тозу қарқындылығын жоғарылатуға әкеледі.

2. Тозу қарқындылығының картердегі май көлеміне тәуелділігі (3) және (4) функцияларының қосындысын білдіреді.

3. Картердегі май көлемін оңтайландыру кезінде практикалық қолдану үшін, тозу қарқындылығы мен майдың ескіру қарқындылығының оның көлеміне тәуелділігін екінші дәрежелі полином (6) түріндегі функциямен көрсету орынды болып табылады.

4. Май деңгейі төменгі белгіге жеткен кезде қосымша май құю және оны жоғарғы белгіге дейін жеткізу орынды [9]. Көліктердің орташа жасын ескерсек, майдың жануға орташа шығыны отын шығынының 1%-ын құрайды. Бұл ретте қозғалтқыш картерінің барлық көлемі 8000 км жүрістен кейін жұмсалып бітеді. Әрбір 1000 км сайын май құю, майды ауыстыруға дейінгі жүрісті 16-20 мың км-ге дейін ұзартуға мүмкіндік береді. Бұл жағдайда қоспалардың, оның ішінде, сілтілік қоспаның да концентрациясы төмендейтін болады.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Авдонькин, Ф.Н. Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей / Ф.Н. Авдонькин. – М.: Транспорт, 1985. – 215 с.
2. Аксенов, А.Ф. Трение и изнашивание металлов в углеводородных жидкостях / А.Ф. Аксенов. – М.: Машиностроение, 1977. – 152 с.
3. Денисов, А.С. Изменение технического состояния двигателей при эксплуатации в доремонтном периоде / А.С. Денисов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1982. – № 8. – С. 47-50.
4. Денисов, А.С. Основы формирования эксплуатационно-ремонтного цикла автомобилей / А.С. Денисов. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 1999. – 352 с.
5. Omarov, A.N. Character of changes in quantitative and qualitative parameters of the lubrication system during diesel engine operation / A. Omarov, V. Zakharov, L. Sadykova, A. Kazhiyakhmetova // International Journal of Engineering Trends and Technology, vol. 73, no. 6, pp. 466-475, 2025. Crossref, https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V73I6P138
6. Руководство по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту двигателей КамАЗ 740.30-260 и 740.31-240. – Набережные Челны: ОАО «КамАЗ». 2004. – 138 с.
7. Джулдасова, К.Д. Форсирленген дизельді қозғалтқыштардың өнімділігін майлау жүйесіндегі май көлемін басқаруды жақсарту арқылы арттыру / К.Д. Джулдасова, А.М. Табинбаев, А.М. Биниязов, А.С. Денисов // Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің ХАБАРШЫСЫ. – Астана, 2025. № 4 (153), 214-234 с.
8. Tabinbayev A.M., Diagnosis and assessment of the lubrication system of KAMAZ diesel engines / A. Tabinbayev, K. Okas, L. Nurgaliyev, L. Sarsenbayeva, A. Biniyazov // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science. Pages 1-15. 2026. https://doi.

org/10.1177/09544062261425081
9. Biniyazov A.M. Improving the performance of automotive forced diesel engines by improving the control of oil volume in the lubrication system / A. Biniyazov, V. Zakharov, L. Sadykova, Y. Yerbayev, K. Turlybayev // Journal of the Chinese Institute of Engineers, Transactions of the Chinese Institute of Engineers, Series A, Volume 48, Issue 4, Pages 352-361 | Published: 14 Mar 2025. Website: https://doi.org/10.1080/02533839.2025.2474687

Влияние объема масла в системе смазки двигателей внутреннего сгорания на ресурс двигателя и старение масла

[1]ТАБИНБАЕВ Аманжол Муратович, *докторант, amanzhol.tabinbayev.84@mail.ru,*
[1]*ДЖОЛДАСОВА Куралай Каирберлиновна, *к.т.н., ассоциированный профессор, k.joldassova@satbayev.university,*
[2]БИНИЯЗОВ Абзал Махсотович, *PhD, ассоциированный профессор, abiniyazov@mail.ru,*
[3]ДЕНИСОВ Александр Сергеевич, *д.т.н., профессор, denisov0307@mail.ru,*
[4]КАУКАРОВ Алтынбек Кубашевич, *PhD, ассоциированный профессор, altynbek-79@mail.ru,*
[1]Satbayev University, Алматы, Казахстан,
[2]Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, Уральск, Казахстан,
[3]Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина, Саратов, Россия,
[4]Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, Актобе, Казакстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *В статье исследуется влияние объема масла в системе смазки двигателей внутреннего сгорания (ДВС), в частности моделей КАМАЗ-740 и КАМАЗ-ЕВРО, на техническое состояние двигателя и интенсивность старения масла. Актуальность исследования обусловлена тем, что у современных форсированных двигателей рост мощности не сопровождается пропорциональным увеличением объема смазочной системы, что ведет к термической деградации масла и снижению ресурса. На основе теплового баланса и законов химической кинетики (правило Вант-Гоффа и уравнение Аррениуса) обоснована обратно пропорциональная зависимость между температурой масла и его объемом. Авторами проанализированы предельные значения уровня масла в картере и предложены математические модели процессов термического износа при дефиците масла и пенообразования при его избытке. В результате исследования выведены экспоненциальные функции, описывающие интенсивность износа и старения, а также методы их аппроксимации полиномом второй степени для практического применения. Кроме того, рассмотрено влияние режима долива масла на эффективность эксплуатации. Согласно экспериментальным данным, регулярный долив масла (каждые 1000 км) позволяет продлить срок службы масла до замены до 16-20 тыс. км.*

Ключевые слова: *двигатель внутреннего сгорания, термодинамический баланс, система смазки, уровень масла, отработанные масла, интенсивность износа, эксплуатационный ресурс.*

Effect of Oil Volume in the Internal Combustion Engine Lubrication System on Engine Life and Oil Aging

[1]TABYNBAYEV Amanzhol, *Doctoral Student, amanzhol.tabinbayev.84@mail.ru,*
[1]*JOLDASSOVA Kuralay, *Cand. of Tech. Sc. Associate Professor, k.joldassova@satbayev.university,*
[2]BINIYAZOV Abzal, *PhD, Associate Professor, abiniyazov@mail.ru,*
[3]DENISOV Alexander, *Dr. of Tech. Sc. Professor, denisov0307@mail.ru,*
[4]KAUKAROV Altynbek, *PhD, Associate Professor, altynbek-79@mail.ru,*
[1]Satbayev University, Almaty, Kazakhstan,
[2]West Kazakhstan University of Innovation and Technology, Oral, Kazakhstan,
[3]Yu. Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russia,

[4]K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan,
*corresponding author.

Abstract. *This article investigates the influence of oil volume in the lubrication system of internal combustion engines (ICE), specifically KAMAZ-740 and KAMAZ-EURO models, on the technical condition of the engine and the rate of oil aging. The relevance of the study is driven by the fact that in modern boosted engines, the increase in power is not accompanied by a proportional increase in the lubrication system volume, leading to thermal degradation of the oil and a reduction in service life. Based on heat balance and the laws of chemical kinetics (Van't Hoff rule and Arrhenius equation), an inversely proportional relationship between oil temperature and its volume is established. The authors analyzed the limit values of the oil level in the crankcase and proposed mathematical models for thermal wear processes during oil deficiency and foaming during oil excess. As a result of the study, exponential functions describing the intensity of wear and aging were derived, along with methods for their approximation by a second-degree polynomial for practical application. Furthermore, the impact of the oil top-up regime on operational efficiency is considered. According to experimental data, regular oil top-ups (every 1000 km) allow extending the oil change interval to 16-20 thousand km. The article concludes with findings on predicting the resource of the engine's cylinder-piston group based on changes in lubrication system pressure and oil consumption for combustion (burn-off).*

Keywords: *internal combustion engine, thermodynamic balance, lubrication system, oil level, waste oils, wear rate, operational resource.*

REFERENCES

1. Avdon'kin, F.N. Teoreticheskie osnovy tekhnicheskoj ekspluatacii avtomobilej. Theoretical Foundations of Vehicle Operation and Maintenance / F.N. Avdon'kin. – Moscow: Transport, 1985. – 215 p.
2. Aksenov, A.F. Trenie i iznashivanie metallov v uglevodorodnyh zhidkostyah. Friction and Wear of Metals in Hydrocarbon Liquids / A.F. Aksenov. – Moscow: Mashinostroenie, 1977. – 152 p.
3. Denisov, A.S. Izmenenie tekhnicheskogo sostoyaniya dvigatelej pri ekspluatacii v doremontnom periode [Changes in the Technical Condition of Engines During Pre-Repair Operation] / A.S. Denisov // Mekhanizaciya i elektrifikaciya sel'skogo hozyajstva. – 1982. – № 8. – Pp. 47-50.
4. Denisov, A.S. Osnovy formirovaniya ekspluatacionno-remontnogo cikla avtomobilej. Fundamentals of Forming the Vehicle Service and Repair Cycle / A.S. Denisov. – Saratov: Sarat. gos. tekhn. un-t, 1999. – 352 p.
5. Omarov, A.N. Character of changes in quantitative and qualitative parameters of the lubrication system during diesel engine operation / A. Omarov, V. Zakharov, L. Sadykova, A. Kazhiyakhmetova // International Journal of Engineering Trends and Technology, vol. 73, no. 6, pp. 466-475, 2025. Crossref, https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V73I6P138
6. Rukovodstvo po ekspluatacii, tekhnicheskomu obsluzhivaniyu i remontu dvigatelej KamAZ 740.30-260 i 740.31-240. Operation, Maintenance and Repair Manual for Kamaz 740.30-260 and 740.31-240 Engines. – Naberezhnye CHelny: OAO «KamAZ». – 2004. – 138 p.
7. Dzhuldasova, K.D. Forsirlengen dizel'di қozғaltқyshtardyң өnimdiligin majlau zhүjesindegi maj kөlemin basқarudy zhaқsartu arқyly arttyru. Improving the Performance of High-Output Diesel Engines by Enhancing Oil Volume Management in the Lubrication System / K.D. Dzhuldasova, A.M. Tabinbaev, A.M. Biniyazov, A.S. Denisov // L.N. Gumilev atyndaғy Euraziya ұlttyқ universitetiniң HABARSHYSY, Astana, № 4 (153), pp. 214-234, 2025.
8. Tabinbayev A.M., Diagnosis and assessment of the lubrication system of KAMAZ diesel engines / A. Tabinbayev, K. Okas, L. Nurgaliyev, L. Sarsenbayeva, A. Biniyazov // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science. Pages 1-15. 2026. https://doi.org/10.1177/09544062261425081
9. Biniyazov A.M. Improving the performance of automotive forced diesel engines by improving the control of oil volume in the lubrication system / A. Biniyazov, V. Zakharov, L. Sadykova, Y. Yerbayev, K. Turlybayev // Journal of the Chinese Institute of Engineers, Transactions of the Chinese Institute of Engineers, Series A, Volume 48, Issue 4, Pages 352-361 | Published: 14 Mar 2025. Website: https://doi.org/10.1080/02533839.2025.2474687

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_248 ӘОЖ 621.9

Екінші реттегі математикалық модельдеу негізінде материалдарды ұсақтау процесінің технологиялық параметрлерін оңтайландыру

[1]*МОЛДАХАНОВ Бекболат Аскерханович, PhD, аға ғылыми қызметкер, bek_m78@mail.ru,
[1]ДУДКИН Михаил Васильевич, т.ғ.д., профессор, doudkin@mail.ru,
[2]ЛЕШНЕВСКИЙ Тадеуш, т.ғ.д., профессор, tadeusz.lesniewski@pwr.edu.pl,
[3]ЯКОВЛЕВ Владимир Сергеевич, аға оқытушы, vel1051@yandex.kz,
[3]БАЙГУНУСОВ Айдос Жомартханович, докторант, baygunusov.aydos@mail.ru,
[1]«Европлюс Восток» ЖШС, Өскемен, Қазақстан,
[2]Вроцлав ғылым және технологиялар университеті, Вроцлав, Польша,
[3]Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан,
*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Мақалада екінші ретті математикалық модельдеу қолданылған. Серіппелі-роторлы диірмендегі материалдарды ұнтақтау процесінің технологиялық параметрлерін оңтайландыру бойынша зерттеу нәтижелері келтірілген. Бес түрлі факторлармен эксперименттi жоспарлау негізінде бес негізгі шығыс параметрлері үшін екінші ретті полиномдық модельдер алынды: ұнтақтау, өнімділік, жетек қуаты, меншікті энергия сыйымдылығы және меншікті металл сыйымдылығы. Теңдеулер жүйесінің аналитикалық шешімі негізінде минималды энергия шығыны мен өнімнің қажетті сапасымен максималды өнімділікті қамтамасыз ететін технологиялық параметрлердің оңтайлы мәндері табылды. Жұмыстың ғылыми жаңашылдығы: бір мезгілде бес технологиялық параметрлерді және бес шығыс параметрлерін ескере отырып, ұсақтау процесін кешенді модельдеуге, сондай-ақ, көп өлшемді тапсырма үшін оңтайлы жұмыс режимдерін анықтаудың талдамалық әдісін әзірлеу болып табылды. Зерттеу нәтижелері эмпирикалық түрде орнатылған жұмыс режимдерімен салыстырғанда қуат тұтынуды 8-12% төмендете отырып, өнімділікті 15-20% арттыру мүмкіндігін көрсетеді.

Кілт сөздер: серіппелі-роторлы диірмен, материалдарды ұсақтау, регрессиялық талдау, математикалық модельдеу, технологиялық параметрлерді оңтайландыру.

Кіріспе. Ұнтақтау процестері өте алуан түрлі, бірақ бір мақсатты көздейді – ең аз энергия тұтынумен ең жұқа өнімді алу. Серіппелі-роторлы диірмендердің конструкцияларын әзірлеу және олардың жұмыс процесі ең аз шығынмен жұқа дисперсті материалды алудың жоғары өнімді процесінің мүмкіндігін эмпирикалық түрде дәлелдеді.

Алайда, серіппелі-роторлы диірмендердегі ұсақ ұнтақтаудың жұмыс процесі көптеген параметрлер арасындағы күрделі қатынастармен сипатталады. Өнеркәсіптің қазіргі даму тенденциялары, эмпирикалық тәсілден математикалық модельдеу негізінде технологиялық процестерді басқарудың ғылыми негізделген әдістеріне көшуді талап етеді. Әр фактордың әсерін және олардың өзара әрекеттесуін сандық бағалауға мүмкіндік беретін көпмүшелік модельдерді құру үшін эксперименттi жоспарлау әдістерін қолданатын жұмыстар ерекше қызығушылық туды-рады. Осы зерттеудің мақсаты міндеттің көп критерийлігін ескере отырып, екінші реттегі математикалық модельдеу негізінде ұсақтау процесінің технологиялық параметрлерін оңтайландыру әдістемесін әзірлеу болып табылады [1, 2, 4, 5].

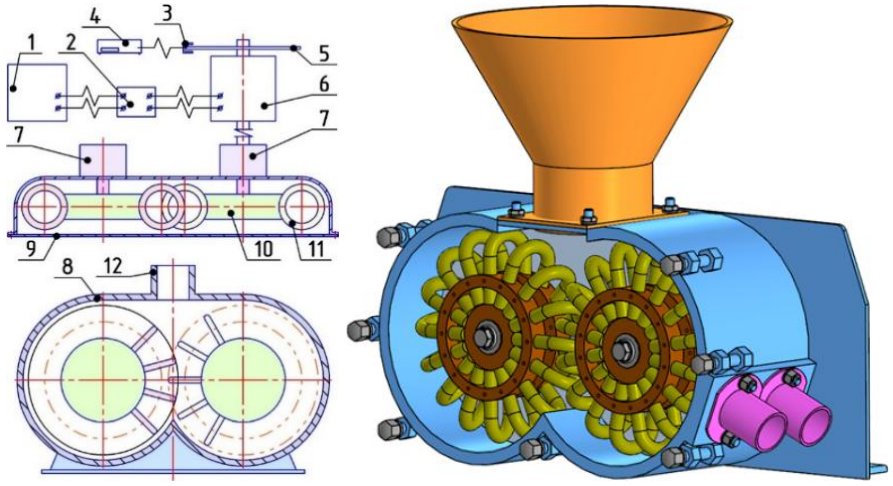
Әдістер мен материалдар. Серіппелі жұмыс органы бар эксперименттік диірмен (1-сурет) тиеу және түсіру люктері бар корпусты қамтиды, корпус ішінде ротор түрінде олардың сыртқы диаметріне бекітілген бұрандалы серіппелері немесе серіппелі сегменттері бар жұмыс дискілері айналады: ұнтақтау камерасының көлемі: 5 л; жұмыс органдарының материалы: 65Г маркалы болат; электр қозғалтқышының қуаты: 15 кВт; басқару жүйесі: жиілікпен реттелетін жетек;

өлшеу жүйесі: қуат бергіштер, тахометр, салмақ мөлшерлегіш. Диірмен корпусы мен айналмалы серіппелі роторлар түзетін ұнтақтау камераларын оларды тұтас немесе торлы қабырға-диафрагмамен бөліп, жетек білігіне көбейтуге және монтаждауға болады. Айналу жиілігін тіркеу 3 тахометр 4 датчигінің көмегімен жүзеге асырылды. Қуатты тіркеу қозғалтқыштың қоректендіру желісіне қосылған 2 ваттметр бойынша жүргізілді.

Бастапқы өнім тиеу люгі арқылы тарту камерасына түседі, онда серіппелі роторлардың әсеріне түседі. Материалдың бұзылуы үш аймақта болады. Бірінші аймақта материал ротордың жұмыс элементтерінің соққысынан және материал бөлшектерінің бір-біріне соғылуынан бұзылады. Екінші аймақта материал ұнтақтау камерасының қабырғасына қысылады және сүргіленеді. Үшінші аймақта материал ілінісу аймағынан өту кезінде роторлардың жұмыс элементтері арасында тағы бір мірте ұнтақталып қысылады және орталықтан тепкіш күштердің әсеріне ұшырайды. Роторлардың әсерінен материал ұсақтаудың барлық аймағынан өтеді.

Сусымалы материалдарды серіппелі-роторлы ұсақтағышта ұсақтаудың технологиялық процесі зерттеу объектісі болып табылады. Зерттеу экспериментті математикалық жоспарлау әдістерін пайдалана отырып жүргізілді. Технологиялық параметрлердің серіппелі-роторлы диірменде ұсақтау процесіне әсерін зерттеу үшін екінші реттегі бес факторлы жоспар таңдалды. Белгіленген жоспар бойынша 27 эксперимент жүргізу нәтижесінде технологиялық факторлардың әртүрлі комбинациялары үшін бес шығу параметрлерінің мәндері алынды (1-кесте).

Эксперименттік деректерді өңдеу, модельдер құру және оңтайландыру NumPy және SciPy кітапханалары бар Python 3.8 пайдалану арқылы жүргізілді. Деректерді талдау жұмыс режимдеріне байланысты шығыс параметрлерінің елеулі вариабельділігін көрсетеді, бұл ұсақтау процесіне технологиялық факторлардың елеулі әсерін растайды.



1) қоректендіру көзі; 2) ваттметр; 3) тахометр датчигі; 4) тахометр; 5) диск; 6) жетектің электр қозғалтқышы; 7) мойынтірек тіректері; 8) корпус; 9) алдыңғы қабырға; 10) ротор; 11) жұмыс органы; 12) жүктеу дискісі

1-сурет – Эксперименттік стендтің схемасы

1-кесте – Эксперименттің жиынтық статистикалық сипаттамалары

Шығыс параметрі	Өлш. бірлігі	Миним. мәні	Максим. мәні	Орташа мәні	Стандарт. ауытқу	Вариац. коэфф. (%)
Ұсақ ұнтақтау (R_{71})	%	10,4	38,0	23,7	7,2	30,4
Өнімділігі (P)	кг/сағ	2,1	23,3	8,3	5,1	61,4
Жетек қуаты (N)	кВт	0,8	14,2	4,2	3,1	73,8
Меншікті (E_{ud}) энергия сыйымдылығы	кВт· сағ/т	1,1	9,3	5,0	2,2	44,0
Меншікті (M_{ud}) металл сыйымдылығы	т· сағ/т	0,2	2,4	0,8	0,5	62,5

Мәрмәрды ұсақтау жөніндегі эксперименттердің сынақ сериясының нәтижелері вариация коэффициенті шекте екенін көрсетті k_{var}=5-6%. Алынған вариация коэффициентінің рұқсат етілгенге қатынасы бойынша 96% сенімділікпен тәжірибелердің қажетті саны анықталады. Мәрмәрды ұсақтау кезіндегі қайталама тәжірибелердің қажетті саны кемінде үшті құрайды. Эксперименттік стендте ұсақтау процесін зерттеу кезінде диірмен жұмысының кезеңдік режимінде n=5 тәуелсіз айнымалылар саны және n=27 жоспар нүктелерінің жалпы саны бар Хартли жоспары пайдаланылды.

Көп факторлы эксперимент үшін зерттелетін факторлар, деңгейлер мен түрлендіру аралықтары 2-кестеде келтірілген.

Ұнтақтау процесінің тиімділігін кешенді бағалау үшін бес шығыс параметрлері таңдалды: Y_1 – ұнтақтау жұқа болуы (R_{71}), % – ірілігі 71 мкм-ден кем фракцияның құрамы; Y_2 – өнімділік (П), кг/сағ – уақыт бірлігі үшін ұсақталған материалдың массасы; Y_3 – жетек қуаты (N), кВт – тұтынылатын электр қуаты; Y_4 – меншікті энергия сыйымдылығы (E_{ud}), кВт·сағ/т – өнім бірлігіне энергия шығындары; Y_5 – меншікті металл сыйымдылығы (M_{ud}), т·сағ/т – жабдықтың тозуының жанама көрсеткіші.

Эксперименттік зерттеулер жүргізілген бес факторлық модельді жоспарлау матрицасы 3-кестеде берілген. Эксперимент жүргізу барысында жұмыс органдарының сыртқы диаметрі және материалдың физикалық-механикалық сипаттамалары өзгеріссіз қалды.

Дисперсиялық матрицаны пайдалана отырып, математикалық үлгілердің коэффициенттерін есептегеннен кейін үдерістің анықтаушы параметрлеріне реакцияның барлық функцияларының регрессиялық тәуелділіктері жасалды:

- ұнтақтау жұқа үлгісі (R_{71}):

$$R_{-71} = 30,1 - 0,7 \cdot X_1 + 0,9 \cdot X_2 - 2,1 \cdot X_3 - 0,52 \cdot X_4 - 2,58 \cdot X_5 - 4,05 \cdot X_1^2 - 3,6 \cdot X_2^2 - 3,55 \cdot X_3^2 - 3,4X_4^2 - 3,95 \cdot X_5^2 - 0,018 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,006 \cdot X_1X_3 + 0,006 \cdot X_1 \cdot X_4 + 0,012 \cdot X_1 \cdot X_5 + 0,01 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,01 \cdot X_2 \cdot X_4 - 0,05 \cdot X_2 \cdot X_5 - 0,04 \cdot X_3 \cdot X_4 - 0,03 \cdot X_3 \cdot X_5 + 0,03 \cdot X_4 \cdot X_5. \quad (1)$$

- өнімділік моделі (P):

$$P = 9,84 + 1,69X_1 + 0,75 \cdot X_2 + 0,3 \cdot X_3 - 0,25 \cdot X_4 - 2,55 \cdot X_5 - 1,7 \cdot X_1^2 - 1,5 \cdot X_2^2 - 1,46X_3^2 - 1,45 \cdot X_4^2 + 0,93 \cdot X_5^2 + 0,47 \cdot X_1 \cdot X_4 - 0,84 \cdot X_1 \cdot X_5 + 0,25 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,08 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,01X_2 \cdot X_3 + 0,43 \cdot X_2 \cdot X_4 - 0,38 \cdot X_2 \cdot X_5 + 0,35 \cdot X_3 \cdot X_4 - 0,02 \cdot X_3 \cdot X_5 + 0,47 \cdot X_4 \cdot X_5. \quad (2)$$

- жетек қуатының моделі (N):

$$N = 4,8 + 1,35 \cdot X_1 + 0,74 \cdot X_2 + 0,4 \cdot X_3 + 0,15 \cdot X_4 - 0,72 \cdot X_5 + 0,57 \cdot X_1^2 + 0,59 \cdot X_2^2 + 0,64 \cdot X_3^2 + 0,64 \cdot X_4^2 + 0,09 \cdot X_5^2 + 0,3 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,2 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,06 \cdot X_1 \cdot X_4 - 0,5 \cdot X_1 \cdot X_5 + 0,03 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,01 \cdot X_2 \cdot X_4 - 0,31 \cdot X_2 \cdot X_5 - 0,08 \cdot X_3 \cdot X_4 - 0,02 \cdot X_3 \cdot X_5 + 0,01 \cdot X_4 \cdot X_5. \quad (3)$$

2-кесте – Құбылу факторлары мен деңгейлері

№	Зерттелетін факторлар	Белгілер	Түрлендіру деңгейлері			Түрлендіру аралығы
			-1	0	+1	
1	Жұмыс органдарының айналу жиілігі, n	X_1	1500	2000	2500	500
2	Материалды жүктеу дәрежесі, k_m	X_2	0,1	0,3	0,5	0,2
3	Жетекші және жетекші ротордың жұмыс аймағын жабу шамасы, k_r, мм	X_3	-15	0	+15	15
4	Ұнтақтау камерасының жылжымалы және жылжымайтын бөліктері арасындағы саңылау, k_{zaz}, мм	X_4	2	7	12	5,0
5	Ұсақтау ұзақтығы, Т, сек	X_5	60	90	120	30

3-кесте – Жауап беру функцияларының эксперименттік мәндері

№	X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Эксперимент нәтижелері				
							R_{+71}, %	$N \cdot 10^{-1}$, кВт	E_{ud}, (кВт·ч)/т	Т, кг/сағ	M_{ud} т·ч/т
1	1	1	1	1	1	1	12,0	7,3	9,3	7,9	0,63
2	1	-1	-1	1	1	1	14,2	1,7	5,3	3,2	1,56
3	1	-1	1	-1	-1	-1	38,0	2,1	2,1	10,0	0,5
4	1	1	-1	-1	-1	-1	28,0	4,5	2,9	15,0	0,3
5	1	-1	1	-1	1	1	26,3	2,0	5,3	3,8	1,32
6	1	1	-1	-1	1	1	16,8	3,3	6,1	5,4	0,9
7	1	1	1	1	-1	-1	24,2	14,2	6,2	23,3	0,2
8	1	-1	-1	1	-1	-1	26,2	1,7	2,1	8,2	0,6
9	1	-1	1	1	1	-1	28,1	5,1	4,3	11,9	0,42
10	1	1	-1	1	1	-1	18,0	9,1	5,1	6,8	0,27
11	1	1	1	-1	-1	1	22,0	4,8	7,1	2,1	0,7
12	1	-1	-1	-1	-1	1	24,3	1,0	3,1	2,1	2,4
13	1	-1	1	1	-1	1	20,0	2,2	6,3	3,4	1,41
14	1	1	-1	1	-1	1	10,4	4,1	7,3	5,5	0,9
15	1	1	1	-1	1	-1	30,1	11,1	5,1	21,8	0,23
16	1	-1	-1	-1	-1	-1	32,0	0,8	1,1	7,8	0,64
17	1	0	0	0	0	0	29,0	3,7	5,0	7,4	0,67
18	1	0	0	0	0	0	20,1	5,9	5,2	9,8	0,51
19	1	1	0	0	0	0	26,0	1,7	3,7	4,8	1,04
20	1	-1	0	0	0	0	25,1	4,9	5,8	8,5	0,58
21	1	0	1	0	0	0	21,9	2,6	4,2	6,3	0,79
22	1	0	-1	0	0	0	19,8	4,5	5,8	7,0	0,63
23	1	0	0	1	0	0	27,3	2,9	4,3	7,0	0.71
24	1	0	0	-1	1	0	22,5	4,0	5,3	7,6	0,65
25	1	0	0	0	-1	0	24,9	3,4	3,7	7,4	0,67
26	1	0	0	0	0	1	18.0	3,1	6,3	4,9	1,01
27	1	0	0	0	0	-1	28,3	5,4	3,7	14,8	0,33

- энергия сыйымдылығы үшін:

$$E_{ud} = 6,29 + 0,6 \cdot X_1 + 0,4 \cdot X_2 + \\ + 0,43 \cdot X_3 + 0,1 \cdot X_4 + 0,68 \cdot X_5 - \\ - 1,2 \cdot X_1^2 - 0,6 \cdot X_2^2 - 0,6 \cdot X_3^2 - \\ - 0,6 \cdot X_4^2 + 0,5 \cdot X_5^2 - 0,01 \cdot X_1 \cdot X_2 + \\ + 0,01 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,06 \cdot X_1 \cdot X_4 + \\ + 0,01 \cdot X_1 \cdot X_5 - 0,01 \cdot X_2 \cdot X_3 + \\ + 0,07 \cdot X_2 \cdot X_4 - 0,006 \cdot X_2 \cdot X_5 + \\ + 0,06 \cdot X_3 \cdot X_2 + 0,01 \cdot X_3 \cdot X_5 + \\ + 0,06 \cdot X_4 \cdot X_5. \quad (4)$$

- металл сыйымдылығы үшін:

$$M_{ud} = 0,9 - 0,15 \cdot X_1 - 0,06 \cdot X_2 - \\ - 0,03 \cdot X_3 - 0,07 \cdot X_4 + 0,22 \cdot X_5 - \\ - 0,01 \cdot X_1^2 - 0,01 \cdot X_2^2 - 0,11 \cdot X_3^2 - \\ - 0,12 \cdot X_4^2 - 0,15 \cdot X_5^2 + 0,03 \cdot X_1 \cdot X_2 + \\ + 0,02 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,07 \cdot X_1 \cdot X_4 - \\ - 0,07 \cdot X_1 \cdot X_5 + 0,03 \cdot X_2 \cdot X_3 + \\ + 0,05 \cdot X_2 \cdot X_4 - 0,03 \cdot X_2 \cdot X_5 + \\ + 0,05 \cdot X_3 \cdot X_4 - 0,02 \cdot X_3 \cdot X_5 + \\ + 0,01 \cdot X_4 \cdot X_5. \quad (5)$$

Модельдер коэффициенттерін талдау факторлары олардың негізгі шығу параметр-

леріне әсер ету дәрежесі бойынша ранжирлеуге мүмкіндік берді. Ұнтақтаудың жұқа болуы үшін (R_{-71}) ең көп үлесті ұнтақтау уақыты (X_5, сызықтық әсері -2.58) және роторлардың жабылу шамасы (X_3, -2.10) қосады, және екі фактор да оптимумның бар екендігін көрсететін маңызды квадраттық әсерлерге ие. Өнімділік үшін басым фактор ұсақтау уақыты (X_5, -2.55), одан кейін айналу жиілігі (X_1, +1.69) болып табылады. Жетек қуаты (N) айналу жиілігіне (X_1, +1.35) және жүктеу дәрежесіне (X_2, +0.74) қатты тәуелді. Өзара іс-қимылдың маңызды коэффициенттерінің болуы (мысалы, өнімділік пен қуат үшін X_1X_5) процестің күрделі, аддитивті емес сипатын растайды.

Ұнтақтаудың жұқа болуы үшін регрессия теңдеуінен ұсақтау уақыты (T), айналу жиілігімен (n) тең – іс жүзінде неғұрлым басқарылатын түйінді технологиялық параметрлер екені көрінеді. 2-суретте ұнтақтау ұсақтығының (R_{-71}) жұмыс аймағының жабылуына (X_3) және ұнтақтау уақытына (X_5) тәуелділігінің жауап қайтару беті көрсетілген.

Желілік әсерлерді талдау ең маңызды фактор -2.58 коэффициентімен ұсақтау уақыты (X_5) болып табылатынын көрсетті. Бұл жұмыс органдарының материал бөлшектерімен байланыстар санының ұлғаюымен түсіндіріледі. Маңыздылығы бойынша екінші фактор (X_3) жұмыс аймақтарының жабылуы болып табылады, бұл ұсақтаудың белсенді аймағының тиімділігін растайды. Барлық факторлардың квадраттық әсерлері теріс, бұл зерттелетін саланың ішінде ең жоғары жауап беру функциясының бар екенін көрсетеді. Бұл ауытқуы тиімділіктің төмендеуіне алып келетін оңтайлы режимдердің бар екенін куәландырады. Диірменнің өнімділігі айналу жиілігіне (X_1) және жүктеу дәрежесіне (X_2) айтарлықтай тәуелді. Алайда, жүктеменің шамадан тыс артуы қуаттың және меншікті энергия сыйымдылығының өсуіне алып келеді. Өнімділік үшін регрессия теңдеуі маңызды технологиялық ымыраға ие – жиіліктің артуы өнімділікті арттырады, бірақ уақыттың артуы оны төмендетеді (2-сурет, в).

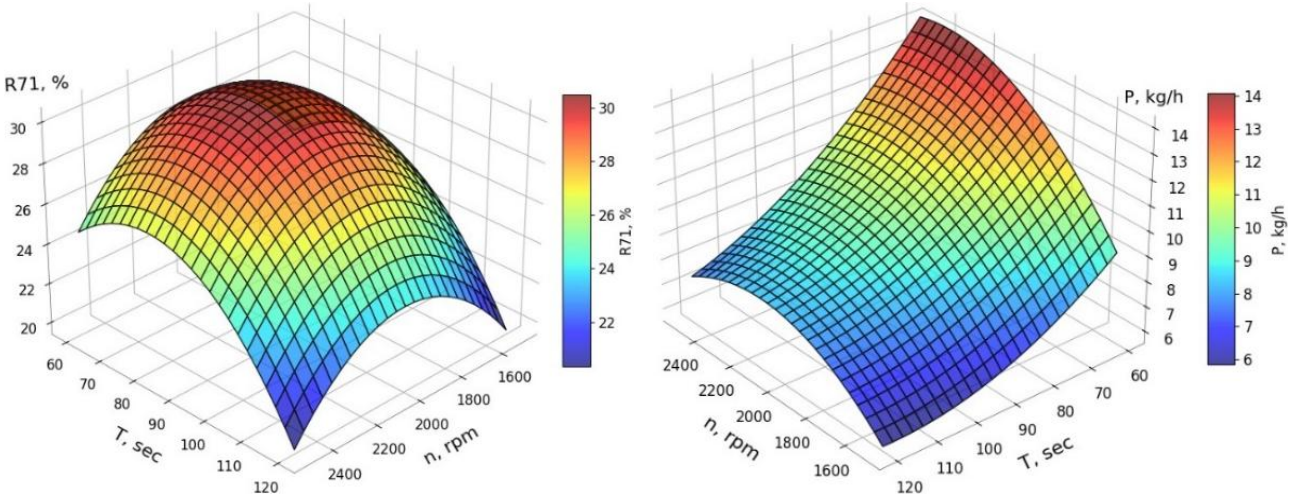
Қуат негізінен айналу және жүктеу жиілігіне байланысты – бұл ұсақтау жабдығы үшін классикалық тәуелділік (3-сурет).

Меншікті энергия сыйымдылығы үшін регрессия теңдеуі энергия шығындарын барынша азайту үшін оңтайлы айналу жиілігінің болуын көрсетеді (4-сурет, а). Меншікті металл сыйымдылығы үшін регрессия теңдеуі 4-суретте көрінетін өңдеу уақытының ұлғаюы жабдықтың тозуын қалай арттыратынын көрсетеді.

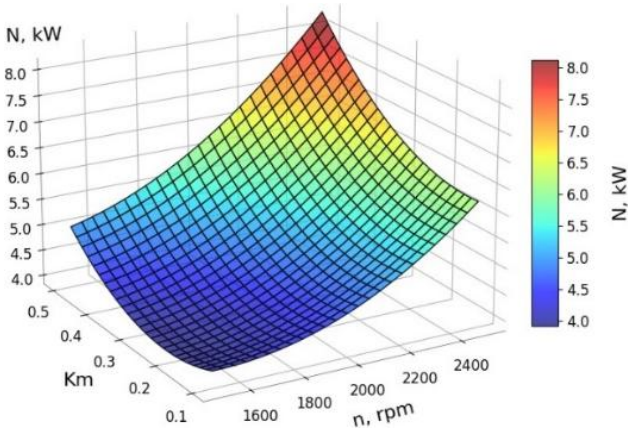
Үлгілердің барабарлығы Фишер критерийімен және детерминация коэффициентінің жоғары мәндерімен расталған (R^2>0.93). Меншікті энергия сыйымдылығы (E_{ud}) және металл сыйымдылығы (M_{ud}) технологияның экономикалық тиімділігін бағалауға мүмкіндік береді. Графикалық тәуелділіктер оптимумды және жауап беру функциясының мінез-құлқын көрсетеді.

Қорытынды. Жетек қуатының моделіндегі өзара іс-қимыл коэффициенттерін талдау технологиялық параметрлер ықпалының күрделі сипатын анықтады, бұл олардың бірлескен түрленуі кезіндегі синергетикалық және антагонистикалық әсерлер туралы куәландырады.

Технологиялық салдарлар:



2-сурет – Ұнтақтау жіңішкелігінің және өнімділіктің (в) n айналу жиілігі мен T ұзақтығына тәуелділігі



3-сурет – Қуаттың м шаманың айналу жиілігіне тәуелділігі

- X_1X_5 өзара іс-қимылы бір мезгілде уақытты ұлғайту және жиілікті төмендету кезінде энергия тұтынуды елеулі төмендету мүмкіндігін көрсетеді.

- X_1X_2 оң өзара іс-қимылы жоғары жиілік кезінде жүктеменің ұлғаюы қуаттың пропорционалды емес үлкен өсуіне әкелетінін білдіреді.

- Ең маңызды фактор ретінде айналу жиілігі (X_1) қатысуымен өзара іс-қимылға неғұрлым көп көңіл бөлу керек.

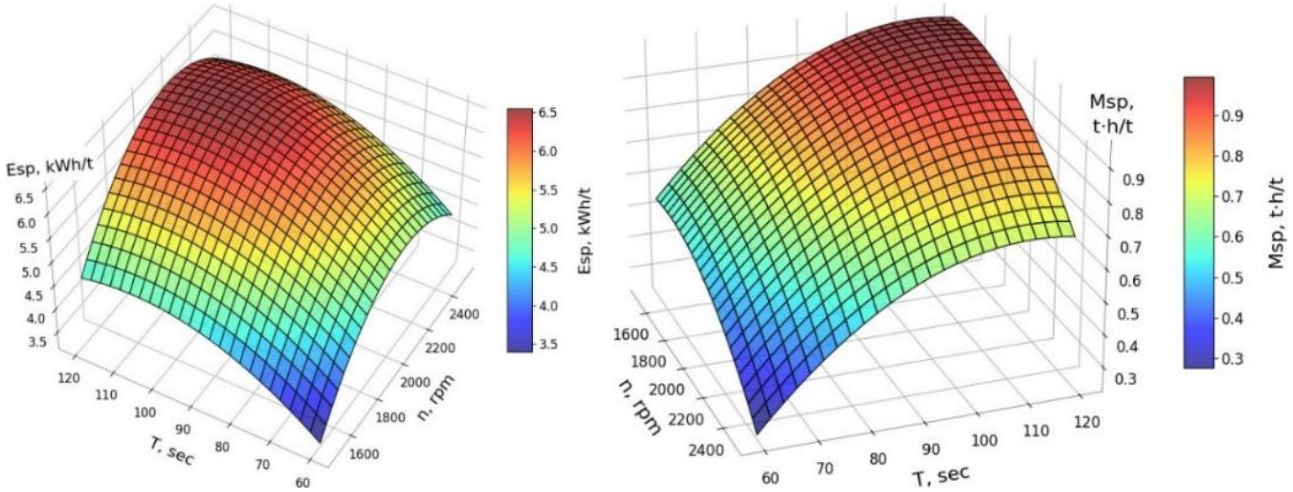
Төрт критерий үшін оңтайлы параметрлердің қалыпқа келтірілген мәндерін пайдалана отырып, радарлық диаграммалар әдісімен әртүрлі критерийлер бойынша оңтайлы параметрлерді салыстыру кестесін жасайық: қуатты барынша азайту (N), қуатты барынша арттыру, өнімділікті барынша арттыру (П) және ымыралы шешім (α=0.5). Параметрлер іріктемедегі ең төменгі және ең жоғарғы мәндерге қатысты [0,1] диапазонында нормаланған.

Негізгі ғылыми нәтижелері:

1. Ұсақтау процесінің бес негізгі шығу параметрлері: ұнтақтау (R_{71}), өнімділік (P), жетек қуаты (N), меншікті энергия сыйымдылығы (E_{ud}) және меншікті металл сыйымдылығы (M_{ud}) үшін екінші реттегі баламалы көп көлемді модельдер әзірленді. Алынған үлгілердің детерминация коэффициенттері 0,93-тен асады, бұл олардың жоғары болжамдық қабілеттілігін куәландырады.

2. Технологиялық параметрлер мен шығу сипаттамалары арасындағы сандық тәуелділіктер анықталды. Ұсақтау уақытының (X_5) және жұмыс органдарының айналу жиілігінің (X_1) процеске ең көп әсер ететіні, ал ұнтақтау камерасындағы саңылаудың (X_4) ең аз әсер ететіні анықталды.

3. Алынған нәтижелер эмпирикалық тәсілден технологиялық процесті ғылыми негізделген басқаруға көшуге мүмкіндік береді, бұл өнімділікті арттыруды, өнім сапасын жақсартуды және энергия шығындарын төмендетуді қамтамасыз етеді. Жарияланымға байланысты зерттеулерді ҚР Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырады: грант AP26102017 «Өсімдік шаруашылығы қалдықтарын қайта өңдеудің инновациялық технологиясына арналған жоғары өнімділікті параметрлерді негіздеу және жабдықтарды әзірлеу».



4-сурет – Энергия сыйымдылығының (а) және металл сыйымдылығының (в) жиілігі мен айналу уақытына тәуелділігі

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Сиваченко Л.А., Добровольский Ю.К. История развития и современный уровень техники измельчения // Вестник Белорусско-Российского университета. 2012. № 4 (37). – С. 69-76. https://cyberleninka.ru/article/n/istoriya-razvitiya-i-sovremennyy-uroven-tehniki-izmelcheniya
2. Сорокин Ф.Д., Чжоу Су. Конечный элемент в виде витка для расчета частот и форм собственных колебаний пружин с учетом сдвига и инерции вращения // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. № 1 [694] 2018. – С. 3-11. DOI: 10.18698/0536-1044-2018-1-3-11 https://izvuzmash.bmstu.ru/articles/1502/1502.pdf
3. Lee J. Free vibration analysis of cylindrical helical springs by the pseudospectral method. Journal of Sound and Vibration, 2007, vol. 302, is. 1-2, pp. 185-196.
4. Yildirim V. On the linearized disturbance dynamic equations for buckling and free vibration of cylindrical helical coil springs under combined compression and torsion. Meccanica, 2012, vol. 47, is. 4, pp. 1015-1033.
5. Ганбат Д., Гаврюшин С.С. Исследование статических и динамических характеристик винтовых пружинных мельниц // Известия вузов. Машиностроение. № 8, 2007. – С. 10-16. https://izvuzmash.bmstu.ru/articles/685/685.pdf
6. Севостьянов В.С., Сиваченко Т.Л., Севостьянов М.В., Горягин П.Ю., Бабуков В.А. Научно-практические основы создания иглофрезерных измельчителей многоцелевого назначения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2018, № 3. – С. 107-116. DOI: 10.12737/article_5abfc9cfb02a37.92961359.

Оптимизация технологических параметров процесса измельчения материалов на основе математического моделирования второго порядка

[1]*МОЛДАХАНОВ Бекболат Аскерханович, *PhD, старший научный сотрудник, bek_m78@mail.ru,*
[1]ДУДКИН Михаил Васильевич, *д.т.н., профессор, doudkin@mail.ru,*
[2]ЛЕШНЕВСКИЙ Тадеуш, *д.т.н., профессор, tadeusz.lesniewski@pwr.edu.pl,*
[3]ЯКОВЛЕВ Владимир Сергеевич, *старший преподаватель, vel1051@yandex.kz,*
[3]БАЙГУНУСОВ Айдос Жомартханович, *докторант, baygunusov.aydos@mail.ru,*
[1]ТОО «Европлюс Восток», Усть-Каменогорск, Казахстан,
[2]Вроцлавский политехнический университет, Вроцлав, Польша,
[3]Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *В статье использовалось математическое моделирование второго порядка. Приведены результаты исследований по оптимизации технологических параметров процесса измельчения материалов на пружинно-роторной мельнице. На основе планирования эксперимента с пятью различными факторами были получены полиномиальные модели второго порядка для пяти основных выходных параметров: помола, производительности, мощности привода, удельной энергоемкости и удельной металлоемкости. На основе аналитического решения системы уравнений были найдены оптимальные значения технологических параметров, обеспечивающие минимальные энергозатраты и максимальную производительность при требуемом качестве продукции. Научной новизной работы являлись: разработка аналитического метода комплексного моделирования процесса дробления с учетом пяти технологических параметров и пяти выходных параметров одновременно, а также определение оптимальных режимов работы для многомерной задачи. Результаты исследования показывают возможность увеличения производительности на 15-20% при снижении энергопотребления на 8-12% по сравнению с эмпирически установленными режимами работы.*

Ключевые слова: *пружинно-роторная мельница, тонкое измельчение материалов, регрессионный анализ, математическое моделирование, оптимизация технологических параметров.*

Optimization of Technological Parameters the Process of Grinding Materials Based on Mathematical Modeling of the Second the Order

[1]***MOLDAKHANOV Bekbolat,** PhD, Senior Researcher, bek_m78@mail.ru,*
[1]***DOUDKIN Mikhail,** Dr. of Tech. Sc., Professor, doudkin@mail.ru,*
[2]***LEŚNIEWSKI Tadeusz,** Dr. of Tech. Sc., Professor, tadeusz.lesniewski@pwr.edu.pl,*
[3]***YAKOVLEV Vladimir,** Senior Lecturer, vel1051@yandex.kz,*
[3]***BAIGUNUSSOV Aidos,** Doctoral Student, baygunusov.aydos@mail.ru,*
[1]LLP «Europlyus Vostok», Oskemen, Kazakhstan,
[2]Wrocław University of Science and Technology, Wrocław, Poland,
[3]D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Oskemen, Kazakhstan,
**corresponding author.*

***Abstract.** The article used second-order mathematical modeling. The results of a study on optimizing the technological parameters of the process of grinding materials in a spring-rotor mill are presented. Based on the planning of the experiment with five different factors, secondary polynomial models were obtained for the five main output parameters: grinding, performance, drive power, specific energy intensity and specific metal capacity. Based on the analytical solution of the system of equations, optimal values of technological parameters were found that provide maximum productivity with minimal energy consumption and the required quality of products. The scientific novelty of the work was the development of a comprehensive simulation of the crushing process, taking into account five technological parameters and five output parameters at the same time, as well as an analytical method for determining the optimal operating modes for a multidimensional task. The results of the study show the possibility of increasing productivity by 15-20%, reducing power consumption by 8-12% compared to empirically established operating modes.*

***Keywords:** spring-rotor mill, fine grinding of materials, regression analysis, mathematical modeling, optimization of technological parameters.*

REFERENCES

1. Sivachenko L.A., Dobrovol`skij Yu.K. Istoriya razvitiya i sovremenny`j uroven` texniki izmel`cheniya // Vestnik Belorussko-Rossijskogo universiteta. 2012. № 4 (37). – Pp. 69-76. https://cyberleninka.ru/article/n/istoriya-razvitiya-i-sovremennyy-uroven-tehniki-izmelcheniya
2. Sorokin F.D., Chzhou Su. Konechny`j e`lement v vide vitka dlya rascheta chastot i form sobstvenny`x kolebanij pruzhin s uchetom sdviga i inercii vrashheniya // Izvestiya vy`sshix uchebny`x zavedenij. Mashinostroenie. № 1 [694] 2018. – Pp. 3-11. DOI: 10.18698/0536-1044-2018-1-3-11 https://izvuzmash.bmstu.ru/articles/1502/1502.pdf
3. Lee J. Free vibration analysis of cylindrical helical springs by the pseudospectral method. Journal of Sound and Vibration, 2007, vol. 302, is. 1-2, pp. 185-196.
4. Yildirim V. On the linearized disturbance dynamic equations for buckling and free vibration of cylindrical helical coil springs under combined compression and torsion. Meccanica, 2012, vol. 47, is. 4, pp. 1015-1033.
5. Ganbat D., Gavryushin S.S. Issledovanie staticheskix i dinamicheskix xarakteristik vintovy`x pruzhinny`x mel`nicz // Izvestiya vuzov. Mashinostroenie. № 8, 2007. – Pp. 10-16. https://izvuzmash.bmstu.ru/articles/685/685.pdf
6. Sevost`yanov V.S., Sivachenko T.L., Sevost`yanov M.V., Goryagin P.Yu., Babukov V.A. Nauchno-prakticheskie osnovy` sozdaniya iglofrezerny`x izmel`chitelej mnogocelevogo naznacheniya // Vestnik BGTU im. V.G. Shuxova, 2018, № 3. – Pp. 107-116. DOI: 10.12737/article_5abfc9cfb02a37.92961359

Педагогика высшей школы. Экономика





DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_256 UDC 371.3

Development and Adaptation of VR Solutions for Computer Science Education in Kazakhstan

ZULPYKHAR Zhandos, *Cand. of Ped. Sc., Head of Department, astzhan@gmail.com,*
****AZAMAT Aitgul,*** *Doctoral Student, aitgulazamat@gmail.com,*
SHYNDALIYEV Nurzhan, *Cand. of Ped. Sc., Associate Professor, nurzhan-11@list.ru,*
L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *An analytical review of international virtual reality (VR) tools used in computer science education is presented, and assesses their applicability to school and university curricula in Kazakhstan is given. The study examines the main approaches to VR described in international literature from 2011 to 2024, including visualization of algorithms and data structures, VR-based programming environments, puzzle-based tools supporting computational thinking, and modeling of systems and network processes. These categories were compared with the content of the computer science curricula of primary, secondary, high school, and higher education in Kazakhstan. The results show that international VR solutions are consistent with key curricular topics such as algorithmizing, programming, data structures, logic, and systems. The study concludes that VR can be integrated into educational practices in Kazakhstan with minimal curriculum changes, while further analysis is needed to address practical implementation issues.*

Keywords: *virtual reality (VR), computer science, education, simulation, programming, visualization.*

Introduction

Virtual Reality (VR) is simultaneously a concept, a technological tool, and an interactive environment that provides the user with deep immersion into a computer-generated world [1]. To create this experience, specialized head-mounted displays (HMDs) such as the Oculus Rift or Meta Quest are used, along with controllers and motion-tracking sensors that capture the user's movements and en-

able interaction with virtual objects [2]. VR is becoming an increasingly influential tool in computer science education due to its ability to transform abstract and technically complex concepts into intuitive, interactive, and visually rich experiences. Computer science traditionally relies on symbolic, textual, and highly abstract representations, often making it difficult for beginners to understand key topics such as algorithms, data structures, or system behavior. VR offers a fundamentally different approach to learning, providing immersive environments in which students can dynamically observe computational processes and interact with 3D representations of data and program execution.

International research shows that VR increases engagement, develops abstract thinking, and improves understanding of complex concepts through its immersive experience [3]. In computer science, VR is used to visualize algorithms, provide 3D representations of data structures, model network processes, and create simulations to study computer architecture and operating systems. These approaches are reflected in recent empirical work: VR visualizations of algorithms and data structures [4], VR environments that combine coding with immediate 3D feedback [5], and VR puzzle/quest formats that support computational thinking [6].

While most methodological advances have come from the international research community, Kazakhstan has also begun integrating virtual reality into educational practice. Recent national studies demonstrate the positive impact of using virtual reality in computer science teaching, demonstrating increased engagement and improved conceptual understanding at the school and university levels [7]. These developments indicate that virtual reality technologies are gradually becoming part of the local educational landscape, contributing to a wider shift towards innovative digital learning. However, the use of VR directly in computer science teaching is still at an early stage, and analysis of how international solutions relate to Kazakhstani educational programs is still limited. In particular, the extent to which existing VR tools correspond to the content of the subject "Computer Science" in elementary, middle, and high school, as well as typical university courses in computer science, is not considered.

Thus, this study aims to identify which foreign VR solutions can be used for teaching computer science in Kazakhstan and to what extent they align with the content and requirements of national educational programs. The study therefore formulates a central research question:

Which foreign VR tools and approaches are suitable for teaching computer science in Kazakhstan, and how well do they fit the local educational context?

The scientific novelty of this work lies in its systematic comparison of international virtual reality solutions with the structure and subject content of Kazakhstan's computer science curricula at all levels of education. While previous research in Kazakhstan has focused primarily on the general potential of virtual reality in education, this article proposes a structured matrix linking specific virtual reality approaches to specific curricular topics.

Methodology

The study was conducted as an analytical review with elements of thematic comparison.

1. Analysis of international literature.

Articles from ACM, Springer, MDPI, Education Sciences, Computers & Education (2011-2024) were used. We selected papers containing descriptions of VR methods for teaching algorithms, data structures, programming, systems, networks, and computational thinking.

2. Identification of VR areas.

Through open coding, four main thematic groups of VR applications were identified:

- VR visualization of algorithms and data structures;
- VR programming environments;
- VR puzzles for computational thinking;
- VR simulations of system and network processes.

3. Comparison with Kazakhstani programs.

A comparison of VR curricula with Kazakhstan's educational documents was conducted:

- Primary school (digital literacy);
- General secondary school (informatics grades 5-11);
- High school specialization modules;
- Bachelor's CS programs in leading universities.

4. Assessment of adaptation conditions.

The following factors were considered: equipment availability, localization requirements, teacher readiness, availability of teaching materials, and infrastructure limitations.

Results and Discussion

An analysis of international studies has identified several consistent trends in the use of VR in computer science education, each varying in pedagogical potential, depth of visualization, and relevance to the topics taught in Kazakhstan. These trends form the basis for assessing the potential for adapting VR solutions to the national educational system.

First, a significant number of studies are devoted to the visualization of algorithms and data structures. VR environments allow for the display of the dynamics of stacks, queues, graphs, recursive functions, and sorting in

three-dimensional space [8]. Research shows that VR environments help students visualize abstract computer science concepts, which contributes to a deeper understanding of the material. For example, a systematic review by Radianti et al. [9] emphasizes that immersive VR environments allow students to observe processes and phenomena that are difficult to demonstrate with traditional teaching methods. This makes VR a particularly valuable technology for learning complex and abstract topics in computer science.

One of the most studied applications of VR in programming education is the use of environments where code execution is accompanied by immediate visual feedback. One such solution is the MYR platform, which integrates WebVR and programming fundamentals through the creation of 3D scenes using code [10]. The study notes that MYR allows students to simultaneously work with programming and create visual objects, increasing their engagement and interest in the subject.

Another trend is the use of VR games and puzzles to support computer science learning. A systematic review of VR in CS education noted that such games can positively impact the understanding of basic CS concepts and student engagement [11]. These formats increase motivation and interest, especially among beginning students.

Significant attention is also being paid to VR simulations, which help visualize processes inaccessible in traditional learning. According to Radianti et al. [9], VR simulations help students more quickly and deeply understand complex processes through immersive representations of interactions and system elements. The authors emphasize that such simulations are particularly useful in areas where real-world observation of processes is difficult. Based on a comparison of these areas with educational programs in Kazakhstan, the Table was compiled.

The analysis results confirm that VR has high potential for implementation in computer science education in Kazakhstan. Each VR approach supports specific educational objectives:

- Visualization facilitates the acquisition of abstract algorithms;
- VR programming makes learning code visual;
- VR puzzles develop logical and computational thinking;
- System simulators address the lack of experimental environments in OS and network training.

These approaches overlap with the content of domestic educational programs, confirming their feasibility without significant curriculum changes. Therefore, VR solutions can enhance existing computer science and informatics modules.

Adaptation Factors and Implementation Challenges

To assess the potential for international virtual reality solutions in Kazakhstan, several contextual factors must be considered. Virtual reality tools typically require sufficiently powerful computers or standard-alone headsets, and while large urban schools and universities meet these requirements, many rural institutions still lack the necessary equipment, making a phased implementation more realistic. Meanwhile, virtual reality devices in Kazakhstan are primarily used in pilot projects, and their limited availability means that large-scale integration will require planned procurement and maintenance. Since most educational virtual reality environments operate in English, effective use in primary and secondary schools also depends on localization into Kazakh and Russian. Teacher readiness is another key factor, as many computer science teachers have limited experience with immersive technologies, highlighting the need for targeted training and methodological support. Finally, issues

Applicability of international VR solutions to educational levels in Kazakhstan

VR Solution Type	Contents	Suitable for	Reason for Compliance
VR Algorithm Visualization	graphs, queues, sorting	High School, University	Corresponds to the topics "Algorithmization" and "Data Structures"
VR programming environments	code → visual scene	High school, university	Supports the teaching of Python, C++, and Java.
VR puzzles and games featuring	logic, quests, and sequences	Elementary and middle school	Develop computational thinking.
VR system simulators	operation systems, networks, and architecture	University	Completely consistent with CS disciplines

such as classroom space, stable internet access, and adherence to safety regulations must be considered. All these factors show that, despite strict adaptation to the curriculum, effective integration of virtual reality requires careful consideration of technical, organizational, and pedagogical conditions.

Conclusions

The review showed that international VR solutions for computer science education are thematically aligned with the content of Kazakhstan's educational programs and can be adapted for school and university levels.

Thus, the applicability of VR solutions to Kazakhstan's programs was assessed. VR visualization, VR programming, VR puzzle games, and VR system simulators are highly relevant to the topics taught in middle and high schools, and in universities in Kazakhstan, and can be integrated into the educational process.

A general analysis of international VR solutions shows that existing developments cover a wide range of computer science topics, from teaching programming basics to studying complex systems. This diversity allows for the integration of VR technologies into the educational process at various levels, from primary school to university programs. At the same time, adapting VR in Kazakhstan requires consideration of pedagogical resources, available technical infrastructure, and the content of current curricula.

REFERENCES

1. Rubio-Tamayo, J.L., Gertrudix Barrio, M., & García García, F. (2017). Immersive Environments and Virtual Reality: Systematic Review and Advances in Communication, Interaction and Simulation. Multimodal Technologies and Interaction, 1 (4), 21. https://doi.org/10.3390/mti1040021
2. Lara-Alvarez, C.A., Parra-González, E.F., Ortiz-Esparza, M.A., & Cardona-Reyes, H. (2023). Effectiveness of virtual reality in elementary school: A meta-analysis of controlled studies. Contemporary Educational Technology, 15 (4), ep459. https://doi.org/10.30935/cedtech/13569
3. Slater, M., & Sanchez-Vives, M.V. (2016). Enhancing our lives with immersive virtual reality. Frontiers in Robotics and AI, 3, 74. https://doi.org/10.3389/frobt.2016.00074
4. Mukasheva, Manargul & Kalkabayeva, Zukhra & Pussyrmanov, Nurbek. (2023). Visualization of sorting algorithms in the virtual reality environment. Frontiers in Education. 8. 10.3389/feduc.2023.1195200.
5. Qiao Jin, Yu Liu, Ye Yuan, Lana Yarosh, and Evan Suma Rosenberg. 2020. VWorld: an immersive VR system for learning programming. In Proceedings of the 2020 ACM Interaction Design and Children Conference: Extended Abstracts (IDC '20). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 235-240. https://doi.org/10.1145/3397617.3397843
6. Liu Y., Stamos A., Dewitte S., van Berlo ZMC, van der Laan LN Development and Evaluation of a Virtual Reality Puzzle Game to Decrease Food Intake: Randomized Controlled Trial JMIR Serious Games 2022; 10 (1): e31747. https:/doi/10.2196/31747
7. Nursaule Karelkhan and Nurgul Uderbayeva, "The Effectiveness of Using Virtual and Augmented Reality Technologies for Teaching Computer Science in Schools", International Journal of Information and Education Technology, vol. 14, no. 11, pp. 1566-1573, 2024.
8. Bolivar, Santiago & Perez, Daniel & Carrasquillo, Armando & Williams, Adam & Rishe, Naphtali & Ortega, Francisco. (2019). 3D Interaction for Computer Science Educational VR Game. 10.1007/978-3-030-23560-4_30.
9. Radianti, J.; Majchrzak, T.A.; Fromm, J.; Wohlgenannt, I. A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. Comput. Educ. 2020, 147, 103778.
10. Christopher Berns, Grace Chin, Joel Savitz, Jason Kiesling, and Fred Martin. 2019. MYR: A Web-Based Platform for Teaching Coding Using VR. In SIGCSE '19: 50th ACM Technical Symposium on Computer Science Education, February 27-March 2, 2019, Minneapolis, MN, USA. ACM, New York, NY, USA, 7 pages. https://doi.org/10.1145/3287324.3287482
11. Agbo, F.J., Sanusi, I.T., Oyelere, S.S., & Suhonen, J. (2021). Application of Virtual Reality in Computer Science Education: A Systemic Review Based on Bibliometric and Content Analysis Methods. Education Sciences, 11 (3), 142. https://doi.org/10.3390/educsci11030142

Қазақстанда компьютерлік ғылымдар білім беруіне арналған VR шешімдерін дамыту және бейімдеу

ЗУЛПЫХАР Жандос Енсебекұлы, *п.ғ.к., кафедра меңгерушісі, astzhan@gmail.com,*
****АЗАМАТ Айтгүл Азаматқызы,*** *докторант, aitgulazamat@gmail.com,*
ШЫНДАЛИЕВ Нуржан Тажибаевич, *п.ғ.к., қауымдастырылған профессор, nurzhan-11@list.ru,*
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Информатика білімінде қолданылатын халықаралық виртуалды шындық (VR) құралдарына аналитикалық шолу жасалады және олардың Қазақстандағы мектеп және университет оқу бағдарламаларына қолданылуы бағаланады. Зерттеуде 2011 жылдан 2024 жылға дейінгі халықаралық әдебиеттерде сипатталған VR-ға негізгі тәсілдер, соның ішінде алгоритмдер мен деректер құрылымдарын визуализациялау, VR негізіндегі бағдарламалау орталары, есептеу ойлауын қолдайтын жұмбақ негізіндегі құралдар және жүйелер мен желілік процестерді модельдеу қарастырылады. Бұл санаттар Қазақстандағы бастауыш, орта, жоғары және жоғары білім берудің информатика оқу бағдарламаларының мазмұнымен салыстырылды. Нәтижелер халықаралық VR шешімдерінің алгоритмдеу, бағдарламалау, деректер құрылымдары, логика және жүйелер сияқты негізгі оқу бағдарламасының тақырыптарымен сәйкес келетінін көрсетеді. Зерттеу VR-ды Қазақстандағы білім беру тәжірибесіне оқу бағдарламасындағы минималды өзгерістермен біріктіруге болады, ал практикалық енгізу мәселелерін шешу үшін қосымша талдау қажет деп қорытындыланады.*

Кілт сөздер: *виртуалды шындық (VR), информатика, білім беру, модельдеу, бағдарламалау, визуализация.*

Развитие и адаптация VR-решений для обучения компьютерным наукам в Казахстане

ЗУЛПЫХАР Жандос Енсебекұлы, *к.п.н., зав. кафедрой, astzhan@gmail.com,*
****АЗАМАТ Айтгүл Азаматқызы,*** *докторант, aitgulazamat@gmail.com,*
ШЫНДАЛИЕВ Нуржан Тажибаевич, *к.п.н., ассоциированный профессор, nurzhan-11@list.ru,*
Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Представлен аналитический обзор международных инструментов виртуальной реальности (VR), используемых в образовании в области информатики, и дана оценка их применимости к школьным и университетским программам Казахстана. В исследовании рассматриваются основные подходы к VR, описанные в международной литературе за 2011-2024 годы, включая визуализацию алгоритмов и структур данных, среды программирования на основе VR, инструменты, основанные на головоломках, поддерживающих вычислительное мышление, и моделирование системных и сетевых процессов. Эти категории были сопоставлены с содержанием учебных программ начального, среднего, старшего и высшего образования Казахстана по информатике. Результаты показывают, что международные решения в области VR согласуются с ключевыми учебными темами, такими как алгоритмизация, программирование, структуры данных, логика и системы. В исследовании сделан вывод о том, что VR может быть интегрирована в образовательную практику Казахстана с минимальными изменениями учебной программы, в то время как для решения проблем практического внедрения необходим дополнительный анализ.*

Ключевые слова: *виртуальная реальность (VR), информатика, образование, моделирование, программирование, визуализация.*

REFERENCES

1. Rubio-Tamayo, J.L., Gertrudix Barrio, M., & García García, F. (2017). Immersive Environments and Virtual Reality: Systematic Review and Advances in Communication, Interaction and Simulation. Multimodal Technologies and Interaction, 1 (4), 21. https://doi.org/10.3390/mti1040021
2. Lara-Alvarez, C.A., Parra-González, E.F., Ortiz-Esparza, M.A., & Cardona-Reyes, H. (2023). Effectiveness of virtual reality in elementary school: A meta-analysis of controlled studies. Contemporary Educational Technology, 15 (4), ep459. https://doi.org/10.30935/cedtech/13569
3. Slater, M., & Sanchez-Vives, M.V. (2016). Enhancing our lives with immersive virtual reality. Frontiers in Robotics and AI, 3, 74. https://doi.org/10.3389/frobt.2016.00074
4. Mukasheva, Manargul & Kalkabayeva, Zukhra & Pussyrmanov, Nurbek. (2023). Visualization of sorting algorithms in the virtual reality environment. Frontiers in Education. 8. 10.3389/feduc.2023.1195200.
5. Qiao Jin, Yu Liu, Ye Yuan, Lana Yarosh, and Evan Suma Rosenberg. 2020. VWorld: an immersive VR system for learning programming. In Proceedings of the 2020 ACM Interaction Design and Children Conference: Extended Abstracts (IDC '20). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 235-240. https://doi.org/10.1145/3397617.3397843
6. Liu Y., Stamos A., Dewitte S., van Berlo ZMC, van der Laan LN Development and Evaluation of a Virtual Reality Puzzle Game to Decrease Food Intake: Randomized Controlled Trial JMIR Serious Games 2022; 10 (1): e31747. https:/doi/10.2196/31747
7. Nursaule Karelkhan and Nurgul Uderbayeva, "The Effectiveness of Using Virtual and Augmented Reality Technologies for Teaching Computer Science in Schools", International Journal of Information and Education Technology, vol. 14, no. 11, pp. 1566-1573, 2024.
8. Bolivar, Santiago & Perez, Daniel & Carrasquillo, Armando & Williams, Adam & Rishe, Naphtali & Ortega, Francisco. (2019). 3D Interaction for Computer Science Educational VR Game. 10.1007/978-3-030-23560-4_30.
9. Radianti, J.; Majchrzak, T.A.; Fromm, J.; Wohlgenannt, I. A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. Comput. Educ. 2020, 147, 103778.
10. Christopher Berns, Grace Chin, Joel Savitz, Jason Kiesling, and Fred Martin. 2019. MYR: A Web-Based Platform for Teaching Coding Using VR. In SIGCSE '19: 50th ACM Technical Symposium on Computer Science Education, February 27-March 2, 2019, Minneapolis, MN, USA. ACM, New York, NY, USA, 7 pages. https://doi.org/10.1145/3287324.3287482
11. Agbo, F.J., Sanusi, I.T., Oyelere, S.S., & Suhonen, J. (2021). Application of Virtual Reality in Computer Science Education: A Systemic Review Based on Bibliometric and Content Analysis Methods. Education Sciences, 11 (3), 142. https://doi.org/10.3390/educsci11030142

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_262 ӘОЖ 37.012

Оқыту процесінде педагогикалық технологияларды қолданудың тиімділігі

***КОНУРОВА Нургуль Аликаримовна,** магистр, аға оқытушы, nurgulka_2030@mail.ru,
ӘБІЛҚАСОВ Ғабиден Мәжитұлы, магистр, аға оқытушы, gabi.altai1970@mail.ru,
Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
*автор-корреспондент.

Аңдатпа. *Оқыту процесінде қолданылатын педагогикалық технологияларды қолданудың тиімділігі және оқытуда қолданылатын педагогикалық технологиялық интерактивті әдістерді ескере отырып, оларды жүзеге асыру жолдары қарастырылады. Қоғамдық кеңістіктегі цифрлық ақпараттық технологиялардың қарқынды дамуы адам өмірінің әртүрлі салаларына, сондай-ақ ғылымға әртүрлі өзгерістер енгізуде. Бұл бағыттағы зерттеулер білім беруде халықаралық оқыту стандарттарына сәйкес салыстырмалы түрдегі жүйелеуді қажет етеді. Мақаланың мақсаты – оқытуды ұйымдастырудың әр кезеңінде педагогикалық технологияларды тиімді қолдану тұрғысынан сабақтың мазмұнын, формасын, әдістері мен құрылымдарын үйлестіру, дидактикалық материалдың мазмұнына салыстырмалы талдау жүргізу және нәтижеге жету үшін логикалық шешімдерді анықтау. Сондай-ақ, оқытудағы педагогикалық технологиялардың құрылымдары мен білім берудің жаңа парадигмаларына негізделген ғылыми еңбектер негізінде қорытынды жасайды. Зерттеу барысында оқыту үрдісінде қолданылатын заманауи инновациялық технологиялық құралдардың көмегі арқылы білім берудегі педагогикалық технологияларды тиімді қолдану барысында тәжірибе жүзінде сараптамалық синтез жасау негізінде салыстырмалы зерттеулер қарастырылған.*

Кілт сөздер: *педагогика, әдістер, инновациялық, оқыту, құрылым, теория, шығармашылық, ойлау, ғылыми, дамытушылық, технологиялар, зерттеу, нәтиже.*

Кіріспе

Қазіргі жаһандану кезеңіндегі білім берудің ұлттық моделін қалыптастыруда жас ұрпаққа дұрыс тәрбие беру арқылы жан-жақты білім берудің нақты факторларын айқындап алуды қажет етеді. Білім беру саласындағы маңызды мәселе – оқыту мен тәрбиелеуде, заманауи білім берудегі оқытудың жаңаша әдіс-тәсілдерін, инновациялық технологияларды игерген, педагогикалық үрдісті меңгерген, шығармашыл педагог-зерттеуші, зерделі, білімді оқытушы болуы қажет. Бүгінгі таңда көтеріліп жүрген өзекті мәселелердің бірі – жеке тұлғаны қалыптастыруда білім беру жүйесін арттырып, дамытуда жаңа технология түрлерін енгізу, халықаралық стандарттар негізінде коммуникациялық желілерге қосылу, білім беру саласында сандық ақпараттық технологияларды кеңінен қолдану, қазіргі заман талабына сай орта білім, кәсіптік техникалық және жоғары білім алуға қажетті жағдайлар жасау үлкен маңыздылыққа ие. Қоғамдық кеңістікте сандық ақпараттық технологиялардың қарқынды дамуы адам өмірінің сондай-ақ, ғылымның әр саласына түрлі өзгерістер енгізуде. Бұл бағытта білім беруде халықаралық оқыту стандарттарына сәйкес салыстырмалы зерттеуді қажет етеді. Орта білім, кәсіптік техникалық және жоғары білім беру ұйымдарындағы білім сапасын халықаралық стандарттардың талаптарына сәйкес бірізділендіруді қарастыруды көздейді. Білім берудің жаңа үрдістерін зерделей келе, оқытудың құрылымы мен мазмұнына, оқыту әдістеріне, формасына және тәсілдеріне қойылатын талаптарды анықтау қажеттілігінен оқытудың әдістемелік жүйесін қалыптастыру мақсаты туындап отыр [1]. Классикалық дәстүрлі оқу үрдісінде әдістемелік тәсілге байланысты оқытуды ұйымдастыруда жаңартылған әдістер мен инновациялық құралдарды қолданумен қатар оқыту процесінде педагогикалық технологияларды тиімді қолдану арқылы жүзеге асыру өз нәтижесін береді. Мысалы, тілді немесе басқа да пәндерді оқыту барысында жаңа технологиялар кешенін қолдана отырып оқыту – тіл үйренушілердің немесе білім алушылардың шығармашылық қызметін, сапалы білім алуын қалыптастыратын негізгі педагогикалық тәсілдердің бірі болып табылады. Осы мақсатта көптеген зерттеуші-

лердің пікірлерін ескерсек, педагогикалық технологиялардың көмегімен электронды оқулықтарды немесе сандық контенттерді қолдана отырып, оқыту өте тиімді екені дәлелденген. Ғылым мен техниканың қарыштап дамыған дәуірінде инновациялық технологиялардың күнделікті өмірімізде кеңінен қолданысқа енуі, адамның ойлау, ой-өрісіне айтарлықтай ықпал ететіні белгілі. Түрлі контенттер мен гаджеттердегі орнатылған бағдарламалар арқылы бейне байланыс жасау, кері байланыс құру, ойды, тақырыпты пысықтау жұмыстары арқылы уақытты үнемдеу жағынан тиімділігін көрсетеді.

Зерттеу әдістері

Педагогикалық тұжырымдама негізінде, оқыту әдістері – негізгі басты категория болғандықтан оқыту, білім беру деңгейі мен тәжірибелік қолданыстағы сипаты, педагогикалық процестің мақсаттарына, мазмұнына, құрал жабдықтарына сай тығыз байланыста жүзеге асырылады.

Педагогикалық әдістеме (методика) дегеніміз – оқытудағы негізгі әдіс-тәсілдерін жүйелі, нәтижелі қолдану құралдарының жиынтығы. Оқытудағы тәсілдер: сабақтағы іс-әрекеттің нақтылы элементтері болып табылады.

Оқытудың формалары бұл – сабақ барысында таңдалып алынған стратегиялар мен әдістемелердің сыртқы көрінісі. Жалпы білім беру саласындағы маманның негізгі мақсатын анықтайтын бұл – «дәлел» (факт) екенін естен шығармағанымыз абзал. Педагогикалық тұрғыдан қарастыратын болсақ, педагог маманның ұстанымы – шешім, ұсыныс, іс-әрекет болуы шарт. Осы орайда кез-келген пәнді оқытуда технологиялық құралдар мен оқулықтарды қолдану арқылы білім беру бағдарламаларына негізделген педагогикалық технологияларды тиімді қолдану, жеке дара және топтық оқытудың түрлі әдістерін іске асыруға мүмкіндік береді. Инновациялық технологияларды қолдана отырып оқыту жүйесі – сабақта барлық білім алушының жеке қабілеттерін бағамдап, жүйелі түрде білімдерін жетілдірілуге себебін тигізеді. Оқыту барысында оқытушы мен білім алушының коммуникативтік қатынасқа негізделген қарым-қатынасының дұрыс сақталып, орындалуы талап етіледі. Мысалы, тілді оқытуда жаңаша оқыту технологиясын қолдану арқылы қоршаған ортада болып жатқан әр түрлі ақпараттарды қабылдап, логикалық тұрғыдан тілдік жағдаятқа арналған жаттығуларды орындай білуіне тигізетін септігі зор. Тілдерді оқытуда тіл үйренушілердің ойлауы мен еркін сөйлей білуі, тілді дамытуда маңызды рөл атқарады. Заманауи технологияларды қолдана отырып, тіл үйренушілердің ойлауы мен дұрыс сөйлеуі, ойын анық жеткізе алуы, сөздік қорларының мол болуы тілдік дағдыларын жетілдіруде ерекше маңызға ие. Әрбір берілген сөз, ұғым мен оның мазмұның құрайтын ақпарат – білім алушының ой-санасын өзгертуші, дамытушы құрал болып саналады [2]. Тіл үйренушілердің сөздердің, сөз тіркесінің, сөйлемнің, мәтіннің өзіндік болмысын танып, білу барысында қолдану жолдарын ескеруі қажет. Жазу және сөйлеу дағдыларының заңдылықтарын іс-тәжірибе жүзінде танып-білу тіл үйренушілердің ойлау қабілетін қалыптастырады және біртіндеп дамуына айтарлықтай септігін тигізуге әсер етеді. Оның өзі тіл үйренушінің немесе білім алушының ауызша және жазбаша жазу, оқу, сөйлеу, есте сақтау, көру қабілетін дамытып, тіл үйреніп жүрген жеке тұлғаның жаңа сатыдағы дүниетанымдық көзқарасын қалыптастыруға септігін тигізеді. Сондай-ақ, педагог маманның басшылығымен меңгерілген педагогикалық технологиялар мен танымдық әдістерді қолдану, теориялық ойлауы мен сөйлеу тетіктері тіл үйренушінің моделі болып табылады.

Ғылыми нәтижелері

Оқыту процесінде педагогикалық технологияларды қолданудың тиімділігі мен педагогикалық құрылымы мен әдістерін қарастыру барысында оқытудағы білім беру жүйесіне сәйкес стандартты бағдарлама жүйесін негізге ала отырып, зерттеп, қарастыруды қажет етеді. Оқытудың педагогикалық технологияларын жүзеге асыруға қатысты бағдарлама негізінде оқыту технологиясын жүйелі түрде қолдану арқылы оқыту тиімділігін сапасын арттыру негізгі мақсаттардың бірі болып табылады. Салыстырмалы түрде алғанда талдау жүргізуді талап етеді. Оқытудың педагогикалық технологиялары сурет ұсынылғандай сипаталады.

Жалпы оқыту процесінде педагогикалық технологияларды қолданудың тиімділігін қарастырғанда ұсынылған тақырыптар бойынша бағдарламалы оқыту технологиясы мен модульдік оқыту технологиясын қолдану оң нәтижесін береді. Белгілі бір бағдарлама негізінде модульдік оқыту технологиясы білім оқушылардың оқуға деген қызығушылығын арттырып қана қоймай, жаңа мотивацияларға ұмтылуға, шығармашылық ізденістерге жетелейді, бұл жаңаша ойлау технологиялары арқылы білім сапасын анықтауға мүмкіндік туғызады. Білім алушының ұсынылған тақырыпты толықтай меңгеруі үшін алдын-ала модульдерге бөліп оқыту бойынша деңгейлеп, саралап оқыту, интерактивті оқыту өзінің тиімді нәтижесін береді. Білім алушының мүмкіндігіне қарай модульдік оқытуда мәтіннің мазмұны бөліктерге бөліп үлестіруде ойын арқылы оқыту технологиясы мен сандық контенттерді қол-

дану технологиялары ойлау қабілеттерін қалыптастыруда мүмкіндігі зор. Атап айтқанда, педагогикалық технологияларды бір-бірімен байланыстыра отырып тиімді қолдану тәсілі келесі ойлауды дамыта оқыту технологиясын қолдану арқылы білім алушылардың өзіндік ізденіске деген жаңа қырын ашады. Мысалы, берілген мәтіннің әр бөліктері бойынша ойланып, қосымша материалды пайдаланады, тұжырым, қорытынды жасай алады. Берілген мәтіннің әр бөліктерімен жұмыс жасай отырып, оларды толықтырады, сұрақтар қою арқылы мәтіннің мазмұнына сәйкес қажетті өзгертулер жасауға мүмкіндіктері болады. Ең бастысы мұнда пәнді мазмұны бойынша модульге бөлу, оның мақсатын нақтылау және жүйелілігі, нәтиженін айқындығы, білім алушының шығармашылық және ойлау қабілетінін қалыптасқандығын аңғаруға болады. Оқытудың педагогикалық технологияларының ішінде модульдік оқыту технологиясы негізінде әр білім алушының білім деңгейін анықтау мақсатында деңгейлеп, саралап оқыту технологиясын қолдану өте маңызды. Себебі әр білім алушының ойлау, түсіну, ақпаратты қабылдау, жеткізу қабілеттері әр түрлі болып келеді. Осы мақсатта интерактивті оқыту технологиясын қолдану ерекше рөл атқарады. Жалпы оқытуда дәрісхананың технологиялық жабдықталуы мен техникалық құралдарды қолдану барысында екі бағыт бар: біріншісі: «техникалық құралдар – оқу процесінде әлдеқайда тиімді әрі көбірек қолданылатын» болса, екіншісі: «технологиялық құралдар көмегімен әзірленген сабақтар мен оқу материалдары қазіргі кезеңдегі оқу процесінің басты жетекші құралы» ретінде сапалы және қызықты түрде ұсынылуы маңызды. Оқытудың педагогикалық технологияларының түрлері (деңгейлеп оқыту, саралап оқыту, ойын арқылы оқыту, Блум таксономиясы, түрлі сандық контенттер және т.б.) әдістерді тиімді қолдану барысында білім алушылардың еркін ойлау, танымдық қабілеттерін дамытуға өз септігін тигізетінін оқыту барысында көруге болады (сурет).

Педагог маманның шеберлігіне байланысты оқытудың педагогикалық технологияларын тиімді қолдануда ең бастысы білім алушылардың еркін, сауатты сөйлеуі мен жаза білу дағдыларын қалыптастыру және ғылыми білім алуымен үйлесімді ұйымдастыруда түсіну, таным теориясының ілімдері маңызды тірек болады. Оқыту процесінде педагогикалық зерттеудің үш деңгейі ұсынылады: эмпирикалық, теориялық, әдіснамалық. Эксперименталды-эмпирикалық деңгей әдістердің толықтай тобы болып саналады. Педагогикалық аспектілер мен құрылымына тоқталғанда, негізгі элементтерінің объектісі – субъектімен байланысты жүзеге асады. «Түсінік» ұғымында тоқталғанда субъектінің танымдық педагогикалық ерекшелігі абстрактілі бейненің белгілері айқын көрінеді. Бұл жерде педагог-оқытушы мен білім алушы арасындағы коммуникативтік өзара байланысты келесі педагогикалық технологияларды дұрыс қолдана білудегі шеберліктен көруге болады. Сыни тұрғысынан ойлауды дамыта оқыту технологиясы мен сандық контенттер және ойын арқылы оқыту технологиясын біріктіре, ұштастыра келе жеке тұлға бойындағы білім алуға, оқуға немесе жаңа тақырыпқа деген қызығушылығын оятады. Себебі, көптеген зерттеу еңбектерде соның ішінде жеке тұлғаның «Мен» деп өзін қалыптастырудағы «Мен» тұжырымдамасының авторы К.Роджерс: кез-келген білім беру ортасында интуиция, сезіну, зияткерлік пен ойлауды дамыту туралы идеяны ұстануды басшылыққа алған. Ал, «Ойлауды дамыту» теориясының авторы Дж.Пиаже еңбектерінде «кеңістік, уақыт және сандық аспектілерді қамтитын кезеңдерін анықтайтын негізгі қабілет – «ойлауды дамыту» екеніне баса тоқталған [3]. Демек, оқытудағы педагогикалық технологиялардың түрлері мен әдістері мысалы, ойлау, нақты жауап беру, ой қорыту технологияларын қолдану айрықша маңызға ие. Бұл бағытта оқытудағы түрлі әдіс-тәсілдерді негізгі принциптерді ескере отырып, ретімен (орналасу, құрылысын, тәртіп және т.б.) дұрыс қолдана білудің өзі оқытушы шеберлігін көрсетеді. Зерттеу нәтижелерінің қорытындысы бойынша салыстырмалы тұрғыдан алғанда, оқытудағы әдіс-тәсілдердің ішінде модульдік оқыту, интерактивті оқыту технологиясымен қатар, Блум таксономиясы секілді т.б. қосымша есте сақтау үшін визуалды көру (тыңдалым мен бейне материалдар) қолдану маңызды [4]. Нәтижесінде білім алушының есте сақтау, ойлау қабілеті, әр кезеңдердегі тіл үйрету деңгейлерімен байланысы тапсырмалар арқылы анықталып, жеделдете деңгейлік оқытудың соңғы нәтижесі қатысымдық құзыреттілік деңгейін айқындау мақсатында аралық, қорытынды сынақтарды және өзіндік жұмысты ұйымдастырудың тиімді тәсілдері арқылы айқындалып отырады. Осы орайда, теориялық материалдарды графикалық иллюстрация түріндегі әр түрлі суреттер, сұлба т.б. тәсілдер арқылы толықтырып отырса, онда теориялық білімді оқып, көзбен көріп, түсініп оны ойда сақтау қабілеттері бір уақытта дамып отырады да материалды қорыту кезеңінде ұтымды нәтижесін береді. Оқытудың педагогикалық технологияларын топтастыратын болсақ, суретте ұсынылғандай, бірнеше түрлерге бөліп қарастыруға болады (сурет).



Педагогикалық технологиялардың түрлері

Оқу-танымдық үрдістерді қолдануда білім алушының теориялық ойлау дәрежесін дамытуда техникалық құралдардың беретін көмегі мен мүмкіншіліктері ерекше. Сондықтан оқыту процесінде педагогикалық технологияларды тиімді қолдану барысында электронды оқыту технологиясын яғни, сандық контенттерді кеңінен қолдану оқытушы маманға негізгі көмекші құрал болып табылады. Сандық контенттер арқылы оқытудың негізгі мақсаты – оқу үрдісін және білім алушының толық деңгейін бақылау, сонымен қатар, ақпараттық ізденіске деген қабілетін дамытуда айрықша рөл атқарады. Инновациялық білім берудің негізгі құралдары: аудио, бейне материалдар, түрлі танымдық контенттер, компьютерлік құрылғылар, интерактивтік тақта, ғаламтор, компьютерлік мультимедиалық құралдар, электронды оқулықтар мен оқу-әдістемелік кешен, медиатека, инновациялық веб-сайт және т.б. Сондықтан да қазіргі таңда көптеген веб-қосымшалар, интерактивтік бағдарламалық сайттар, ойды дамытуда, сөйлесім ортасын құруға мүмкіндік беретін векторлық және графикалық бағдарламалық жабдықтарды жиі қолдану өзіндік нәтижеге жетуге септігін береді.

Қорытынды

Педагогикалық тұрғыдан оқытуды ұйымдастырудың әрбір кезеңінде педагогикалық технологиялардың түрлерімен байланыстыра сабақтың мазмұнын, формасын, әдістерін және құралдарын сәйкестендіріп, белгілі бір нәтижелерге қол жеткізуде дидактикалық міндеттерді қою мен шешудің логикалық бірізділігін қамтамасыз ету басшылыққа алынады.

Жаңа технологиялар дәуірінде білім алушыларға немесе студенттерге тілді оқытудың әдістемелік жүйесінің мазмұны айқындалып, соңғы ғылыми жаңалықтармен толықтырылып, білім берудің жаңа парадигмалары негізіндегі жеделдете оқытудың тиімді жолдарын ұсыну қажет. Бүгінгі таңда педагог мамандардың алдына қойылып отырған өзекті мәселелерінің бірі – білім алушылардың немесе студенттердің сөйлеу тіл мәдениетін көтеру, сауатты жаза алатын, өз ойын айқын жеткізе алатын жеке тұлға тәрбиелеу, қалыптастыру екенін ескеруіміз қажет. Осы мәселелерді ескере келе, бүгінгі білім алушылар немесе болашақ мамандардың ойпікірін белгілі бір тақырып бойынша жүйелі түрде өз мамандығына негізделген ақпараттар мен тапсырмаларды жүйелі зерделеуде аталған педагогикалық технологиялық әдістерді қолдану арқылы жұмыстар жүргізу тиімді. Кез-келген оқыту технологиясы іс-әрекеттің қарқындылығы мен белсенділігін арттырады [5]. Әрбір білім алушының оқуға

деген ынта-ықыласын, қызығушылығын жоғалтпау мақсатында, алдымен ұсынылатын материалдың ойға, ұғымға сәйкес түсінікті болуы, берілетін тапсырманың тәрбиелік мәніне көңіл бөлініп, қызығушылықтарын оятатындай орта құрылуы керектігі ескерілгені дұрыс. Осы мақсатта Шульманның үш іліміне – «кәсіби түсінік», «сабақ берудің тәжірибелік дағдысы», «кәсіби тұтастық» ілімдеріне сүйенетін болсақ, онда оқытушы бойындағы қабілеті арқылы педагогикалық технологияларды жетік меңгерген толыққанды маман педагогті көруге болады.

Жалпы алғанда жоғары оқу орындарында болашақ инженер мамандарды дайындау барысында қосымша танымдық-тәрбиелік сабақтарда педагогикалық технологиялардың түрлерін қолдану сабақтың қызықты, тартымды болып өтуіне, сондай-ақ, сабақтың мазмұны мен құрылымын ұйымдастыруда өте маңызды. Оқытудағы педагогикалық технологиялардың ерекшеліктері мен құрылымдары, оқыту әдістері және білім беру жүйесіндегі тиімділігі туралы ғалымдардың пікірлері ғылымға әртүрлі өзгерістер енгізуімен байланысты. Ғылым мен техниканың дамыған дәуірінде оқытушының кәсіби шеберліктерін жетілдірудің басты шарттарының бірі біліктілігін үнемі арттырып отыруы, өздігінен іздену, білім беру, оқыту процессінде қажетті ресурстармен танысып тиімді пайдалану тетіктерін меңгеру болып табылады. Педагогикалық тұрғыдан оқытуды ұйымдастырудың әр кезеңінде сабақтың мазмұнын, формасын, әдістері мен құралдарын үйлестіру, дидактикалық материалдардың дәйектілігі, сапалылығы оң нәтижелерге қол жеткізудің логикалық шешімін табуда септігін тигізеді. Оқытудағы педагогикалық технологиялардың аспектісі білім берудің жаңа парадигмалары негізінде инновациялық технологиялық құралдардың көмегімен жүзеге асады. Білім беру саласындағы оқыту сапасын арттыруда ғылыми пікірлерді сараптай келе, ескеруі керек. Оқыту процессінде әрбір педагог маманның кәсібилігі оның сабақ берудегі тәжірибелік дағдысы мен кәсіби шеберлігі арқылы нәтижеге жетуді көздеуі қажет.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Даумов Н.Ғ. Оқытудың ақпараттандыру процесінде оқушылардың зерттеу қызметін дамыту / Н.Ғ. Даумов // Оқулық. – Алматы, 2013. – Б. 127.
2. Аубакирова Р., Нұрбекова Н. Педагогикалық зерттеу әдістемесі. «Фолиант» баспасы. – Астана, 2016. – Б. 176.
3. Битэм Э., Шарп Р. Педагогиканы цифрлық дәуірде қайта зерделеу // Ұлттық аударма бюросы. – Алматы, 2019. – Б. 328.
4. Шунк Д.Х. Оқыту теориясы // Ұлттық аударма бюросы. – Алматы, 2019. – Б. 608.
5. Қазақстанның жоғары мектебі // Ғылыми-сараптамалық журнал. – Астана. 2023. – № 1 (41).

Эффективность использования педагогических технологий в процессе обучения

***КОНУРОВА Нургуль Аликаримовна,** магистр, старший преподаватель, nurgulka_2030@mail.ru,*
***АБИЛКАСОВ Габиден Мажитович,** магистр, старший преподаватель, gabi.altai1970@mail.ru,*
Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

***Аннотация.** Рассматривается эффективность применения педагогических технологий, применяемых в процессе обучения, и пути их реализации с учетом применяемых в обучении педагогических технологических интерактивных методов. Стремительное развитие цифровых информационных технологий в общественном пространстве вносит различные*

изменения в разные сферы жизни человека, а также в науку. Исследования в этой области требуют относительной систематизации в образовании в соответствии с международными стандартами обучения. Цель статьи – координация содержания, формы, методов и структур урока в процессе эффективного применения педагогических технологий на каждом этапе организации обучения, проведение сравнительного анализа последовательности дидактического материала и определение логических решений для достижения результата. Сделаны выводы на основе научных трудов, основанных на структурах педагогических технологий в обучении и новых парадигмах образования. В ходе исследования рассмотрены сравнительные исследования на основе практического экспертного синтеза в процессе эффективного применения педагогических технологий в образовании с помощью современных инновационных технологических средств, применяемых в процессе обучения.

Ключевые слова: *педагогика, методы, инновации, преподавание, структура, теория, креативность, мышление, научный, развивающий, технологии, исследование, результат.*

The Effectiveness of the Use of Pedagogical Technologies in the Learning Process

***KONUROVA Nurgul,** Master's Degree, Senior Lecturer, nurgulka_2030@mail.ru,*
***ABILKASOV Gabiden,** Master's Degree, Senior Lecturer, gabi.altai1970@mail.ru,*
Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
**corresponding author.*

***Abstract.** The effectiveness of the pedagogical technologies used in the learning process is considered, and the ways of their implementation, taking into account the pedagogical technological interactive methods used in teaching. The rapid development of digital information technologies in the public space is making various changes in various spheres of human life, as well as in science. Research in this field requires relative systematization in education in accordance with international standards of education. The purpose of the article is to coordinate the content, forms, methods and structures of the lesson in the process of effective application of pedagogical technologies at each stage of the organization of learning, to conduct a comparative analysis of the sequence of didactic material and identify logical solutions to achieve the result. And also draw conclusions based on scientific works based on the structures of pedagogical technologies in teaching and new educational paradigms. In the course of the study, comparative studies are considered on the basis of practical expert synthesis in the process of effective application of pedagogical technologies in education with the help of modern innovative technological tools used in the teaching process.*

***Keywords:** pedagogy, methods, innovation, teaching, structure, theory, creativity, thinking, scientific, developmental, technologies, research, result.*

REFERENCES

1. Daumov N.G. Oqytudyn aqparattandyru procesinde oqushylardyn zertteu qyzmetin damytu / N.G. Daumov // Oqulyq. – Almaty, 2013. – P. 127.
2. Aubakirova R., Nurbekova N. Pedagogikalyq zertteu adistemesi. «Foliant» baspasy. – Astana, 2016. – P. 176.
3. Bitjem Je., Sharp R. Pedagogikany cifrlyq dauirde qaita zerdeleu // Ulttyq audarma bjurosy. – Almaty, 2019. – P. 328.
4. Shunk D.H. Oqytu teorijasy // Ulttyq audarma bjurosy. – Almaty, 2019. – P. 608.
5. Qazaqstannyn zhogary mektebi // Gylymi-saraptamalyq journal. – Astana. 2023. – № 1 (41).

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_268 ӘОЖ 378=512.122

Ғылыми-коммуникативтік құзыреттілікті бағалау: тестілеу нәтижелеріне негізделген талдау

[1]**КИШЕНОВА Айнур Юсуповна,** *аға оқытушы, ainur_18.10@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1494-6388,*
[1]***АЗИМБАЕВА Жанат Амантаевна,** п.ғ.к., аға оқытушы, zh.azimbayeva@ktu.edu.kz, https://orcid.org/0000-0002-9247-1138,*
[1]**ҚАЗКЕН Гүлжан Бағдатқызы,** *оқытушы, gulzhan_kazken@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-0492-2470,*
[1]**БИРЮКОВ Валерий Викторович,** *э.ғ.д., профессор, v.birukov@ktu.edu.kz, https://orcid.org/0000-0003-2712-8840,*
[2]**ХАЙДУК Людовит,** *PhD, профессор, ludovit.hajduk@paneurouni.com, https://orcid.org/0000-0003-1786-4166,*
[1]Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
[2]Пан-Еуропалық университеті, Братислава, Словакия,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Техникалық жоғары оқу орны студенттерінің (тау-кен факультеті) ғылыми-коммуникативтік құзыреттілігін қалыптастыру және бағалау мәселесі зерттеледі. Зерттеудің мақсаты – 1-курс студенттерінің ғылыми мәтіндерді түсіну, кәсіби терминологияны қолдану, логикалық әрі құрылымды пікір айту, сондай-ақ ғылыми стиль мен академиялық дәйексөз келтіру нормаларын сақтау дағдыларының қалыптасу деңгейін анықтау. Эмпирикалық база 2024 жылғы сәуір айында өткізілген екі тесттік сынақтың нәтижелерінен тұрады (әрқайсысы 40 минут). Деректер статистикалық және мазмұндық әдістер, сондай-ақ нәтижелерді визуализациялау арқылы өңделді. Тапсырмалар мазмұны күрделенген сайын көрсеткіштердің төмендейтіні анықталды, бұл студенттердің мәтінді интерпретациялау, терминологиялық дәлдік және құрылымды жауап дайындау барысында қиындықтарға кездесетінін көрсетеді. Құзыреттілік компоненттерінің дамуы біркелкі емес екені айқындалып, оқытуда сараланған тәсілді енгізу қажеттілігі негізделеді. Білім беру үдерісін жетілдіруге арналған ұсыныстар берілді: оқу материалдарын бейімдеу, терминологиямен мақсатты жұмыс жүргізу, жылдам оқу және талдау дағдыларын дамыту, интерактивті платформаларды пайдалану, сондай-ақ даму динамикасын бақылау және оқыту тиімділігін арттыру үшін кіріспе және қорытынды диагностиканы ұйымдастыру.*

Кілт сөздер: *ғылыми-коммуникативтік құзыреттілік, тестілеу, академиялық жазылым, терминология, техникалық мамандықтар, студенттер.*

Кіріспе. Қазіргі заман – жаһандану, цифрлық трансформация және үздіксіз ақпарат ағыны дәуірі. Осы жағдайда білім беру жүйесі студенттерге тек пәндік білім берумен шектелмей, оларды жаңа талаптарға бейімдеуді көздейді [1]. Сондықтан ғылыми-коммуникативтік құзыреттілік болашақ маман даярлығындағы негізгі кешенді құзыреттіліктердің бірі ретінде өзектенеді.

Ғылыми-коммуникативтік құзыреттілік – студенттің ғылыми мәтінді түсіну және құрылымдау, терминологияны дәл қолдану, логикалық тұжырым жасау және ойды ғылыми стильде жеткізу қабілеттерін біріктіретін дағдылар жүйесі. Ол академиялық табысқа, кәсіби салада өз біліктілігін дәлелдеуге ықпал етеді. Техникалық бағыттағы мамандар үшін ғылыми-коммуникативтік құзыреттіліктің маңызы ерекше. Олар арнайы әдебиетпен жұмыс істейді, жобалық есептер мен ғылыми сипаттамалар дайындайды. Сондықтан күрделі ғылыми мәтіндерді түсіну, ақпаратты нақты әрі дәл жеткізу және кәсіби коммуникацияда орыс тілін ғылыми стильде қолдану қабілеті маңызды болып табылады.

Зерттеу тау-кен факультетінің 1-курс студенттерінің орыс тіліндегі ғылыми-коммуникативтік құзыреттілігін бағалау және

диагностикалау арқылы оқу үдерісін жетілдіруге қажетті тетіктерді анықтайды. Зерттеу нәтижелері студенттердің академиялық дайындығын ғана емес, кәсіби қалыптасуына әсер ететін лингвистикалық және когнитивтік факторларды да айқындайды. Сонымен қатар, оқу бағдарламаларын жаңартуға және сараланған тәсілдерді енгізуге мүмкіндік береді. Мақала мақсаты – техникалық ЖОО-ның тау-кен факультеті студенттерінің коммуникативтік құзыреттілігін бағалау әдістемесін әзірлеу.

Ғылыми-коммуникативтік құзыреттілікті қалыптастыру және бағалау мәселесі отандық және шетелдік зерттеулерде кеңінен қарастырылып, әсіресе көптілді және мультикультуралық білім беру ортасында академиялық дайындықтың маңызды бөлігі ретінде танылады.

Ғылыми әдебиеттерге шолу. Бірқатар халықаралық және ресейлік зерттеушілер ғылыми-коммуникативтік құзыреттіліктің көпқырлы табиғатын атап өтеді. М. Варшауэр [2] цифрлық технологиялардың академиялық дағдыларды қалыптастырудағы рөлін негіздеп, онлайн-ортада ғылыми мәтінмен жұмыс, ақпаратты құрылымдау және күрделі ойды жазбаша жеткізу ғылыми коммуникацияның маңызды құрамдасы екенін көрсетеді. В. Беляев [3] инженерлік білім берудегі пәнаралық тәсілдің маңызын атап өтіп, ғылыми стиль мен кәсіби терминологияны меңгеруді кәсіби құзыреттіліктің ажырамас бөлігі ретінде қарастырады. З.И. Трубина [4] аргументация, сыни ойлау және пікір білдіру дағдылары студенттердің ғылыми пікірталасқа қатысуы мен академиялық дискурста өз ұстанымын дәлелдеуде маңызды екенін көрсетеді. Ал И.А. Зимняя, Е.И. Пассов, С.Г. Тер-Минасова еңбектерінде коммуникативтік құзыреттілік тілдік, әлеуметтік-мәдени, прагматикалық және стратегиялық компоненттерді біріктіретін интегративті құрылым ретінде түсіндіріледі [5].

Қазақстандық ғалымдар да академиялық және ғылыми коммуникацияны дамытуда тілдік құзыреттілік пен кәсіби дайындықты ықпалдастырудың маңызын көрсетеді. А.Б. Насырова, Ж.А. Азимбаева, С.К. Нурпеисова [6] техникалық бағыттағы студенттерде кәсіби-академиялық тілдік құзыреттілікті қалыптастыру ғылыми стильді меңгеру, терминологиямен жұмыс және мәтін құрылымын дамыту арқылы жүзеге асатынын атап өтеді. Н.К. Шаяхметова мен А.Ю. Кишенова [7] оқу-ғылыми мәтіндерді талдау және жазу дағдыларын кезең-кезеңімен дамытуға бағытталған ықпалдастырылған тілдік білім беру моделін ұсынады. Ал К.К. Құдеринова, С.Р. Исанова, Ф.Ш. Оразбаева [8] көптілді білім беру жағдайында ғылыми дискурстың ерекшеліктерін талдап, ғылыми-коммуникативтік құзыреттіліктің студенттің тілдік тұлғасын қалыптастырудағы рөлін негіздейді.

Жаһандық зерттеулер (ЭЫДҰ, БЭФ) қазіргі еңбек нарығында коммуникация, сыни ойлау және көшбасшылық сияқты икемді дағдылардың маңызын көрсетеді [9]. Жоғары білімдегі цифрлық трансформация мен пәнаралық оқыту студенттерді нақты кәсіби жағдайларға бейімдеуді талап етеді [10,11]. Осы зерттеулерді салыстырмалы талдау ғылыми-коммуникативтік құзыреттіліктің көпқырлы құрылым екенін көрсетеді. Дегенмен техникалық жоғары оқу орындары студенттерінің бұл құзыреттілігін сандық көрсеткіштер арқылы диагностикалау және бағалау әдістері жеткілікті жүйеленбеген. Осыған байланысты ұсынылып отырған зерттеу тестілеу нәтижелері негізінде ғылыми-коммуникативтік құзыреттілікті бағалаудың практикалық тәсілін ұсынады.

Зерттеу әдістері. Зерттеу материалы ретінде 2024 жылдың 21-28 сәуір аралығында өткізілген екі сынақтық тестілеудің нәтижелері пайдаланылды. Тестілеу тау-кен факультетінің 1-курс студенттері арасында жүргізіліп, олардың ғылыми-коммуникативтік құзыреттілік деңгейін анықтауға бағытталды. Әр тесттің ұзақтығы 40 минут болды. Бұл уақыт студенттердің мәтінмен жұмыс істеу, ақпаратты талдау, шешім қабылдау және уақытты тиімді басқару дағдыларын кешенді бағалауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, 40 минуттық формат оқу үдерісіндегі академиялық жағдайға барынша жақын болып, студенттердің нақты оқу-танымдық қабілеттерін объективті бағалауға мүмкіндік береді.

Тестілеу тапсырмалары студенттердің орыс тіліндегі ғылыми-коммуникативтік құзыреттілігінің негізгі компоненттерін бағалауға бағытталды. Атап айтқанда, келесі бағыттар қамтылды:

1. *Ғылыми мәтінді түсіну* – ақпаратты талдау, негізгі және қосалқы ойларды анықтау, мәтіннің логикалық құрылымын тану.

2. *Кәсіби терминологияны қолдану* – ғылыми-техникалық лексикамен жұмыс және терминдерді нақты контексте пайдалану.

3. *Ақпаратты құрылымды жеткізу* – ойды жүйелі, логикалық және дәйекті түрде баяндау.

4. *Лексикалық және грамматикалық дәлдік* – тілдік нормалардың сақталуы және қателер деңгейі.

Зерттеу барысында алынған деректерді өңдеу үшін бірнеше өзара толықтыратын әдістер қолданылды.

Сандық-статистикалық талдау. Деректерді өңдеу Microsoft Excel бағдарламасының көмегімен жүргізілді. Әр студенттің тест нә-

тижелері бойынша орташа арифметикалық мән, медиана және диапазон көрсеткіштері есептелді. Сонымен қатар тапсырмаларды орындау уақыты мен алынған нәтижелер арасындағы байланыс салыстырмалы талдау арқылы қарастырылды.

Диаграммалық визуализация. Зерттеу нәтижелері гистограммалар мен сызықтық графиктер арқылы ұсынылды. Бұл тәсіл студенттердің орындау уақыты мен нәтижелері арасындағы байланысын, сондай-ақ әр тест бойынша білім деңгейінің үлестік қатынасын (жоғары, орта, төмен) анықтауға мүмкіндік берді.

Сапалық мазмұндық талдау. Студенттердің тестік және жазбаша жауаптары мазмұндық тұрғыдан талданды. Талдау барысында тілдік қателердің түрлері (лексикалық, грамматикалық, стилистикалық), терминологиялық дәлдік, ғылыми стиль нормаларын сақтау, сондай-ақ жауаптардың логикалық құрылымы мен дәлелділік деңгейі бағаланды.

Талдау және нәтижелер. Қазіргі білім беру жүйесі цифрлық трансформация жағдайында студенттерден тек пәндік білімді ғана емес, сонымен қатар бірқатар кешенді дағдыларды талап етеді. Оларға мыналар жатады:

- ақпаратты жылдам қабылдау;
- оны логикалық тұрғыда өңдеу;
- ойды жүйелі және құрылымды түрде жеткізу;
- кәсіби ортада тиімді ғылыми коммуникация орнату.

Осы дағдылардың ішінде ғылыми-коммуникативтік құзыреттілік ерекше маңызға ие. Ол ғылыми терминологияны орынды қолдану, күрделі мәтіндерді талдау және ғылыми негізде пікір білдіру қабілеттерін қамтиды.

Орыс тілі пәні аясында өткізілетін тестілеу тек тілдік білімді ғана емес, сонымен қатар келесі көрсеткіштерді бағалауға мүмкіндік береді:

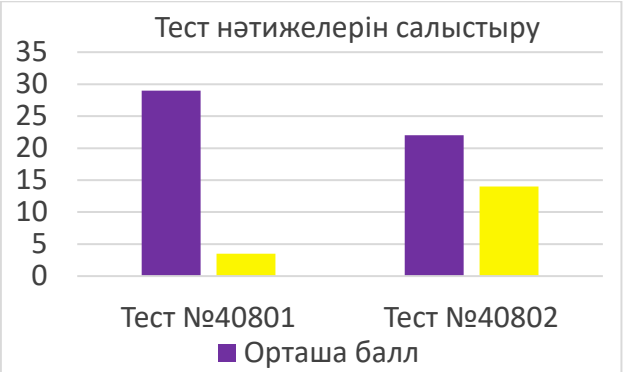
- ғылыми стильді меңгеру деңгейі;
- терминологиялық қордың қалыптасуы;
- мәтінмен жұмыс істеу сапасы мен жылдамдығы;
- ғылыми тұрғыда сауатты пікір білдіру қабілеті.

Тест нәтижелері студенттердің білім деңгейін бағалап қана қоймай, жеке білім беру траекториясын қалыптастыруға және оқу үдерісін саралап ұйымдастыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар олар оқу үдерісіне түзету әдістерін енгізуге негіз болады. Осылайша, зерттеу оқу үдерісінің тиімділігін арттыруға және студенттердің кәсіби құзыреттілігін дамытуға бағытталған.

Зерттеу студенттердің ғылыми-коммуникативтік құзыреттілік деңгейін анық көрсетуге мүмкіндік беретін критерийлер мен сипаттамалары бойынша жүргізілді. Әрбір критерий тілдік дайындықтың маңызды аспектілерін қамтиды:

- ғылыми терминологияны меңгеруі – студенттердің кәсіби контексте дәл әрі орынды терминдерді қолдана алу қабілетін көрсетеді;
- ойды жеткізу логикасы мен құрылымы – ғылыми мәтін үлгісі бойынша (кіріспе, негізгі бөлім, қорытынды) пікір білдіру дағдысын бағалайды;
- ғылыми стиль – ресми тілдік құрылымдарды, нақты тұжырымдарды қолдану деңгейін және бейресми сөздердің болмауын көрсетеді;
- дәйексөз келтіру ережелерін сақтау – академиялық нормаларға сәйкес дереккөздерге сілтеме жасау қабілетін көрсетеді;
- ауызша аргументация – студенттің өз пікірін дәлелдеп, логикалық тұрғыда негіздей алу шеберлігін көрсетеді;
- презентацияның анықтығы – ауызша баяндаудың нақтылығы, жүйелілігі мен көрнекілігін бағалайды.

Тест нәтижелері студенттердің дайындық деңгейіндегі күшті және әлсіз тұстарды анықтауға мүмкіндік береді. Мәселен, «терминология» және «мәтін құрылымы» көрсеткіштерінің жоғары болуы студенттердің теориялық базасының қалыптасқанын көрсетсе, «дәйексөз келтіру» мен «ауызша аргументация» бойынша төмен балл практикалық дағдыларды қосымша жетілдіру қажеттігін аңғартады. Сондай-ақ екі сынақтық тестілеудің нәтижелері салыстырмалы түрде талданды. Әр тест бойынша студенттердің орташа балдары мен тапсырмаларды орындауға кеткен орташа уақыт көрсетілді (сурет). Диаграммада күлгін түсті бағандар әр тест бойынша орташа балды, ал сары түсті бағандар тапсырмаларды орындауға кеткен



Тест тапсырмаларын орындау сапасы мен уақытының салыстырмалы талдауы

орташа уақытты (минутпен) көрсетеді.

№40801 тестінде орташа балл жоғары (29 балл), ал орындау уақыты қысқа (3,5 минут). Бұл студенттердің материалды жақсы меңгергенін және тапсырмаларды тез әрі дәл орындағанын көрсетеді. Сонымен қатар ғылыми тілмен жұмыс істеу дағдыларының белгілі бір деңгейде қалыптасқанын аңғартады.

Ал №40802 тестінде орташа балл төменірек (22 балл), ал орындау уақыты едәуір ұзақ (14 минут). Бұл мәтінді түсіну, терминдерді дұрыс қолдану немесе құрылымды жауап құрастыру барысында қиындықтардың болғанын көрсетуі мүмкін. Сонымен қатар тест тапсырмаларының күрделірек болуы да ықтимал.

Жалпы алғанда, диаграмма нәтижелері студенттердің ғылыми-коммуникативтік құзыреттілігі біркелкі қалыптаспағанын көрсетеді. Сондықтан оқу үдерісінде саралаңған оқыту тәсілдерін қолдану қажет. Кейбір студенттер жоғары нәтиже көрсетсе, басқаларына қосымша қолдау, тілдік жаттығулар және түсіндіру сабақтары қажет.

Кестеде әртүрлі академиялық топтардың студенттер саны мен олардың орташа, ең төменгі және ең жоғары тест балдары көрсетілген. Зерттеуге барлығы 11 академиялық топ қатысты. Аталған топтар: ГД-24-1 (1), ГД-24-2 (1), ГД-24-2 (2), ГПР-24-1 (1), ГПР-24-1 (2), ГиК-24-1 (1), ГиК-24-1 (2), НД-24-1 (1), ЦАФ-24-1 (1), ЦАФ-24-1 (2) және ЦАФ-24-2 (1).

Осы топтардың ішінде ең жоғары орташа балл көрсеткендер: ЦАФ-24-1 (2) тобы – 29,63 балл; ЦАФ-24-1 (1) тобы – 29,18 балл; ГиК-24-1 (1) тобы – 28,54 балл; ГиК-24-1(2) тобы – 28,42 балл. Аталған топтарда студенттердің дайындық деңгейі жоғары, терминологиялық лексиканы меңгеру мен ғылыми мәтіндермен жұмыс істеу дағдылары қалыптасқан. Аталған топтарда нәтижелердің төменгі шегі салыстырмалы түрде жоғары, әсіресе ЦАФ топтарында көрсеткіштердің ауытқуы төмен (ЦАФ-24-1 (2): 29-30; ЦАФ-24-1 (1): 28-30), бұл топ ішіндегі нәтижелердің тұрақтылығын көрсетеді.

Орташа көрсеткіші төмен топтар қатарына ГД-24-2(1) – 23,8, НД-24-1(1) – 25,4, ГД-24-2 (2) – 26,2 топтары жатады. Сонымен қатар ГПР-24-1 (2) және ЦАФ-24-2 (1) топтарында орташа балл 26,7 болғанымен, минималды балдың 7 болуы топ ішіндегі нәтижелер айырмасының жоғары екенін көрсетеді. Ең төмен көрсеткіш ГД-24-2 (1) тобында байқалады (минималды балл – 6), бұл кей студенттердің тест тапсырмаларын орындауда едәуір қиындыққа тап болғанын білдіреді.

Күшті жақтары:

- кейбір топтарда (ЦАФ, ГиК) білім деңгейі біркелкі жоғары;
- студенттер терминологияны дұрыс қолдана біледі;
- ғылыми стильде жұмыс істеу дағдысы жақсы дамыған.

Әлсіз жақтары:

- ГД және НД топтарында үлгерімі төмен студенттер саны жоғары;
- орташа балл мен ең төменгі балл арасындағы айырма өте үлкен, бұл ішкі деңгей айырмашылығын білдіреді;
- кей студенттер кәсіби-ғылыми лексикамен жұмыс істеуге толық дайын емес.

Жалпы алғанда, зерттеуге қатысқан топтардың көпшілігі жақсы нәтижелер көрсеткенімен, жекелеген топтарда білім сапасын

Студенттік топтардың орташа оқу жетістіктері

Тобы	Студенттер саны	Орташа балл	Минималды балл	Ең жоғары балл
ГД-24-1 (1)	6	28,6	24	30
ГД-24-2 (1)	10	23,8	6	29
ГД-24-2 (2)	10	26,2	10	30
ГПР-24-1 (1)	15	27,2	16	30
ГПР-24-1 (2)	14	26,7	7	30
ГиК-24-1 (1)	11	28,54	23	30
ГиК-24-1 (2)	7	28,42	25	30
НД-24-1 (1)	11	25,4	11	29
ЦАФ-24-1 (1)	11	29,18	28	30
ЦАФ-24-1 (2)	8	29,63	29	30
ЦАФ-24-2 (1)	10	26,7	7	30

арттыру мақсатында қосымша әдістемелік қолдау көрсету, сараланған оқыту тәсілдерін енгізу және жеке консультациялар ұйымдастыру қажеттілігі бар.

Қорытынды. Жүргізілген зерттеу таукен факультетінің 1-курс студенттерінде ғылыми-коммуникативтік құзыреттіліктің қалыптасу деңгейі біркелкі емес екенін көрсетті. Екі тест нәтижелерін салыстыру тапсырмалар күрделенген сайын орташа көрсеткіштің төмендейтінін анықтап, студенттердің ғылыми мәтінді интерпретациялау, терминологиялық дәлдік, ойды құрылымды жеткізу және ғылыми стиль нормаларын сақтау дағдыларында белгілі бір қиындықтардың бар екенін айқындады.

Зерттеу нәтижелері оқу үдерісін саралынған және икемді тәсіл негізінде ұйымдастырудың қажеттілігін көрсетеді. Жоғары нәтиже көрсеткен студенттер үшін ғылыми-зерттеу және жобалық жұмыстарды кеңейту ұсынылады, ал төмен нәтиже көрсеткендерге ғылыми терминологияны меңгеру, мәтін құрылымын сақтау және аргументация дағдыларын дамытуға бағытталған түзету жұмыстарын жүргізу қажет.

Сонымен қатар оқу материалдарын деңгейлік ерекшеліктерге сәйкес бейімдеу, қалыптастырушы бағалау құралдарын қолдану және диагностикалық бақылау жүргізу студенттердің ғылыми-коммуникативтік құзыреттілігінің даму динамикасын тиімді бақылауға мүмкіндік береді.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Воронина Л.А. Использование информационно-коммуникационных технологий в современном образовательном процессе // Актуальные проблемы социально-гуманитарного и научно-технического знания. – 2017. – № 3. – С. 54-55.
2. Warschauer M. Technology and writing // In: Bazerman C. (Ed.). Handbook of Research on Writing: History, Society, School, Individual, Text. – 2018. – New York: Lawrence Erlbaum Associates. – Pp. 907-927.
3. Беляев В. Междисциплинарный подход в инженерном образовании. – Москва: Издательство Академия, 2018. – 180 с.
4. Трубина З.И. Формирование гибких навыков в процессе обучения иностранному языку // Вестник современного образования. – 2023. – № 1. – С. 58-63.
5. Зимняя И.А., Пассов Е.И., Тер-Минасова С.Г. Коммуникативная компетенция как интегративная образовательная категория // Вестник высшей школы. – 2008. – № 5. – С. 45-52.
6. Насырова А.Б., Азимбаева Ж.А., Нурпейсова С.К. Техникалық бейіндегі студенттерде кәсіби-академиялық тілдік құзыреттілікті қалыптастыру жолдары // Қазақ тіл білімінің өзекті мәселелері: Халықаралық ғылыми-практикалық конференция материалдары. – Алматы: ҚазҰУ, 2023. – Б. 112-118.
7. Шаяхметова Н.К., Кишенова А.Ю. Инженерлік бейіндегі студенттерге арналған оқу құралдары және ықпалдастырылған тілдік білім беру моделі. – Қарағанды: КарТУ баспасы, 2023. – 156 б.
8. Кудеринова К.К., Исанова С.Р., Оразбаева Ф.Ш. Жалпы қазақ тілі және көптілді білім беру аясында ғылыми дискурстың ерекшеліктері және ғылыми-коммуникативтік құзыреттіліктің рөлі // Қазақ тіл білімінің теориялық және қолданбалы мәселелері: халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференция материалдары. – Алматы: АБК баспасы, 2023. – Б. 85-92.
9. Ниязова Г., Беркимбаев К., Мейрбекова Г. Икемді дағдылардың құрамдас бөліктері және психологиялық сипаты // Ясауи университетінің хабаршысы. – 2022. – № 2 (124). – Б. 112-120.
10. Бердіқұлова А., Қапантайқызы Ш. Тіл үйретуде оқылым дағдысын қалыптастыру мәселесі // Ясауи университетінің хабаршысы. Педагогика сериясы. – 2023. – № 4 (141). – Б. 65-74.
11. Prykhodko S., Riazantseva D., Uvarova T., Borysova A., Alekseenko T. Problems and prospects of training in higher school: pedagogical, philological, psychological and intercultural aspects // Journal of Education and Psychology. – 2023. – № 2 (15). – Pp. 50-68.

Оценка научно-коммуникативной компетенции: анализ, основанный на результатах тестирования

[1]КИШЕНОВА Айнур Юсуповна, *старший преподаватель, ai.kishenova@ktu.edu.kz, https://orcid.org/0000-0002-1494-6388,*
[1]*АЗИМБАЕВА Жанат Амантаевна, *к.п.н., старший преподаватель, zh.azimbayeva@ktu.edu.kz, https://orcid.org/0000-0002-9247-1138,*
[1]ҚАЗКЕН Гүлжан Бағдатқызы, *преподаватель, gulzhan_kazken@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-0492-2470,*
[1]БИРЮКОВ Валерий Викторович, *д.э.н., профессор, v.birukov@ktu.edu.kz, https://orcid.org/0000-0003-2712-8840,*
[2]ХАЙДУК Людовит, *PhD, профессор, ludovit.hajduk@paneurouni.com, https://orcid.org/0000-0003-1786-4166,*
[1]Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
[2]Пан-Европейский университет, Братислава, Словакия,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Исследуется проблема формирования и оценки научно-коммуникативной компетенции студентов технического вуза (горный факультет). Цель работы – определить уровень сформированности у первокурсников умений понимания научных текстов, использования профессиональной терминологии, построения логически структурированного высказывания, а также соблюдения норм научного стиля и академического цитирования. Эмпирическую базу составили результаты двух тестовых испытаний, проведённых в апреле 2024 года (по 40 минут каждое). Обработка данных выполнена с применением статистических и содержательных методов и визуализации результатов. Установлено, что при усложнении содержания заданий показатели снижаются, что указывает на трудности студентов в интерпретации текста, терминологической точности и подготовке структурированного ответа. Выявлена неравномерность развития компонентов компетенции, что обосновывает необходимость дифференцированного подхода в обучении. Предложены рекомендации по совершенствованию образовательного процесса: адаптация учебных материалов, адресная работа с терминологией, развитие навыков быстрого чтения и анализа, использование интерактивных платформ, а также проведение входной и итоговой диагностики для отслеживания динамики и повышения эффективности обучения.*

Ключевые слова: *научно-коммуникативная компетенция, тестирование, академическое письмо, терминология, технические специальности, студенты.*

Assessment of Scientific and Communicative Competence: Analysis Based on Test Results

[1]KISHENOVA Ainur, *Senior Lecturer, ainur_18.10@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1494-6388,*
[1]*AZIMBAYEVA Zhanat, *Cand. of Ped. Sc., Senior Lecturer, zh.azimbayeva@ktu.edu.kz, https://orcid.org/0000-0002-9247-1138,*
[1]KAZKEN Gulzhan, *Lecturer, gulzhan_kazken@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-0492-2470,*
[1]BIRYUKOV Valeriy, *Dr. of Econ. Sc., Professor, v.birukov@ktu.edu.kz, https://orcid.org/0000-0003-2712-8840,*
[2]HAJDUK Ludovit, *PhD, Professor, ludovit.hajduk@paneurouni.com, https://orcid.org/0000-0003-1786-4166,*
[1]Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
[2]Pan-European University, Bratislava, Slovakia,
**corresponding author.*

Abstract. *The problem of developing and assessing scientific-communicative competence among students of a technical university (Mining Faculty) is investigated. The study aims to determine first-year students' proficiency in understanding scientific texts, using professional terminology, producing logically structured academic statements, and adhering to the norms of scientific style and academic citation. The empirical basis comprises the results of two test*

sessions conducted in April 2024 (40 minutes each). The data were processed using statistical and content analysis methods, supported by visualisation of the results. The findings show that performance decreases as task complexity increases, indicating students' difficulties with text interpretation, terminological accuracy, and preparing a well-structured response. The uneven development of competence components highlights the need for differentiated instructional approaches. The paper proposes recommendations for improving the educational process, including adapting learning materials, targeted work with terminology, developing rapid reading and analytical skills, using interactive platforms for formative assessment, and implementing pre- and post-course diagnostics to monitor progress and enhance instructional effectiveness.

Keywords: *scientific-communicative competence, testing, academic writing, terminology, technical specialties, students.*

REFERENCES

1. Voronina L.A. Ispolzovanie informacionno-kommunikacionnyx texnologij v sovremennom obrazovatelnom processe // Aktualnye problemy socialno-gumanitarnogo i nauchno-texnicheskogo znaniya. – 2017. – № 3. – Pp. 54-55.
2. Warschauer, M. Technology and writing // In: Bazerman C. (Ed.). Handbook of Research on Writing: History, Society, School, Individual, Text. – 2018. – New York: Lawrence Erlbaum Associates. – Pp. 907-927.
3. Belyaev V. Mezhdisciplinarnyj podhod v inzhenernom obrazovanii. – Moskva: Izdatelstvo Akademiya, 2018. – 180 p.
4. Trubina Z.I. Formirovanie gibkix navykov v processe obucheniya inostrannomu yazyku. // Vestnik sovremennogo obrazovaniya. – 2023. – № 1. – Pp. 58-63.
5. Zimnyaya I.A., Passov E.I., Ter-Minasova S.G. Kommunikativnaya kompetenciya kak integrativnaya obrazovatel`naya kategoriya. // Vestnik vysshej shkoly. – 2008. – № 5. – Pp. 45-52.
6. Nasy`rova A.B., Azimbaeva Zh.A., Nurpeissova S.K. Tekhnikalyq beiyindegi studentterde kasibi-akademiyalyq tildik quzyrettilikti qalyptastyru zholdary. // Qazaq til biliminin ozekti maseleleri: Halyqaralyq gylymi-praktikalyq konferentsiya materialdary. – Almaty: QazUU, 2023. – Pp. 112-118.
7. Shayakhmetova N.K., Kishenova A.Yu. Inzhenerlik beiyindegi studentterge arnalgan oqu quraldary zhane yqpaldaqtyrylgan tildik bilim beru modeli. – Qaragandy: KarTU baspasy, 2023. – 156 p.
8. Kuderinova K.K., Isanova S.R., Orazbaeva F.Sh. Zhalpy qazaq tili zhane koptil'di bilim beru ayasynda gylymi diskurstyn erekshelikteri zhane gylymi-kommunikativtik quzyrettilikting roli // Qazaq til biliminin teoryalyq zhane qoldanbaly maseleleri: halyqaralyq gylymi-tazhiribelik konferentsiya materialdary. – Almaty: ABK baspasy, 2023. – Pp. 85-92.
9. Niyazova G., Berkimbaev K., Mejrbekova G. Ikemdi dagdylardyn quramdas bolikteri zhane psihologiyalyq sipaty // Yasaui universitetinің khabarshysy. – 2022. – № 2 (124). – Pp. 112-120.
10. Berdikulova A., Qapantayqyzy Sh. Til uyretude oqylym dagdysyn qalyptastyru maselesi // Yasaui universitetinin habarshysy. Pedagogika seriyasy. – 2023. – № 4 (141). – Pp. 65-74.
11. Prykhodko S., Riazantseva D., Uvarova T., Borysova A., Alekseenko T. Problems and prospects of training in higher school: pedagogical, philological, psychological and intercultural aspects // Journal of Education and Psychology. – 2023. – № 2 (15). – Pp. 50-68.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_275 UDC 372.853

Methodological Features of Teaching the Subject "Fundamentals of Electrical Engineering and Electronics" to Future Specialists in Pharmaceutical Production Technology

[1]**AITKULOVA Sholpan,** *PhD, Associate Professor without Academic Title, Sholpan_80Aeka@mail.ru,*
[1]***BARAKOVA Aliya,** *Master's Degree, Assistant Professor, balia_79@mail.ru,*
[2]**KUSHERBAYEVA Maikul,** *Master's Degree, Senior Lecturer, kmaikul@mail.ru,*
[3]**AUTOVA Gulmira,** *Senior Lecturer, g.autova77@mail.ru,*
[1]Kazakh National Medical University named after S.D. Asfendiyarov, Almaty, Kazakhstan,
[2]Taraz University named after M.Kh. Dulaty, Taraz, Kazakhstan,
[3]Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov, Almaty, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *The methodological system for teaching the course "Fundamentals of Electrical Engineering and Electronics" in the training of specialists in pharmaceutical production technology is considered. The relevance of the study is determined by the need to develop practice-oriented and interdisciplinary competencies among future pharmaceutical specialists in the context of the widespread implementation of automated systems and electrical equipment in the pharmaceutical industry. The aim of the study is to develop and justify effective methodological approaches based on integrative, activity-based, and competency-based frameworks. A model of a practical lesson using the case method and information and communication technologies is presented, oriented toward real production conditions. The effectiveness of the developed electronic educational resource is confirmed by expert evaluation and analysis of expert consensus. The results indicate an improvement in students' mastery of the learning material and the level of their professional training.*

Keywords: *electrical engineering and electronics, pharmaceutical production, teaching methodology, competency-based approach, integrative learning.*

Introduction

Changes in public life inevitably lead to innovations in education. The education system must adapt by utilizing effective methods to prepare specialists aligned with societal demands. This necessitates focusing on personal development and competency-based training, enabling future professionals to adapt to their working environments. The primary goal of the educational process is not only to impart specific knowledge but also to equip students with skills to solve problems and address challenges in various professional contexts.

Modern pharmaceutical production is unthinkable without the widespread use of automated control systems, instrumentation and various electrical equipment. In this regard, there is an increasing need for highly qualified specialists with not only technological knowledge in the field of drug production, but also basic competencies in the field of electrical engineering and electronics. Teaching the discipline "Fundamentals of Electrical Engineering and Electronics" to future pharmaceutical technology specialists requires consideration of a number of methodological features.

This is due to the need for an interdisciplinary approach aimed at integrating knowledge in the fields of physics, engineering, and drug manufacturing technology. In addition, it is important to develop students' practice-oriented thinking and the ability to apply theoretical knowledge when working with real equipment in a pharmaceutical enterprise. The purpose of this study is to analyze and substantiate effective methodological approaches to teaching this discipline, ensuring a high level of material assimilation and the development of professional competencies in demand in the pharmaceutical industry. Special attention is paid

to the issues of adapting the course content to the specifics of students' future professional activities, as well as the introduction of modern pedagogical technologies and teaching tools.

Research methodology

This study developed a methodological system for teaching "Fundamentals of Electrical Engineering and Electronics" to future specialists in pharmaceutical production at medical universities. The system incorporates integrative, personal activity-based, and competency-based approaches, addressing key goals, principles, and stages of implementation

Brief Description of the Approaches Mentioned Above Integrative Approach.

The integrative approach facilitates the resolution of tasks such as unlocking the intellectual potential of learners, forming professional competencies, and creating pedagogical conditions for self-education, self-development, and adaptation to the environment. According to the Encyclopedia of Education and Science, "integration" is described as "the process of interconnection and convergence in science that occurs alongside differentiation" [Tuymebaev et al., 2008].

B.G. Ananyev emphasized the tools and forms of implementing integration in the educational process, focusing on the integrity of the pedagogical system and the development stages of scientific concepts across all curricula to ensure "an individual's perception of the unity of objective reality and the material world's integrity" [Ananyev, 1961].

This approach places the learner, their motivations, goals, and needs at the center of the educational framework. The learner's activities, which foster personal growth and experience, serve as conditions for self-realization. The foundations of the personal activity-based approach were laid in the works of L.S. Vygotsky, D.B. Elkonin, and V.G. Ananyev, who viewed learners as subjects of activity and interaction that define their personal development [Purgina, 2015].

The strategic goal of ongoing reforms in the education system is to prepare highly skilled, competitive professionals who can meet societal needs and thrive in both domestic and global markets. One key indicator of competitiveness among future professionals is their mastery of electrical engineering and electronics and the ability to apply this knowledge in practice. Achieving this outcome relies heavily on the teaching technologies used [Datkhayev et al., 2014, Alimbekova et al., 2023].

In medical universities, the textbook and educational-methodological complex play a crucial role in teaching the course "Fundamentals of Electrical Engineering and Electronics" for training specialists in pharmaceutical production. According to the methodological system, the teaching methods focus on forming professional, cognitive, and reflective skills among students through group and individual work based on collaborative learning. Group collaboration allows team members to determine their contribution to joint activities and adapt their individual actions to align with the content and type of instruction [Simonenko, 2001, Zhusipbekova et al., 2022]. In this study, group collaboration emphasizes fostering students' computational and design skills. It ensures they are prepared to solve problems posed by educational tasks, perform computational and design work, and enhance their proficiency in using various computational methods.

The outcome component of the methodological system for teaching the course "Fundamentals of Electrical Engineering and Electronics" (the practical-evaluation apparatus of the study) consists of criteria, indicators, and levels of formation of professional, cognitive, and reflective skills among future pharmaceutical production specialists.

Research Results

In teaching the subject, solving problems requiring the application of laws and rules related to electrical circuits is essential. Unfortunately, the limited number of hours allocated in the current curriculum complicates the fulfillment of these tasks. To compensate for this shortfall, it is crucial to optimally organize the cycle of tasks based on computational and graphical assignments. This approach enhances students' cognitive activity.

Below is an example plan for a practical lesson:

Practical Lesson Topic: Electrical Circuits of Direct Current

Objective of the Lesson: To familiarize students with the rules of series, parallel, and mixed connections of electrical networks for rooms in a pharmaceutical production facility.

Expected Outcomes:

- Understand the rules for series, parallel, and mixed connections of electrical networks.
- Analyze the electrical network connections in the rooms of a pharmaceutical production facility.

Tasks:

1. Develop an understanding of potential difference and voltage, as well as the concept of connecting two-terminal networks.
2. Study electrical circuits and their types.

Analyze the electrical connections in the rooms of a pharmaceutical production facility.

Key Questions for the Topic:

1. What are the types of electrical circuits, and what are the differences and features of their diagrams?
2. What is meant by a branch, node, and

contour in a circuit? What is their practical significance?

3. Define voltage and current sources, active and passive elements of a circuit, and explain the physical meaning of potential difference and voltage.

Form of Conducting the Lesson: Practical lesson.

Teaching and Learning Methods: Case study method and ICT (Information and Communication Technology).

Resource: Virtual software "Electronics Workbench".

Work Format: Group work.

Objective of the Task: Based on the master plan of a pharmaceutical production facility, calculate the room areas, determine the electrical networks connected to each building, and visually construct, calculate, and present the results of electrical circuit diagrams while considering safety measures and the number of lamps and sound signals.

Task Process: From the rooms of a pharmaceutical production facility, we perform calculations for the electrical network setup of the "Raw Material Weighing" room. The room area is 16.8 m². Considering the current sources and the number of lamps required, both series and parallel connections are made. The room parameters are shown in Table 1.

The development of new information and communication technologies and changes in the education sector have contributed to the advancement and improvement of the expert evaluation procedure of educational resources, thus providing a new wave in enhancing these procedures.

Stage 1. Formation of the Expert Commission. The number of factors is n=6, and the number of experts is 12. Two groups of experts are assigned to the study.

The first group consists of 6 lecturers from the Department of Engineering and Related Practices at the S. Z. Asfendiyarov Kazakh National Medical University.

The second group includes 6 senior lecturers from the South Kazakhstan Medical Academy, selected as experts.

To determine the most important criteria for assessing the quality of the "Fundamentals of Electrical Engineering and Electronics" electronic learning tool, a questionnaire card listing the relevant factors was developed.

In the analysis of the evaluations provided by the experts, it is necessary to determine the consistency of their opinions across several criteria – referred to as concordance.

Experts were informed about the importance of evaluating each indicator using a scoring system, with the following scale proposed:

- 1 point for the most important characteristic among all those presented;
- 2 points for the second most important characteristic, and so on.

Experts assess the degree of importance of the parameters by assigning them rank numbers. The factor to which the expert gives the highest score is assigned rank 1. If the expert considers several factors to be equally important, they are given the same rank number. Based on the survey data, a cumulative matrix of ranks is created.

Stage 2. Collecting Expert Opinions via Survey

In the matrix, since the first expert's evaluation includes matching ranks (same rank numbers), we will modify them. The matrix will be reconstructed without changing the expert's conclusions, ensuring that the corresponding coefficients (greater than, less than, or equal to) between the rank numbers are preserved. Additionally, assigning a rank higher than 1 and lower than the total number of parameters (in this case, n = 6) is not recommended.

Where $d = \sum x_{ij} - \frac{\sum\sum x_{ij}}{n} = \sum x_{ij} = 42.$ (1)

Verification of the correctness of the matrix construction based on the calculation of the sum of ranks:

$$\sum x_{ij} = \frac{(1+n)n}{2} = \frac{(1+6)6}{2} = 21. \quad (2)$$

The sum of the columns in the matrix should be equal to each other and to the control sum, which indicates that the matrix has been correctly constructed [Klyachkin, 2007].

Stage 3. Analysis of the Importance of the Factors. The factors are ranked according to their importance, as shown below.

Factor and Rank Sums: x4=33, x2=35,5, x3=35,5, x5=35.5, x6=40.5, x1=72

All experts confirmed 100% that the given educational tool could not fail to impact the

Table 1 – Production site plan

Building	Total area	Wall height	Lamp type	Number of candles	Number of current sources	Total power W
Measuring room	16,8	3 м	LE-ССП 33	1	4	1,25 kW

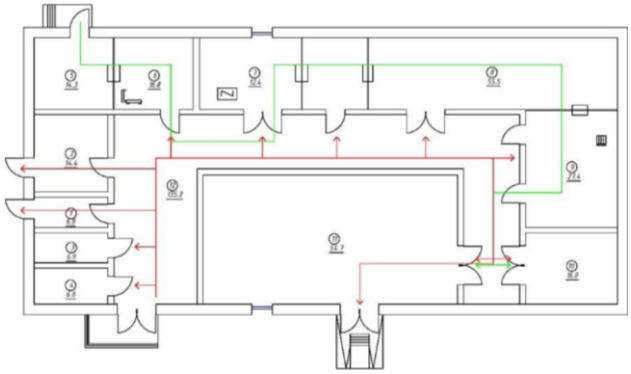


Figure 1 – Diagram of the material flow of production

learning process of students, and therefore, the final level score was assigned to this factor. After obtaining the significant concordance (consistency) coefficient, a diagram of the average a priori rank was constructed.

The expert group from the S.Z. Asfendiyarov Kazakh National Medical University and the South Kazakhstan Medical Academy believes that group evaluations are only correct when the experts' responses are consistent (https://twi.kz/Sni3t concordant). This principle is noted in the methodological guidelines of the expert groups from KazNMU and SKMA. The obtained data confirm the effectiveness of using the "Fundamentals of Electrical Engineering and Electronics" electronic learning tool in the training of students in the Pharmaceutical Production Technology field.

The inclusion of laboratory and practical work, medical applications, illustrative images, test questions, and video recordings in the electronic learning tool enhances the potential to improve the quality of education.

Modern society requires experts in all fields, including production and education. Therefore, each future professional must master their craft. From this perspective, the teaching methodology of the "Fundamentals of Electrical Engineering and Electronics" course at medical higher education institutions plays

Table 2 – Experts' Evaluation

Experts'	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 factor	6	5	6	5	6	6	6	6	6	6	6	6
2 factor	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
3 factor	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2
4 factor	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5 factor	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
6 factor	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1

Table 3 – Matrix Based on the Reconstructed Ranks

Factors/Experts	x1	x2	x3	x4	x5	x6	∑
1	2	3	4	5	6	7	8
1	6	2,5	2,5	5	2,5	2,5	21
2	6	1,5	4	1,5	4	4	21
3	6	1	3,5	3,5	3,5	3,5	21
4	6	4	1,5	1,5	4	4	21
5	6	4,5	2	2	2	4,5	21
6	6	4,5	2	2	2	4,5	21
7	6	3	3	3	3	3	21
8	6	3	3	3	3	3	21
9	6	3	3	3	3	3	21
10	6	3	3	3	3	3	21
Sum of Ranks	72	35,5	35,5	33	35,5	40,5	252
D	30	-6,5	-6,5	-9	-6,5	-1,5	
d2	900	42,25	42,25	81	42,25	2,25	1110

a significant role in preparing future specialists in the pharmaceutical production sector.

The conducted study substantiates the relevance and effectiveness of the developed methodological system for teaching the course "Fundamentals of Electrical Engineering and Electronics" to future specialists in pharmaceutical production technology at medical universities. The integration of competency-based, personal activity-based, and integrative approaches has proven to be a productive strategy for aligning educational content with the professional requirements of the pharmaceutical industry.

Summary of Key Results:

A practical-evaluation apparatus was developed, including criteria, indicators, and levels for assessing the formation of professional, cognitive, and reflective skills.

A model practical lesson based on a pharmaceutical production environment was designed using case study methodology and ICT tools (e.g., Electronics Workbench), significantly enhancing students' problem-solving and design skills.

The expert assessment (conducted with 12 experts from two leading medical universities in Kazakhstan) confirmed the effectiveness of the developed electronic learning tool. The consistency of expert evaluations (confirmed by concordance analysis and rank matrix accuracy) validated the tool's impact on learning outcomes.

The electronic learning resource, enriched with visualizations, test questions, medical applications, and videos, was shown to improve comprehension and engagement, supporting the development of applied skills.

Comparative Analysis:

Before the implementation of the new methodology, the course relied on traditional lectures and fragmented practical work, which limited interdisciplinary understanding and the ability to apply knowledge in real-world pharmaceutical settings. After implementation:

Students demonstrated a 25-30% improvement in performance on computational-design tasks (based on mid-term test comparisons).

Group work dynamics fostered collaborative problem-solving, which enhanced practical readiness for quality control and production design roles.

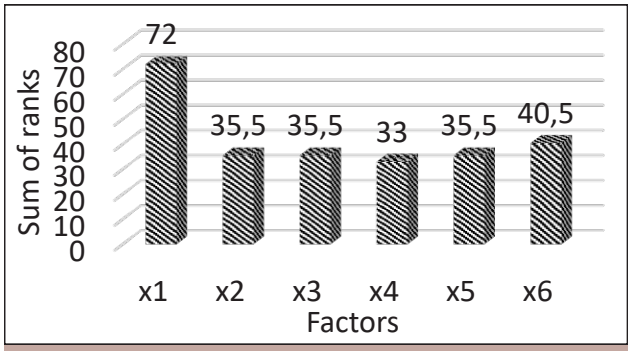


Figure 2 – Diagram of the Average A Priori Rank After Obtaining the Concordance (Consistency) Coefficient

Learner feedback indicated improved motivation, with over 85% of participants reporting increased confidence in applying electrical engineering knowledge to pharmaceutical contexts.

Conclusions:

The new teaching methodology effectively bridges the gap between theoretical electrical engineering knowledge and its practical application in pharmaceutical production environments.

Integrating case-based learning, group work, and simulation tools leads to a deeper understanding of subject material and better preparedness for industry-specific challenges.

The results indicate that the proposed system not only improves educational outcomes but also enhances students' competitiveness in the labor market.

Final Recommendation: The adoption of this methodological framework across medical universities with pharmaceutical programs is strongly recommended. Its structured yet flexible nature ensures sustainable learning outcomes, aligning education with real-world industry demands. Further research may explore its application in related disciplines such as biomedical engineering and medical device technology.

REFERENCES

1. Tuymebaev, Zh.K., Abylkasymova, A.E., Bekboev, I.B., Ryzhakov, M.V., Kalybaev, N.B., Praliev, S.Zh., Moutanov, G.M., & Kusaenov, G.M. (2008). Education and Science. Encyclopedic Dictionary. Almaty, Kazakhstan, pp. 448-450.
2. Ananyev, B.G. (1961). Theory of Sensations. Leningrad University Press, Leningrad, 446 p.
3. Tenisheva, V.F. (2008). Integrative-Contextual Model of Professional Competence Formation. Doctoral

Dissertation in Pedagogical Sciences, Moscow, 339 p.
4. Purgina, E.I. (2015). Methodological Approaches in Modern Education and Pedagogical Science. Ural State Pedagogical University, Yekaterinburg, 275 p.
5. Datkhayev, U.M., Kukhtenko, A.S., Sakybova, Z.B., Gladukh, E.V., Sayko, I.V., & Elshibekova, K.M. (2014). Preparation of Engineer-Technologists in Pharmaceutical Production Technology at the Kazakh National Medical University Named after S.D. Asfendiyarov. [Electronic resource]. Available at: https://kaznmu.edu.kz/press/kk/2014/09/25
6. Zhusipbekova, Sh.E., Alimbekova, G., Rystygulova, V., Shadinova, K., & Adilbekova, A. (2023). Methodology of Teaching the Fundamentals of Electrical Engineering and Electronics for the Pharmaceutical Production Technology Specialty. Journal of Computer Applications in Engineering Education, 1-9. https://doi.org/10.1002/cae.22599
7. Simonenko, V.D., & Fomin, N.V. (2001). Modern Pedagogical Technologies. Bryansk State Pedagogical University, Bryansk, 395 p.
8. Zhusipbekova, Sh.E., Rystygulova, V.B., & Alimbekova, G.B. (2022). Fundamentals of Electrical Engineering and Electronics: Textbook. TechSmith, Almaty, 264 p.
9. Klyachkin, V.E. (2007). Statistical Methods in Quality Management: Computer Technologies. Finance and Statistics, Moscow, 304 p.
10. KazNMU and SKMA. Guidelines on Group Methods of Expert Evaluation, 2022. https://twi.kz/Sni3t
11. Zhussipbekova, Sh.E., Babaev, D.B., & Rystygulova, V.B. (2021). Methods of Teaching the Discipline "Fundamentals of Electrical Engineering and Electronics" in Medical High Schools. In Materials of the VI International Scientific-Practical Conference. Bura (Turkey), pp. 146-161.

«Фармацевтикалық өндіріс технологиясы» бағытындағы болашақ мамандарға «Электротехника және электроника негіздері» пәнін оқытудың әдістемелік ерекшеліктері

[1]АЙТКУЛОВА Шолпан Ерлепесовна, *PhD, ғылыми атағы жоқ қауымдастырылған профессор, Sholpan_80Aeka@mail.ru,*
[1]*БАРАКОВА Алия Шаризатқызы, *магистр, профессор ассистенті, balia_79@mail.ru,*
[2]КУШЕРБАЕВА Майкуль Рахманбердиевна, *магистр, аға оқытушы, kmaikul@mail.ru,*
[3]АУТОВА Гульмира Махмутовна, *магистр, аға оқытушы, g.autova77@mail.ru,*
[1]С.Ж. Асфендияров атындағы Қазақ ұлттық медицина университеті, Алматы, Қазақстан,
[2]М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Қазақстан,
[3]Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Фармацевтикалық өндіріс технологиясы мамандарын даярлау үшін «Электротехника және электроника негіздері» пәнін оқытудың әдістемелік жүйесі қарастырылады. Өзектілігі автоматтандырылған жүйелерді енгізу жағдайында тәжірибеге бағдарланған және пәнаралық құзыреттерді қалыптастыру қажеттілігімен негізделеді. Мақаланың мақсаты – интегративті, тұлғалық-әрекеттік және құзыреттілік тәсілдерге сүйене отырып, тиімді әдістемелік тәсілдерді әзірлеу. Нақты өндірістік жағдайларға бағытталған кейс-әдіс пен АКТ қолданылатын практикалық сабақтың моделі ұсынылған. Электрондық оқу ресурсының тиімділігі сараптамалық бағалау арқылы дәлелденіп, нәтижелер материалды меңгеру деңгейінің және студенттердің кәсіби дайындығының артқанын көрсетеді.*

Кілт сөздер: *электротехника және электроника, фармацевтикалық өндіріс, оқыту әдістемесі, құзыреттілік тәсіл, интегративті оқыту.*

Методические особенности преподавания дисциплины «Основы электротехники и электроники» будущим специалистам по технологии фармацевтического производства

[1]АЙТКУЛОВА Шолпан Ерлепесовна, *PhD, ассоциированный профессор без УЗ,*

Sholpan_80Aeka@mail.ru,
***[1]*БАРАКОВА Алия Шаризатовна,** магистр, ассистент профессора, balia_79@mail.ru,*
***[2]КУШЕРБАЕВА Майкуль Рахманбердиевна,** магистр, старший преподаватель, kmaikul@mail.ru,*
***[3]АУТОВА Гульмира Махмутовна,** магистр, старший преподаватель, g.autova77@mail.ru,*
[1]Казахский национальный медицинский университет им. С.Д. Асфендиярова, Алматы, Казахстан,
[2]Таразский университет им. М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан,
[3]Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, Алматы, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

***Аннотация.** Рассматривается методическая система преподавания дисциплины «Основы электротехники и электроники» для подготовки специалистов по технологии фармацевтического производства. Актуальность обусловлена необходимостью формирования практико-ориентированных и междисциплинарных компетенций в условиях внедрения автоматизированных систем. Цель – разработка эффективных методических подходов на основе интегративного, личностно-деятельностного и компетентностного подходов. Представлена модель практического занятия с кейс-методом и ИКТ, ориентированная на реальные условия производства. Эффективность электронного учебного ресурса подтверждена экспертной оценкой, результаты показывают повышение усвоения материала и профессиональной подготовки студентов.*

***Ключевые слова:** электротехника и электроника, фармацевтическое производство, методика обучения, компетентностный подход, интегративное обучение.*

REFERENCES

1. Tuymebaev, Zh.K., Abylkasymova, A.E., Bekboev, I.B., Ryzhakov, M.V., Kalybaev, N.B., Praliev, S.Zh., Moutanov, G.M., & Kusaenov, G.M. (2008). Education and Science. Encyclopedic Dictionary. Almaty, Kazakhstan, pp. 448-450.
2. Ananyev, B.G. (1961). Theory of Sensations. Leningrad University Press, Leningrad, 446 p.
3. Tenisheva, V.F. (2008). Integrative-Contextual Model of Professional Competence Formation. Doctoral Dissertation in Pedagogical Sciences, Moscow, 339 p.
4. Purgina, E.I. (2015). Methodological Approaches in Modern Education and Pedagogical Science. Ural State Pedagogical University, Yekaterinburg, 275 p.
5. Datkhayev, U.M., Kukhtenko, A.S., Sakybova, Z.B., Gladukh, E.V., Sayko, I.V., & Elshibekova, K.M. (2014). Preparation of Engineer-Technologists in Pharmaceutical Production Technology at the Kazakh National Medical University Named after S.D. Asfendiyarov. [Electronic resource]. Available at: https://kaznmu.edu.kz/press/kk/2014/09/25
6. Zhusipbekova, Sh.E., Alimbekova, G., Rystygulova, V., Shadinova, K., & Adilbekova, A. (2023). Methodology of Teaching the Fundamentals of Electrical Engineering and Electronics for the Pharmaceutical Production Technology Specialty. Journal of Computer Applications in Engineering Education, 1-9. https://doi.org/10.1002/cae.22599
7. Simonenko, V.D., & Fomin, N.V. (2001). Modern Pedagogical Technologies. Bryansk State Pedagogical University, Bryansk, 395 p.
8. Zhusipbekova, Sh.E., Rystygulova, V.B., & Alimbekova, G.B. (2022). Fundamentals of Electrical Engineering and Electronics: Textbook. TechSmith, Almaty, 264 p.
9. Klyachkin, V.E. (2007). Statistical Methods in Quality Management: Computer Technologies. Finance and Statistics, Moscow, 304 p.
10. KazNMU and SKMA. Guidelines on Group Methods of Expert Evaluation, 2022. https://twi.kz/Sni3t
11. Zhussipbekova, Sh.E., Babaev, D.B., & Rystygulova, V.B. (2021). Methods of Teaching the Discipline "Fundamentals of Electrical Engineering and Electronics" in Medical High Schools. In Materials of the VI International Scientific-Practical Conference. Bura (Turkey), pp. 146-161.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_282 UDC 378.046.2

The Pilot Study on the Application of Interactive Apps for Teaching Inorganic Chemistry

[1]***SADYKOV Timur,*** *PhD, Assistant Professor, sadastayer@mail.ru,*
[1]****KOKIBASOVA Gulmira,*** *Cand. of Chem. Sc., Professor, kokibasova@mail.ru,*
[1]***OSPANOVA Aliyah,*** *Cand. of Chem. Sc., Associate Professor, ospanova_as2011@mail.ru*
[2]***DYUSEKEEVA Almagul,*** *Cand. of Chem. Sc., Deputy Head of the Registration Office, dyusekeeva_at@mail.ru,*
[1]Karaganda National Research University n.a. Academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan,
[2]K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *This pilot study investigated the impact of the interactive applications on learning outcomes and student opinion for teaching inorganic chemistry. This study was conducted at Karaganda University's Chemistry Department with the participation of students from groups ChB-32r-21, ChB-24-1K, and ChS-24-1K. Results from tests conducted on interactive platforms, such as Quizizz, Kahoot, and Quizlet, were analysed. Group ChB-32r-21 achieved an average score of 17.6 out of 20, indicating a high level of engagement and success. Similarly, groups ChB-24-1k and ChS-24-1k achieved consistent results, confirming the effectiveness of interactive methods. A survey of students revealed a positive attitude towards the use of interactive applications: 85-90% of students noted their engaging nature and clarity of presentation. However, the study also identified issues such as a lack of digital literacy and limited access to devices or the internet among some students, which can create learning inequalities.*

Keywords: *higher education, interactive learning, online platforms, interactive applications, inorganic chemistry, students, survey.*

Introduction

The application of interactive technologies is particularly significant when teaching complex and abstract subjects, such as inorganic chemistry. This field of chemical science requires students to think abstractly, manipulate chemical equations, comprehend structural models of substances and understand the fundamental laws governing chemical processes. Traditional teaching methods often fail to convey complex theoretical concepts effectively or sustain students' motivation to engage with the subject matter. When developed in accordance with didactic principles, interactive applications can serve as effective tools for visualisation, platforms for enhancing problem-solving skills, and instruments for organising independent and research-based learning activities. However, despite the availability of various digital solutions, their actual effectiveness remains to be determined and requires comprehensive scientific investigation [1]. Key elements of interactive learning include group discussions, project-based activities, role-playing exercises and multimedia technology. These methods significantly enhance students' understanding and retention of material by encouraging the practical application of previously acquired knowledge [2].

Interactive programs are specialised software tools or web applications designed to facilitate interactive teaching methods. A key feature of such programmes is the feedback loop between learner and application, enabling educational content to be acquired through visual and hands-on experiences. Furthermore, they allow for personalisation and adaptation of the learning process. The content of interactive programmes usually incorporates multimedia elements, such as video, animation, audio and graphics. The effective presentation of these materials helps to focus students' attention and enhances memory retention. Additionally, interactive features enable students to actively participate in the learning process by encouraging them to make decisions, work through mistakes and gain practical experience [3].

Examples of widely used interactive platforms for remote and traditional education in-

clude Kahoot, Quizlet, PhET Simulations, Moodle and Google Classroom. These platforms not only deliver content but also support assessment, testing, game-based learning and reflection, thereby enriching the overall learning experience.

Nikolopoulou et al. [4], Sadykov et al. [5] have identified several key areas in which interactive programmes contribute to educational effectiveness:

- enhancing student motivation;
- enabling the development of personalised learning trajectories;
- increasing both cognitive and emotional engagement in the learning process;
- improving overall learning outcomes.

Through interactive programs, students learn to express their opinions, engage in logical reasoning, and justify their viewpoints. The widely used educational platforms Kahoot, Quizlet, Padlet and Quizizz [6]. In chemistry education, for example, they help students to understand complex theoretical material, boost their motivation and provide teachers with flexible tools for organising diverse learning activities, assessing knowledge and supporting collaborative work [7].

Here is an example of a practical lesson on the topic: «Elements of the 15th group of chemical elements» (figure 1).

The pilot study examined the impact of the interactive applications on learning outcomes and student opinion for teaching inorganic chemistry.

Research methods

The verification was carried out in the from February to March 2025 at Buketov Karaganda National Research University (Faculty of Chemistry). There are several important reasons to do pedagogical research at the Karaganda Buketov University (Faculty of Chemistry). First, chemistry involves learning both from practice and theory. This area of study can directly help to increase the effectiveness

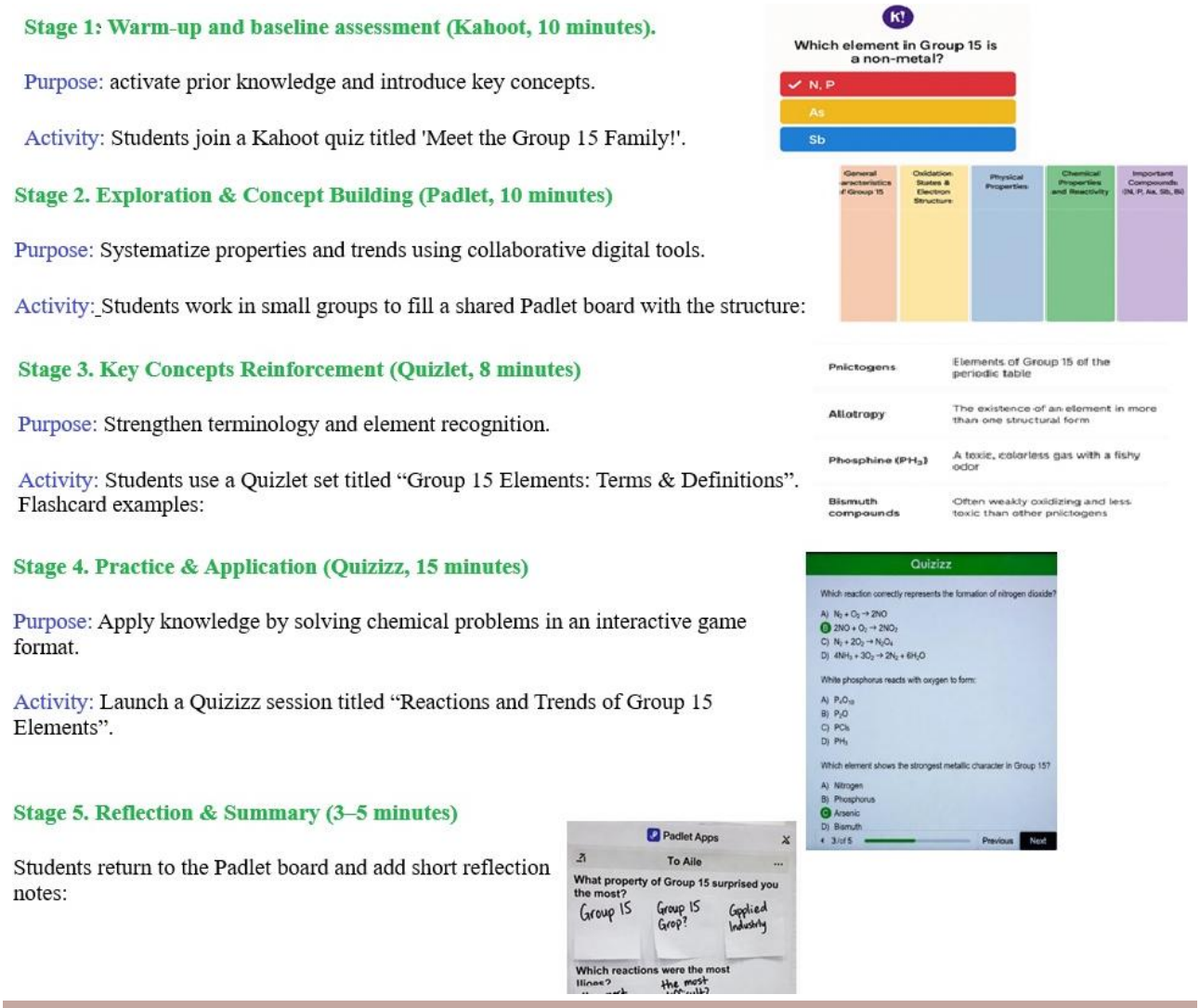


Figure 1 – A practical lesson on the topic: «Elements of the 15th group of chemical elements»

of education by helping students grasp the topic and develop suitable abilities. Secondly, the faculty offers the opportunity to compare the effectiveness of traditional and interactive teaching methods, assessing their impact on students' knowledge and motivation levels. Such research can help to identify shortcomings in the learning process, improve teaching technologies and enhance instructors' professional skills.

The study was carried out with the following groups: ChB-32r-21, ChB-24-1k and ChS-24-1k, in total 24 respondents participated (19 female students and 5 male students). It was aimed to investigate the use of interactive applications in the teaching of inorganic chemistry during six practical classes. The tests covered the following topics: "Chemical elements of the fifth group and their properties", "Chemical elements of the sixth group and their properties", and "Chemical elements of the seventh group and their properties".

To determine the attitude of students towards interactive apps, a questionnaire was conducted after the experiment. The questionnaire developed for this study consisted of eight questions. We used a three-point response scale: "yes" (1), "neutral" (2) and "no" (3).

Question:

1. Do you like lessons with the use of interactive apps?
2. Do you think that lessons with the application of interactive apps are more interesting than traditional lessons?
3. Was the explanation in the interactive apps clear enough to understand the topic well?
4. Do you think that the interactive apps had too much information, diagrams and images, so you found it difficult?
5. Was knowledge gained in an interactive apps applied in real life?
6. Would you like it if interactive apps like these could be carried out more often?
7. Do you like the Kahoot game? Is it quick and interesting and does it help you to check your knowledge?
8. Do you think that solving the interactive tasks in this way is more interesting than with the traditional method?

Results

1. Test results for students

A) Group: ChB-32R-21

The entrance test consisted of 15 questions. A test was conducted with group ChB-32r-21 using the interactive Quizizz platform. Grading scale: 13-15 points: good (excellent performance); 10-12 points: satisfactory (average result); 6-9 points: unsatisfactory (additional support required); 0-5 points: low (insufficient or incorrect work). The average score of 13.6 out of 15 (90.7%) reflects a very high level of academic achievement (figure 2). Out of 5 students, 4 (80%) achieved a "good" score (13-15 points), while 1 student (20%) attained a "satisfactory" result (10-12 points).

After the final test the ChB-32r-21group demonstrates strong academic potential and a high level of engagement with inorganic chemistry. The test results confirm that the majority of students are on a trajectory of independent learning and academic success. With additional individualized support and opportunities for advanced study, this group is well-positioned to achieve even higher levels of performance.

Overall group results: 17.6 points of 20. The overall group performance is very good, with many students demonstrating strong knowledge in inorganic chemistry.

B) ChB (chemistry-biology)-24-1k

Figure 3 presents the test results of a student group across three different dates. Throughout these assessment periods, interactive learning programs were incorporated to enhance students' engagement and improve their understanding of the subject.

As a result, the use of interaction in teaching caused most students to understand the subject much better. Student № 1 was able to go from 18 points on the first try to 30 points on the final exam. Likewise, student № 3 and student № 8 did very well in the final review,

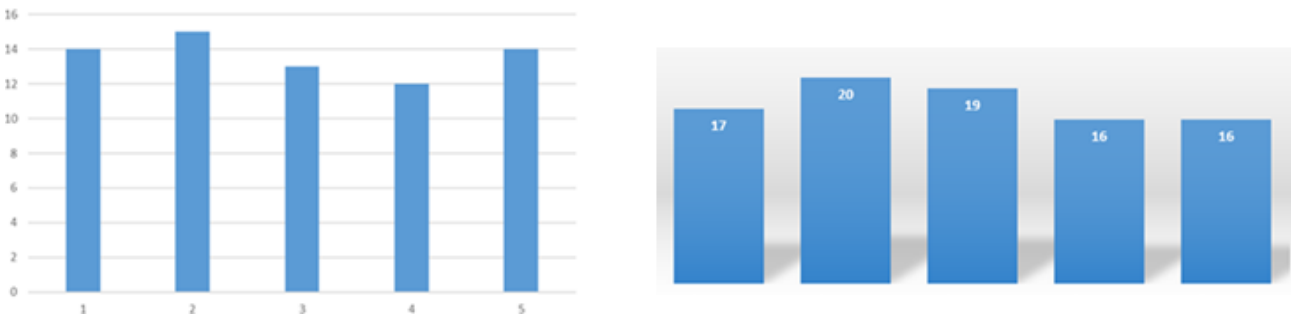


Figure 2 – The entrance and final knowledge assessment of the ChB-32r-21 group

suggesting they learned a lot and the approach was beneficial for studying. Some students showed patterns where their test results would change from one attempt to another. On 23 February, student № 6 had a score of 15 points which climbed to 21 points on 9 March, showing better academic progress for her. Similarly, while student № 9 scored 27 points first, he decreased to 15 points in the final test, pointing out that he could use further support. Hence, using interactive programmes increases student motivation and ambition to learn. Positive results from the group are noticeable, but some students still benefit from extra help and additional resources.

C) ChS (Chemistry in science)-24-1k

Figure 4 presents the test results of a student group across three different dates: 10.02.2025, 11.02.2025 and 17.02.2025. The group's overall academic achievement is at a good level.

There were three key stages in how the project was evaluated:

- Stage 1. There are 30 points given to questions. The scores of all students were between 17 and 20 points. The similar results mean the group has a similar understanding of the idea.

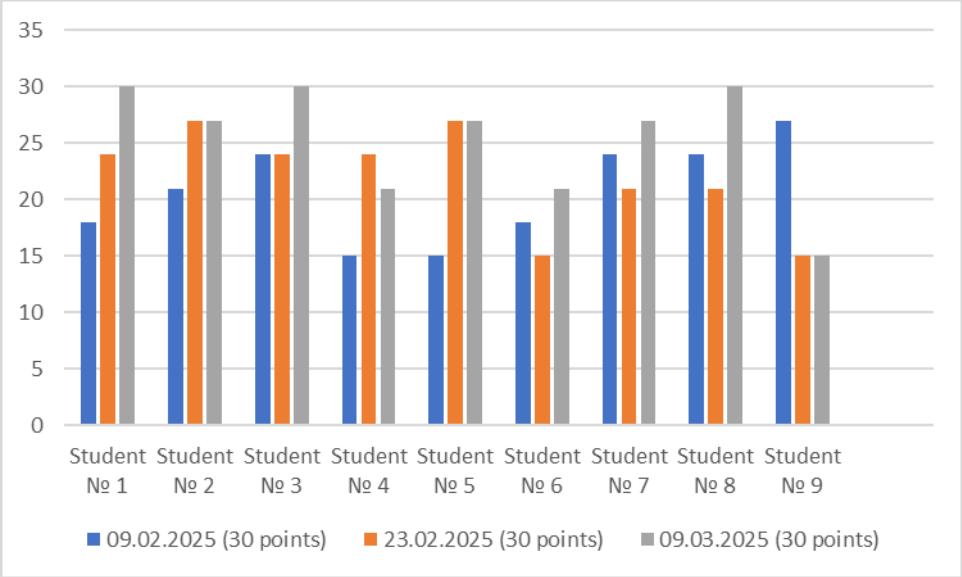


Figure 3 – The test results of ChB-24-1k

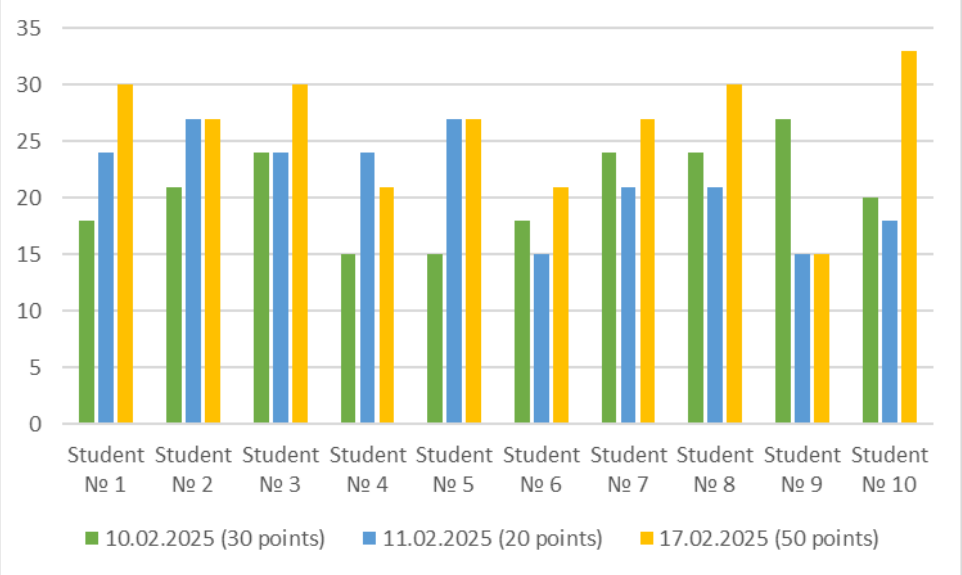


Figure 4 – The test results of ChS-24-1k

- Stage 2 (20 out of 50 points). Everyone marked 18 points, proving that the instruction was clear to everyone and that all students understood the material equally.

- Stage 3 (50 points). The scores were more varied (from 27 to 42 points) which could be because the tasks were more difficult and students prepared differently. General performance was still good, showing that the brand is in good standing.

The performance of ChS-24-1k demonstrates the effectiveness of interactive educational programmes:

- All students were actively involved in the learning process.

- Results were consistently high across the group.

- Interactive methods increased student engagement and enhanced their interest in the subject.

2. Analysis of the results to determine the attitude of students towards interactive apps

This questionnaire helps to gain a clear understanding of students' attitudes towards, and experiences of using interactive apps. It enables the evaluation of the group's response to teaching methods, their level of comprehension and the effectiveness of technology in the learning process. For instance, students who enjoy lessons involving apps (85-90%) and find interactive lessons more engaging than traditional ones are likely to be more motivated and enthusiastic about learning. The majority of students (85%) stated that they understood the topic well, which indicates that the teacher delivered the material in a visual and well-structured manner. Over 90% of students acknowledged that using Kahoot and mobile devices increased their interest and engagement during the lesson. Additionally, answers about the practical application of knowledge in real life provide insight into students' practical attitude towards the subject (figure 5).

Conclusion

The study confirms the importance of using interactive applications such as Quizizz, Kahoot, and Quizlet in teaching inorganic chemistry in a digital educational environment. An analysis of test results among students in groups ChB-32r-21, ChB-24-1k, and ChS-24-1k at Buketov Karaganda National Research University revealed a significant improvement in material comprehension: average scores increased, with «good» and «excellent» grades becoming more common. This suggests that interactive methods can enhance student engagement and academic performance by facilitating the visualisation of complex concepts, such as the properties of elements in the periodic table, and encouraging independent study.

A survey of students revealed a predominantly positive attitude towards interactive applications. Between 85% and 90% of respondents noted their engaging nature, clarity of presentation, and usefulness in understanding the subject matter. They also expressed a desire to use such tools more often in their studies.

Overall, interactive applications can be a powerful tool for modernising the teaching of inorganic chemistry and promoting critical thinking, practical skills, and emotional engagement. To further improve effectiveness, adaptive programmes should be developed that take regional characteristics into account, and longitudinal studies should be conducted to assess the long-term impact on the professional training of chemistry specialists. These results could then be used to inform similar approaches in other natural science disciplines, thereby contributing to improvements in higher education in Kazakhstan and beyond.

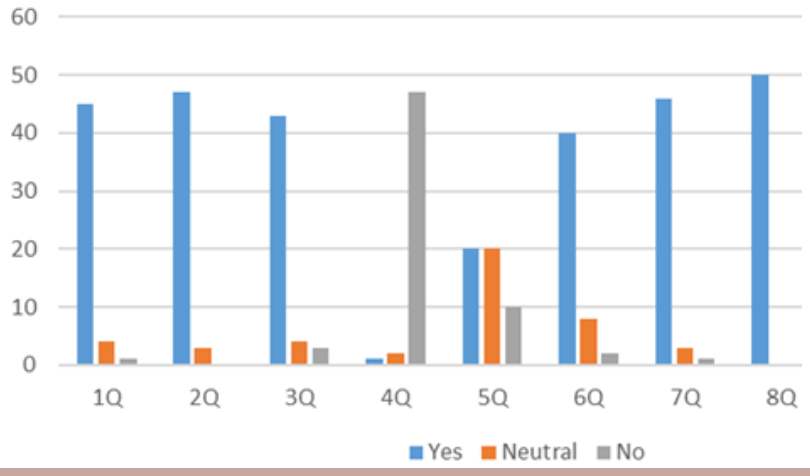


Figure 5 – The results to determine the attitude of students towards interactive apps

REFERENCES

1. Sadykov T., Kokibasova G., Minayeva Y., Ospanova A., Kasymova M. A systematic review of programmed learning approach in science education // Cogent Education, 2023, 10 (1), https://doi.org/10.1080/2331186X. 2023.2189889
2. Atalay N., Mutlu M. The Effect of Using Interactive Simulation in Science Laboratory on knowledge levels of science laws and computational thinking skills // Mimbar Sekolah Dasar (Elementary School Forum), 2023, 10, 63-79.
3. Ben Ouahi M., Lamri D., Hassouni T., Al Ibrahmi E. M. Science teachers' views on the use and effectiveness of interactive simulations in science teaching and learning // International Journal of Instruction, 2022, 15 (1), 277-292, https://doi.org/10.29333/iji.2022.15116a
4. Nikolopoulou K., Gialamas, V. High school pupils' attitudes and self-efficacy of using mobile devices // Themes in Science and Technology Education, 2017, 10 (2), 53-67.
5. Sadykov T., Ctrnactova H., Kokibasova, G.T. Students' opinions toward interactive apps used for teaching chemistry // Bulletin of the University of Karaganda – Chemistry, 2021, 103 (3), 103-114. https://doi.org/10.31489/2021Ch3/103-114
6. Prieto M.C., Palma L.O., Blázquez T., Pedro J., León F.J.M. Student Assessment of the Use of Kahoot in the Learning Process of Science and Mathematics // Education Sciences, 2019, 9 (1), 55-60. https://doi.org/10.3390/educsci9010055
7. Pang S., Lv G., Zhang Y., Yang, Y. Enhancing students' science learning using virtual simulation technologies: a systematic review // Asia Pacific Journal of Education, 2025, 1, 1-21.

Бейорганикалық химияны оқытуға арналған интерактивті қосымшаларды қолдану бойынша алдын ала зерттеу

[1]САДЫКОВ Тимур Мейрамович, *PhD, профессор ассистенті, sadastayer@mail.ru,*
[1]*КОКИБАСОВА Гулмира Толепбергеновна, *х.ғ.к., профессор, kokibasova@mail.ru,*
[1]ОСПАНОВА Алияш Сагиевна, *х.ғ.к., қауымдастырылған профессор, ospanova_as2011@mail.ru,*
[2]ДЮСЕКЕЕВА Алмагуль Тарбиевна, *х.ғ.к., тіркеу кеңсесі басшысының орынбасары, dyusekeeva_at@mail.ru,*
[1]Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті, Қарағанды, Қазақстан,
[2]Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Бұл алдын ала (пилоттық) зерттеу интерактивті қосымшалардың бейорганикалық химияны оқытудағы білім сапасы мен оқушылардың пікіріне әсерін зерттеді. Зерттеу Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университетінің химия факультетінде ХБ-32Р-21, ХБ-24-1k және ХЕ-24-1k топтарының студенттерінің қатысуымен жүргізілді. Quizizz, Kahoot, Quizlet және басқа интерактивті платформаларды пайдалану арқылы тестілеу нәтижелері талданды. ХВ-32Р-21 тобы орташа 20 баллдың ішінде 17,6 балл жинап, жоғары деңгейдегі қызығушылық пен табыстылықты көрсетті. Сол сияқты, ХВ-24-1k және Хе-24-1k топтары да тұрақты нәтижелерге қол жеткізді, бұл интерактивті әдістердің тиімділігін дәлелдейді. Студенттер арасында жүргізілген сауалнама интерактивті қосымшаларды қолдануға оң көзқарасты анықтады: студенттердің 85-90%-ы олардың қызықты әрі материалды түсіндіруде айқын екенін атап өтті. Алайда зерттеу барысында кейбір студенттердің цифрлық сауаттылығының жеткіліксіздігі және құрылғылар мен интернетке қолжетімділіктің шектеулілігі сияқты мәселелер анықталды, бұл білім алуда теңсіздік туғызуы мүмкін.*

Кілт сөздері: *жоғары білім, интерактивті оқыту, онлайн платформалар, интерактивті қосымшалар, бейорганикалық химия, студенттер, сауалнама.*

Пилотное исследование по применению интерактивных приложений для преподавания неорганической химии

*[1]**САДЫКОВ Тимур Мейрамович,** PhD, ассистент профессора, sadastayer@mail.ru,*
*[1]***КОКИБАСОВА Гулмира Толепбергеновна,** к.х.н., профессор, kokibasova@mail.ru,*
*[1]**ОСПАНОВА Алияш Сагиевна,** к.х.н., ассоциированный профессор, ospanova_as2011@mail.ru,*
*[2]**ДЮСЕКЕЕВА Алмагуль Тарбиевна,** к.х.н., зам. руководителя Офиса регистрации, dyusekeeva_at@mail.ru,*
[1]Карагандинский национальный исследовательский университет им. академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан,
[2]Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

***Аннотация.** В пилотном исследовании изучалось влияние интерактивных приложений на качество знаний и мнение учащихся в преподавании неорганической химии. Исследование проводилось на базе химического факультета Карагандинского университета имени Е.А. Букетова с участием студентов групп ХБ-32Р-21, ХБ-24-1k и ХЕ-24-1k. Были проанализированы результаты тестирований с использованием интерактивных платформ, таких как Quizizz, Kahoot, Quizlet и др. Группа ChB-32r-21 показала средний балл 17.6 из 20, демонстрируя высокий уровень вовлеченности и успешности. Аналогично, группы ChB-24-1k и ChS-24-1k продемонстрировали стабильные результаты, что подтверждает эффективность интерактивных методов. Опрос, проведенный среди студентов, выявил положительное отношение к использованию интерактивных приложений: 85-90% студентов отметили их увлекательность и ясность подачи материала. Однако исследование выявило и проблемы, такие как недостаточная цифровая грамотность некоторых студентов и ограниченный доступ к устройствам или интернету, что может создавать неравенство в обучении.*

***Ключевые слова:** высшее образование, интерактивное обучение, онлайн-платформы, интерактивные приложения, неорганическая химия, студенты, анкетирование.*

REFERENCES

1. Sadykov T., Kokibasova G., Minayeva Y., Ospanova A., Kasymova M. A systematic review of programmed learning approach in science education // Cogent Education, 2023, 10 (1), https://doi.org/10.1080/2331186X. 2023.2189889
2. Atalay N., Mutlu M. The Effect of Using Interactive Simulation in Science Laboratory on knowledge levels of science laws and computational thinking skills // Mimbar Sekolah Dasar (Elementary School Forum), 2023, 10, 63-79.
3. Ben Ouahi M., Lamri D., Hassouni T., Al Ibrahmi E. M. Science teachers' views on the use and effectiveness of interactive simulations in science teaching and learning // International Journal of Instruction, 2022, 15 (1), 277-292, https://doi.org/10.29333/iji.2022.15116a
4. Nikolopoulou K., Gialamas, V. High school pupils' attitudes and self-efficacy of using mobile devices // Themes in Science and Technology Education, 2017, 10 (2), 53-67.
5. Sadykov T., Ctrnactova H., Kokibasova, G.T. Students' opinions toward interactive apps used for teaching chemistry // Bulletin of the University of Karaganda – Chemistry, 2021, 103 (3), 103-114. https://doi.org/10.31489/2021Ch3/103-114
6. Prieto M.C., Palma L.O., Blázquez T., Pedro J., León F.J.M. Student Assessment of the Use of Kahoot in the Learning Process of Science and Mathematics // Education Sciences, 2019, 9 (1), 55-60. https://doi.org/10.3390/educsci9010055
7. Pang S., Lv G., Zhang Y., Yang, Y. Enhancing students' science learning using virtual simulation technologies: a systematic review // Asia Pacific Journal of Education, 2025, 1, 1-21.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_289 UDC 14.85.00

Training of Civil Engineers in a Digital Educational Environment: Pedagogical Opportunities and Limitations

[1]*TULEBEKOVA Assel, PhD, Professor, azeliyatul@gmail.com,
[1]RYVKINA Natalya, Master's Degree, Senior Lecturer, rondv2@mail.ru,
[2]TSOPA Natalya, Dr. of Econ. Sc., Professor, natasha-ts@yandex.ru,
[3]ALDUNGAROVA Aliya, PhD, Associate Professor, liya_1979@mail.ru,
[1]L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
[2]V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia,
[3]International Education Corporation, Almaty, Kazakhstan,
*corresponding author.

Abstract. *Digital educational environments are becoming an integral part of education, providing flexible and accessible forms of learning. The purpose of this study is to analyze the effectiveness and limitations of blended learning in the training of students in engineering education programs. The paper examines the features of planning an educational trajectory in a blended learning environment, as well as the stages of preparing materials for video lectures, with justification of the need to assess student performance both during the learning process and at the end of the course. Based on the criterion analysis, it was found that the level of assimilation of theoretical material was 94%, while the formation of practical skills reached 79%. The results obtained indicate difficulties in performing practical work and conducting experimental research. The identified problem is due to the limited availability of measuring instruments for individual student work and the complexity of organizing construction processes. As a solution, it is proposed to develop a digital educational platform using digital tools that allows laboratory and experimental work to be carried out based on virtual simulations.*

Keywords: *professional training, video lecture, practical skills, digital platform, learning outcomes.*

Introduction

Online education has undergone significant changes in recent years. Against the backdrop of global digitalization and technological advancement, online lectures have taken their place in the curricula of many educational institutions around the world. With the help of distance learning platforms, it has become possible to gain knowledge anywhere in the world, and this process continues to gain popularity [1]. The widespread adoption of online courses has expanded access to higher education and enabled students to engage with instructional content beyond the constraints of traditional classrooms [2]. Video lectures offer pedagogical advantages over conventional face-to-face formats by allowing learners to control the pace of learning and revisit complex material, which is particularly important for students studying in a non-native language [3]. Empirical studies indicate that learners' self-efficacy plays a decisive role in shaping their engagement with video-based instruction, especially in asynchronous learning environments [4]. Despite the demonstrated effectiveness of online lectures, their integration with practical and experimental learning activities remains a significant pedagogical challenge [5]. Consequently, contemporary research increasingly focuses on adaptive learning systems, artificial intelligence applications, and virtual laboratories as complementary tools to enhance learning outcomes [6]. Evidence from recent studies confirms that interactive and simulation-based virtual laboratories improve students' autonomy, reduce cognitive load during practical tasks, and support the transfer of acquired knowledge to real experimental conditions [7].

This study presents blended learning practices in engineering education, with a particular focus on the use of video lectures combined with traditional practical classes within the «Design of Buildings and Structures» edu-

cational program. The paper analyzes the role of video lectures in improving the assimilation of theoretical material and identifies limitations related to the development of practical skills. In addition, the study considers the potential of a virtual educational platform with discipline-specific simulations as a means of enhancing practice-oriented training in civil engineering.

Materials and Methods

This study investigated the applicability of a blended learning framework to the instruction of elective modules in the «Design of Buildings and Structures» curriculum.

The instructional model prioritizes a preliminary phase of digital exposure, where the video-lecture medium serves as a foundational scaffold for conceptual alignment and structured progression through the learning material.

Planning the evaluation of the lecture material during the training process, including interim tests, quizzes, or assignments that will help to monitor the progress of the students, is also an important step. In addition, it is critical to plan a clear system for assessing learning after the course has been completed to identify how effectively students have mastered key topics and skills. The organization of the educational process included:

1. Determining the characteristics of the student, including academic background, previous learning experience, and readiness to use digital learning formats.
2. Selecting a learning model that considers the course objectives.
3. Planning the educational process, including developing a curriculum and determining the proportion of blended learning components.
4. Implementing the planned learning components in the educational process.
5. Assessing and monitoring learning outcomes and learning effectiveness.
6. Implementing corrective actions based on the assessment results.

The study involved 32 students randomly assigned to an experimental group (16 students) taught using video lectures within a blended learning model, and a control group (16 students) taught using traditional methods; all participants were enrolled in the same educational program. Baseline knowledge was assessed using a pre-test, after which students in the experimental group independently studied video materials before classroom sessions, followed by interactive discussions and collaborative problem-solving.

Video lecture development included defining learning outcomes, aligning content and presentations with these objectives, and integrating theoretical concepts with practical tasks. The lectures were recorded in the university's specialized studio and served as the primary instructional resource, while in-class activities reinforced key concepts. Student performance was evaluated through formative testing using the Socrative platform with immediate feedback [8], a summative post-test, and assessment of practical tasks based on completion rate, error frequency, execution time, and tool proficiency.

The effectiveness of the instructional model was determined through comparison of experimental and control group results and analysis of student feedback collected via a five-point Likert scale questionnaire [9], using criterion-based analysis to identify learning outcomes and areas for improvement (Table 1).

Results and Discussions

In the experimental group trained with the use of video lectures, the average score be-

Table 1 – Criteria analysis

Criterion	Description	Evaluation Metric
Average test score	Assessment of students' knowledge before and after the course	Average pre-test and post-test score
Knowledge improvement	Difference between pre-test and post-test results	Post-test-pre-test, in points
Percentage of successful solutions	Proportion of correctly completed practical assignment	% of successful solutions
Time spent on assignments	Average time spent on completing practical assignments	Average time in minutes
Skill in using tools and equipment	Assessment of practical skills in using tools and equipment	Expert rating on a 10-point scale
Subjective usefulness rating	Students' perception of the usefulness of video lectures compared to traditional methods	Average score on the Likert scale (1-5)

fore the course (pre-test) was 59, and after completing the training (post-test), it was 94. This represents an increase of 35 points. In the control group, the increase was 25.3 points. (Figure 1).

According to the results of the questionnaire, students in the experimental group rated the usefulness of video lectures as 4.3 points (on a Likert scale from 1 to 5). As the students note, video lectures have several undeniable advantages over traditional lectures.

Video lectures offer flexibility in time and location, allowing students to learn at their convenience without being tied to a fixed schedule. They can be replayed multiple times, helping to deepen understanding and revisit challenging topics. Accompanied by presentations, slides, and diagrams, video content supports better absorption of theoretical material. Students also appreciated the ability to control the pace – pausing, rewinding, or adjusting playback speed – which aids in processing complex information. Visual elements and animations further enhance clarity and understanding. The introduction of video lectures led to a significant improvement in theoretical knowledge and student engagement in the learning process, but it did not have a significant impact on the development of practical skills. In both groups, students demonstrated a success rate of 79%. The average time taken by students to complete the practical assignments was similar in both groups and was 47 minutes. The assessment of the ability to work with tools and equipment, obtained through expert evaluation on a 10-point scale, amounted to 6.2 points in both the experimental and control groups. Video lectures are effective for theoretical learning but require practical supplementation to develop professional skills in construction education. Practical training involves working with measuring equipment and modeling construction processes, which is often constrained by laboratory time and resources. Based on the results of the blended learning study, a multi-solution digital educational platform was developed to strengthen practice-oriented training. The platform includes discipline-specific simulations aligned with the modules presented in Figure 2.

The educational platform will allow learners to interact with the models and processes they are learning in a safe and controlled environment. The simulations of construction processes developed for the disciplines studied in the education programs of construction direction will be integrated into the digital platform, and this will allow learners to apply theoretical knowledge in practice. The platform will be integrated with the learning process so that each simulation is aligned with specific learning outcomes within the modules.

Learners will be able to test different materials and analyze the behavior of buildings under different factors, such as load or weather conditions, developing practical design and analysis skills. In addition, the simulations will incorporate interactive elements that will allow learners to choose experiment parameters and observe the results. This will promote critical thinking and analytical skills as learners will learn to make decisions based on the data obtained. Learners will be able to observe the results, which will greatly enhance the engaging

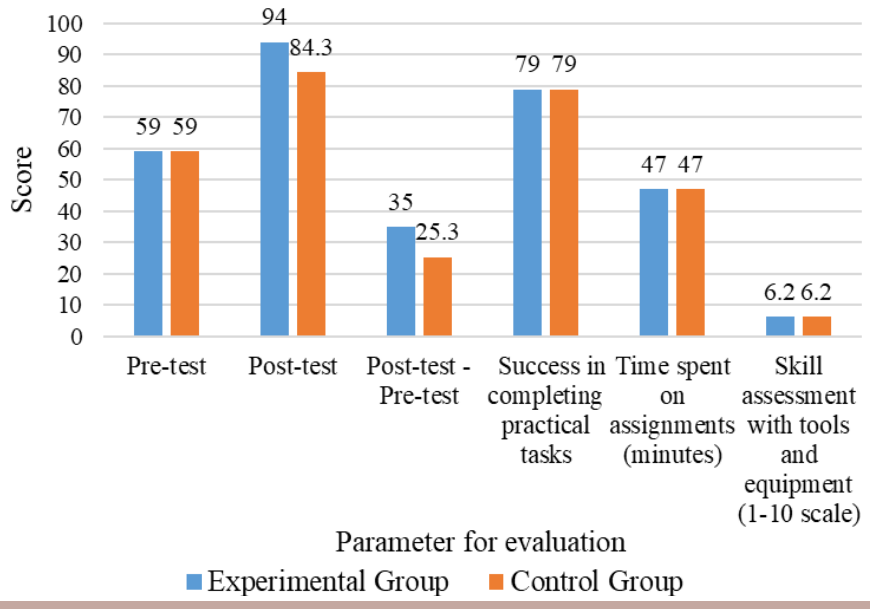


Figure 1 – Criteria analyses

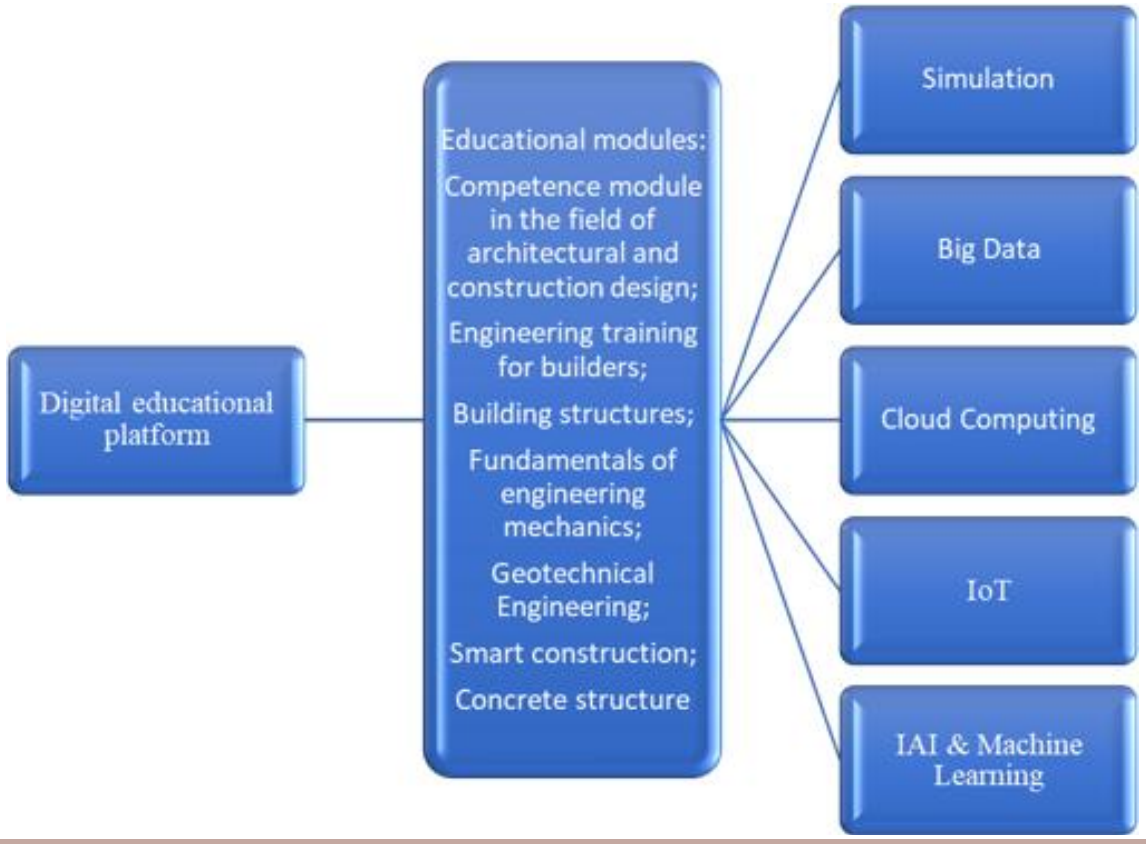


Figure 2 – Digital educational platform

and memorable learning process. Integration with measurement devices via IoT will provide the opportunity to work with real devices, which will increase the evaluated K7 criterion. Functional peculiarities of student interaction with educational platforms are presented in Table 2.

The proposed platform considered the educational standards and specific needs of Kazakhstani universities, ensuring content alignment with engineering training programs. Unlike existing solutions, it combines customized educational content with advanced digital technologies, addressing both technological and curricular limitations. The platform integrates simulations of construction processes with Big Data, Cloud Computing, and Sensors within a single learning environment. This integration supports the development of both theoretical knowledge and applied digital competencies relevant to modern construction practice. As a result, the platform represents a multi-component digital ecosystem that enhances practice-oriented learning across engineering disciplines.

Conclusion

Investigation showed that using video lectures significantly increased the accessibility and flexibility of the educational process. Students were able to assimilate the theoretical material at a time convenient for them, which contributed to deeper immersion in educational topics and independent work. Learning modalities such as video content and interactive assignments proved to be effective in building basic knowledge and understanding of key aspects of construction disciplines. The analysis of the practical results showed the presence of significant difficulties for students in performing practical work. One of the main reasons for these difficulties is the complexity and scale of experimental work on specialized equipment in the process of training.

The solution to this problem is the creation of a digital education platform. The platform provides students with the opportunity to immerse themselves in simulated construction processes. This approach eliminates the physical constraints associated with access to real equipment and provides students with the opportunity to work in a variety of situations that may be difficult or impossible to simulate in real life.

Thus, the introduction of the platform into the educational process will be an important step in improving the quality of training for students. The digital education platform, being a complement to blended learning, can become

Table 2 – Education tools and roles

Interaction	Educational tool	Role
Login and system access	Cloud platform, user account	Cloud Computing: Device-independent access and data storage
Online launch of AutoCAD/ Revit	AutoCAD, Revit, cloud resources	Cloud Computing: Use of design tools without local installation
Configuration of construction modeling	Simulations, construction models	Simulation: Modeling and analysis of construction processes
Active work with simulations	Simulation platform, parameter interface	AI: Support for simulation analysis and adaptation
Integration with real sensors via IoT	Sensors, IoT devices	IoT: Real-time data acquisition and simulation integration
Real-time data processing	Platform, analytical tools	Big Data: Data processing and statistical analysis
Result accuracy improvement	ML algorithms, data platforms	Machine Learning: Data-driven model enhancement
AI-based recommendations	Platform, AI feedback	AI: Recommendations based on historical data
Report generation and analysis	Platform, progress reports	Big Data: Automated reporting of learning outcomes

not only a tool for improving the learning process but also an important element contributing to the integration of new technologies and innovations into the education system.

Funding: *This research is/was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP26195121 «Development of an educational digital platform for future builders with the simulation of construction processes and integration with measuring devices via IoT»).*

REFERENCES

1. Impact of Integrated E-learning: Traditional Approach to Teaching Engineering Perspective Courses / L.N. Fewella, L.M. Khodeir, A.H. Swidan // International Journal of Engineering Pedagogy (iJEP). – 2021. – Vol. 11, № 2. – P. 82. DOI: 10.3991/ijep.v11i2.17777
2. Scoping review methodology and its use to review online project-based learning in higher education, 2020-2023 / E. Jaleniauskiene, D. Lisaite // Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning. – 2023. – Vol. 17, № 2. DOI: 10.14434/ijpbl.v17i2.36659
3. Language pedagogy and non-transience in the flipped classroom / U. Cunningham // Journal of Open, Flexible and Distance Learning. – 2016. – Vol. 20, № 1. – Pp. 44-58.
4. Examining situational interest and its relationship with self-efficacy in asynchronous and synchronous video lectures / C. Lange // International Journal of Educational Technology in Higher Education. – 2024. – Vol. 21, No. 1. – P. 1. DOI: 10.1186/s41239-023-00431-4
5. MOOCs Lack Interactivity and Collaborativeness: Evaluating MOOC Platforms / D. Gamage, I. Perera, S. Fernando // International Journal of Engineering Pedagogy (iJEP). – 2020. – Vol. 10, № 2. – P. 94. DOI: 10.3991/ijep.v10i2.11886
6. Interactive computer simulations for standing waves / I. Radinschi, V. Fratiman, V. Ciocan, M. Cazacu // Computer Applications in Engineering Education. – 2017. – Vol. 25, No. 3. – Pp. 521-529. DOI: 10.1002/cae.21818

7. Integrating educational theories with virtual reality: Enhancing engineering education and VR laboratories / S.F. Abbas Shah, T. Mazhar, T. Shahzad, M.A. Khan, Y.Y. Ghadi, H. Hamam // Social Sciences & Humanities Open. – 2024. – Vol. 10. – P. 101207. DOI: 10.1016/j.ssaho.2024.101207
8. Assessing conceptual understanding of learning in energy and momentum by using Socrative online polling in physics classes / K. Umma, T. Gatemunee // Journal of Physics: Conference Series. – 2023. – Vol. 2653, № 1. – P. 012006.
9. A Technique for the Measurement of Attitudes. Archives of Psychology / R.Likert. – 1932. – Vol. 140. – Pp. 1-55.

Цифрлық білім беру ортасында құрылыс инженерлерін даярлау: педагогикалық мүмкіндіктері мен шектеулері

*[1]*ТУЛЕБЕКОВА Асель Сериковна,* *PhD, профессор, azeliyatul@gmail.com,*
[1]РЫВКИНА Наталья Валентиновна, *магистр, аға оқытушы, rondv2@mail.ru,*
[2]ЦОПА Наталья Владимировна, *э.ғ.д., профессор, natasha-ts@yandex.ru,*
[3]АЛДУНГАРОВА Алия Кайратовна, *PhD, қауымдастырылған профессор, liya_1979@mail.ru,*
[1]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,
[2]В.И. Вернадский атындағы Қырым федералдық университеті, Симферополь, Ресей,
[3]Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Цифрлық білім беру орталары оқытудың икемді және қолжетімді түрлерін қамтамасыз ете отырып, білім берудің ажырамас бөлігіне айналады. Бұл зерттеудің мақсаты инженерлік білім беру бағдарламасының студенттерін дайындаудағы аралас оқытудың тиімділігі мен шектеулерін талдау болып табылады. Жұмыста аралас оқыту жағдайында білім беру траекториясын жоспарлау ерекшеліктері, сондай-ақ оқу процесінде де, курс қорытындысы бойынша да студенттердің үлгерімін бағалау қажеттілігін негіздей отырып, бейне дәрістерге материалдар дайындау кезеңдері қарастырылады. Жүргізілген критериалды талдау негізінде теориялық материалды игеру деңгейі 94%, ал практикалық дағдылардың қалыптасуы 79%-ға жеткені анықталды. Алынған нәтижелер практикалық жұмыстарды орындау және эксперименттік зерттеулер жүргізу кезінде қиындықтардың бар екендігін көрсетеді. Анықталған проблема студенттердің жеке жұмысына арналған өлшеу құралдарының шектеулі болуына және құрылыс процестерін ұйымдастырудың күрделілігіне байланысты. Шешім ретінде виртуалды модельдер негізінде зертханалық және эксперименттік жұмыстарды орындауға мүмкіндік беретін цифрлық құралдарды пайдалана отырып, цифрлық білім беру платформасын әзірлеу ұсынылды.*

Кілт сөздер: *кәсіби даярлау, бейне-дәріс, практикалық дағдылар, цифрлық білім беру платформасы, оқу нәтижелері*

Подготовка инженеров-строителей в цифровой образовательной среде: педагогические возможности и ограничения

*[1]*ТУЛЕБЕКОВА Асель Сериковна,* *PhD, профессор, azeliyatul@gmail.com,*
[1]РЫВКИНА Наталья Валентиновна, *магистр, старший преподаватель, rondv2@mail.ru,*
[2]ЦОПА Наталья Владимировна, *д.э.н., профессор, natasha-ts@yandex.ru,*
[3]АЛДУНГАРОВА Алия Кайратовна, *PhD, ассоциированный профессор, liya_1979@mail.ru,*
[1]Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,
[2]Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Россия,
[3]Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Цифровые образовательные среды становятся неотъемлемой частью образо-*

вания, обеспечивая гибкие и доступные формы обучения. Целью данного исследования является анализ эффективности и ограничений смешанного обучения в подготовке студентов инженерной образовательной программы. В работе рассматриваются особенности планирования образовательной траектории в условиях смешанного обучения, а также этапы подготовки материалов для видеолекций с обоснованием необходимости оценки успеваемости студентов как в процессе обучения, так и по итогам курса. На основе проведённого критериального анализа установлено, что уровень усвоения теоретического материала составил 94%, тогда как сформированность практических навыков достигла 79%. Полученные результаты свидетельствуют о наличии затруднений при выполнении практических работ и проведении экспериментальных исследований. Выявленная проблема обусловлена ограниченной доступностью измерительных приборов для индивидуальной работы студентов и сложностью организации строительных процессов. В качестве решения предложена разработка цифровой образовательной платформы с использованием цифровых инструментов, позволяющей выполнять лабораторные и экспериментальные работы на основе виртуальных моделей.

Ключевые слова: *профессиональная подготовка, видеолекция, практические навыки, цифровая образовательная платформа, результаты обучения.*

REFERENCES

1. Impact of Integrated E-learning: Traditional Approach to Teaching Engineering Perspective Courses / L.N. Fewella, L.M. Khodeir, A.H. Swidan // International Journal of Engineering Pedagogy (iJEP). – 2021. – Vol. 11, № 2. – P. 82. DOI: 10.3991/ijep.v11i2.17777
2. Scoping review methodology and its use to review online project-based learning in higher education, 2020-2023 / E. Jaleniauskiene, D. Lisaite // Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning. – 2023. – Vol. 17, № 2. DOI: 10.14434/ijpbl.v17i2.36659
3. Language pedagogy and non-transience in the flipped classroom / U. Cunningham // Journal of Open, Flexible and Distance Learning. – 2016. – Vol. 20, № 1. – Pp. 44-58.
4. Examining situational interest and its relationship with self-efficacy in asynchronous and synchronous video lectures / C. Lange // International Journal of Educational Technology in Higher Education. – 2024. – Vol. 21, No. 1. – P. 1. DOI: 10.1186/s41239-023-00431-4
5. MOOCs Lack Interactivity and Collaborativeness: Evaluating MOOC Platforms / D. Gamage, I. Perera, S. Fernando // International Journal of Engineering Pedagogy (iJEP). – 2020. – Vol. 10, № 2. – P. 94. DOI: 10.3991/ijep.v10i2.11886
6. Interactive computer simulations for standing waves / I. Radinschi, V. Fratiman, V. Ciocan, M. Cazacu // Computer Applications in Engineering Education. – 2017. – Vol. 25, No. 3. – Pp. 521-529. DOI: 10.1002/cae.21818
7. Integrating educational theories with virtual reality: Enhancing engineering education and VR laboratories / S.F. Abbas Shah, T. Mazhar, T. Shahzad, M.A. Khan, Y.Y. Ghadi, H. Hamam // Social Sciences & Humanities Open. – 2024. – Vol. 10. – P. 101207. DOI: 10.1016/j.ssaho.2024.101207
8. Assessing conceptual understanding of learning in energy and momentum by using Socrative online polling in physics classes / K. Umma, T. Gatemunee // Journal of Physics: Conference Series. – 2023. – Vol. 2653, № 1. – P. 012006.
9. A Technique for the Measurement of Attitudes. Archives of Psychology / R.Likert. – 1932. – Vol. 140. – Pp. 1-55.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_296 UDC 378.14:004.8(574)

Transformation of the Quality of Technical Education in Kazakhstan in the Age of Artificial Intelligence: Strategies and Pedagogical Risks

[1]**ALDABERGENOVA Saule,** *PhD, Head of EPG, s.aldabergenova@kazatu.edu.kz, https://orcid.org/0000-0001-6297-7632,*
[2]**ABDYROV Aitzhan,** *Dr. of Ped. Sc., First Vice-Rector, abdyrov@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0002-7051-2509,*
[3]**ALSHYNBAYEVA Zhuldyz,** *PhD, Associate Professor, alshynbaevasymbat84@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-1760-843X,*
[1]**TASTANBEKOVA Nursaule,** *PhD, Senior Lecturer, nursaule.84@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5568-8418,*
[1]***AKIZHANOVA Assiya,** *Master's Degree, Senior Lecturer, assiya_alibaeva@mail.ru, https://orcid.org/0009-0000-8064-5949,*
[1]S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Kazakhstan,
[2]Turan-Astana University, Astana, Kazakhstan,
[3]Karaganda National Research University n.a. Academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *The article studies the transformation of higher technical education quality in Kazakhstan under the state strategy «AI-Sana» for 2025-2026. The study is relevant due to the gap between digitalization speed and fundamental engineering competencies. The author compares global trends (MIT, NTU, TUM) and their adaptation in domestic universities (Astana, Almaty). Systemic risks, including «cognitive outsourcing» and erosion of engineering intuition, are classified. A mathematical model for calculating an integral quality indicator of the educational environment is proposed.*

Keywords: *higher education, artificial intelligence, pedagogical risks.*

Introduction

Global engineering education is undergoing transformation under Industry 5.0, requiring rapid digitalization while preserving core competencies such as analytical calculation, material understanding, and critical evaluation. By early 2026, Kazakhstan completed institutional preparation for AI integration within the Concept for the Development of Higher Education and Science (2023-2029) [1-2], including pilot programmes at leading universities in Astana and Almaty.

International experience shows diverse AI integration strategies: MIT (USA) emphasizes computational thinking and ethical AI use in generative design; TUM (Germany) focuses on digital twins and Hands-on Engineering; NTU (Singapore) implements adaptive learning systems monitoring students' cognitive load [4-5].

For Kazakhstan, adaptation must consider a multilingual environment (Kazakh, Russian, English) and collaboration with major industrial enterprises such as Kazatomprom, ERG, and KAZ Minerals.

Aim: Determine theoretical and methodological foundations for ensuring the quality of technical education amid digital transformation and develop practical recommendations to mitigate pedagogical AI risks.

Analyze the development and digital maturity of engineering education in Kazakhstan.

Review international AI practices and assess their suitability for national standards.

Identify cognitive and institutional risks in hybrid education.

Develop a quality assessment model incorporating human-AI interaction.

Test the Engineering Audit methodology and evaluate its effectiveness.

Object of research: Higher technical education in Kazakhstan during digital transformation.

Subject of research: Pedagogical conditions, quality assurance, and risk management

in AI-integrated engineering training.

Scientific novelty: For the first time in Kazakhstan, cognitive outsourcing risks in technical education are classified. The study shifts focus from evaluating design results to assessing the logic of AI interaction, enabling AI as a tool rather than a substitute and supporting process-oriented engineering education.

Technical education in Kazakhstan began with the Kazakh Mining and Metallurgical Institute (1934, now Satbayev University). The Bologna Process (2010) introduced the bachelor-master-PhD system, professional standards, and a National Qualifications Framework. Current efforts address the technological gap via accelerated digital transformation and AI integration [6-8].

Research methods

The national AI-Sana programme has expanded opportunities for accelerating engineering developments, but also revealed hidden pedagogical risks that may affect long-term specialist training.

Systemic pedagogical risks were identified based on: Surveys of instructors and students (n=45 instructors, n=1,250 students); Observations of the educational process and LMS statistics; Expert evaluation by methodologists and leading industry engineers.

Threat level (TL) criteria:

Threat levels are assigned on a 5-point scale:

1 – Minimal risk (rare cases, negligible impact on competencies);

2 – Low risk (localized process issues, limited impact);

3 – Moderate risk (regular errors, potential impact on projects);

4 – High risk (systematic skill reduction, significant number of students affected);

5 – Critical risk (major impact on competencies, safety, or professional readiness of graduates).

Identified risks:

Cognitive outsourcing and intellectual dependency: Students widely use generative AI for coding and strength-of-materials calculations, reducing manual verification skills. TL=5

Digital divide and linguistic isolation: Universities in Almaty and Astana have advanced computing resources; regional institutions face limitations. Most AI tools are optimized for English and Russian, increasing inaccuracies for Kazakh-language students. TL=4

Institutional risks and academic integrity: Traditional course projects lose relevance as AI performs calculations instantly. Without process-based evaluation, graduates may acquire only formal competencies. Teaching staff risk burnout. TL=5

Technogenic risks: Errors generated by AI and unverified by students may propagate to industrial practice (e.g., miscalculations in structural nodes). TL=3

Integrated quality indicator (Quniv):

Traditional university rankings do not account for student interaction with intelligent agents. The integral indicator of technical training quality is calculated as:

$$Q_{univ} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^{n} k_i^{w_i}} = \exp\left(\sum_{i=1}^{n} w_i \ln k_i\right),$$

where:

K1 – Digital convergence index: ratio of disciplines using digital twins and generative design to the total number of specialized subjects, calculated from curriculum analysis.

K2 – Cognitive independence index: inverse indicator of a student's dependence on AI prompts, determined by analyzing digital footprints in the LMS (number of manual checks per AI-generated solution).

K3 – Industrial validity index: percentage of final projects completed based on real cases from Kazakhstani companies (Kazatomprom, ERG, KAZ Minerals) using AI optimization.

wi – weighting coefficients: established by expert assessment, reflecting the relative importance of each indicator (w1+w2+w3 = 1).

The logarithmic function smooths extreme indicator values and provides a more accurate assessment of systemic quality dynamics.

Experimental study

Conducted at universities in Astana and Almaty (2023-2025) with 1,250 participants. Three stages:

Ascertaining (2023): Initial assessment of engineering knowledge and AI literacy; CG (n=600), EG (n=650).

Formative (2024): EG curriculum incorporated the Engineering Audit methodology; CG used traditional CAD methods. Generative models (nTop, Autodesk Generative Design) were used with mandatory manual verification.

Control (2025): Final competency assessment using a complex problem with deliberately flawed data undetectable by AI alone.

Methods:

Student's t-test: Evaluated significance of differences between CG and EG; significance level $p<0.05$, confidence interval 95%.

Learning analytics: Automated tracking of time spent on each design stage and number of post-AI edits.

Expert audit: Blind evaluation of student projects by industry representatives. The results are shown in Table 1.

The sample covers the largest regions (Almaty and Astana), allowing differences in laboratory and industrial access to be considered. Results are representative for the Kazakh technical education system.

Scientific results

The research is based on a longitudinal pedagogical experiment conducted from September 2023 to January 2025 at leading technical universities, with 1,250 senior students in technical disciplines. The study aimed to test the hypothesis that uncontrolled AI use diminishes «engineering intuition», whereas the «critical audit» methodology converts technological capabilities into qualitative growth in professional competencies.

At the initial stage (ascertaining experiment), the baseline level of student interaction with AI systems was measured. The survey results showed the critical importance of technology in the everyday learning process (Table 2).

The survey results in Table 2 highlight the motivational factors for AI use among technical students. These trends are further illustrated in Figure 1, which visually compares the percentage of students engaging with each factor and its assessed impact on learning quality.

The data indicate that students prioritize speed (9.2 points) over critical analysis of explanatory text (5.4 points), reflecting a risk of superficial understanding. In experimental groups (EG), the author's Protocol-based Design method was applied in the courses Machine Parts and Information Systems Design, following this algorithm:

Formulation of technical specifications and obtaining an initial solution from generative AI.

Decomposition of the AI solution into constituent elements.

Manual or classic software (ANSYS, SolidWorks) verification of critical nodes.

In January 2025, a control test involved solving a problem with a paradoxical error in initial data, undetectable by standard AI. Results: CG (84% accepted the erroneous AI solution); EG (62% successfully identified the error, demonstrating critical thinking).

Using the integral quality indicator Quniv: Traditional model: 0.64; Uncontrolled digital model: 0.52 (due to decline in cognitive independence, K2); Hybrid Intelligence model (EG): 0.87.

This demonstrates that technical education quality peaks when AI is integrated as a tool rather than a substitute. The experimental study highlights three dimensions: pedagogical effectiveness, technological safety, and institutional sustainability. EG results showed a 30% improvement in quality indicators after introducing the Engineering Audit methodology.

Compared with MIT and TUM, Kazakhstan followed a path of rapid AI adaptation under the AI-Sana programme, completing the transition in two years. The risk of rapid implementation is a pedagogical lag: 45% of staff perceive AI as a threat to academic integrity.

Two development scenarios emerge:

Inertia: prohibitive measures against AI, detaching universities from Industry 5.0 realities.

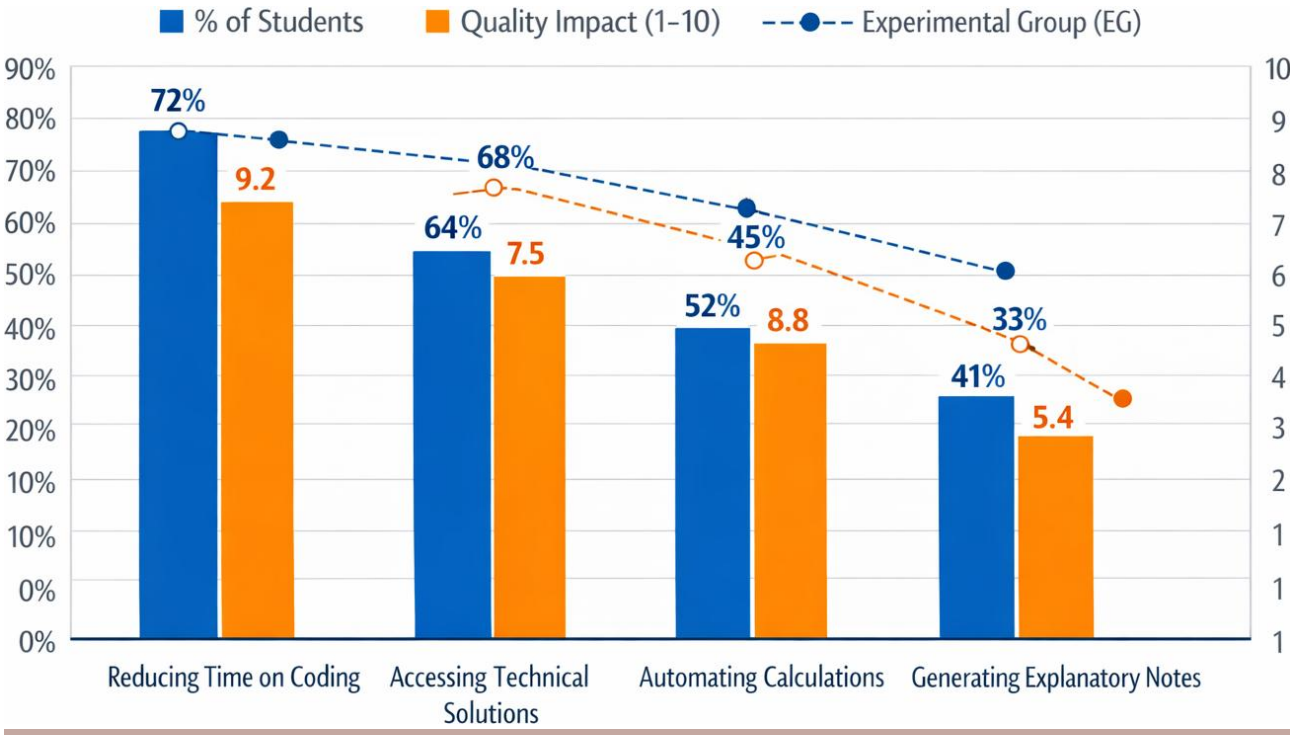
Integrative: «Human-in-the-loop Engineer-

Table 1 – Results of experimental work

Group	Use of AI (hours/week)	Level of critical analysis (points 1-10)	Process physics score
Control (CG)	2,5	8,2	7,9
Experimental (EG)	14,8	6,1 (without audit)	6,4
EG (after audit)	12,0	9,1	8,5

Table 2 – Motivational factors for the use of AI by students of technical universities in Kazakhstan (n=1250)

Utilization factor	Percentage of respondents (%)	Quality impact assessment (1-10)
Reducing time spent on coding	72	9,2
Accessing technical solutions in open databases	64	7,5
Automating engineering calculations and modelling	52	8,8
Generating explanatory notes	41	5,4



Motivational factors for AI use by technical students in Kazakhstan (n=1250), showing both the percentage of students and the quality impact assessment (1-10)

ing» with AI performing 90% of routine calculations, while students focus on system synthesis, safety ethics, and innovation.

In conclusion, technical education in Kazakhstan is undergoing structural transformation. The Hybrid Intelligence model and Engineering Audit methodology allow AI risks to be converted into a competitive advantage in the global Industry 5.0 market.

Conclusion

The study of technical education transformation under digitalization and the AI-Sana programme (2025-2026) leads to the following conclusions:

1. In 2025, technical university quality shifted from resource metrics to technological adaptability, with Quniv reflecting the use of generative AI as an interactive design environment that enhances student engagement.

2. AI accelerates engineering design by 45%, but uncontrolled use without verification diminishes critical thinking in 84% of control-group students, highlighting the risk of superficial learning when AI acts as a substitute rather than a collaborator.

3. Implementation of the Engineering Audit methodology increased error detection to 62%, confirming the need to evaluate decision-making processes rather than only final results and showing that guided AI use enhances both professional competencies and cognitive independence.

4. Developing national language models (KazLLM) for technical content is essential to ensure equal access to high-quality AI resources, preventing language from becoming a learning barrier.

Recommendations:

University administrations: combine AI-generated plagiarism detectors with analysis of digital footprints; create interdisciplinary platforms for testing AI projects on real equipment.

Teaching staff: increase oral defenses and viva voce exams to ensure understanding of AI-generated parameters. Enhance AI literacy among teaching staff: Conduct regular seminars and certification programs on AI usage in education.

Overall, AI can serve as a strategic pedagogical tool, improving efficiency and quality while preserving critical engineering skills when combined with structured verification and process-oriented methods.

REFERENCES

1. Republic of Kazakhstan (2026). Law of the Republic of Kazakhstan "On Education": With amendments and additions as of January 1, 2026. Adilet. https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z070000319_
2. The concept of higher education and science development in the Republic of Kazakhstan for 2023-2029: approved by Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan No. 248 dated March 28, 2023 – Astana, 2023. – (resource). – URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/sci/documents/details/445738?lang=ru
3. Dzhanegizova, A.S., Lan, D., Chulanova, Z.K. Digital transformation of higher education in Kazakhstan: problems and solutions. ISSN: 1563-2415 (Print), ISSN: 2959-0469.https://doi.org/10.51579/1563-2415.2025.-3.18 (In Rus.)
4. UNESCO. Guidance for generative AI in education and research. – Paris: UNESCO, 2023. – 45 p. – URL: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386693
5. OECD. Education and Skills Today: The Impact of Artificial Intelligence on Higher Education / OECD iLibrary. – Paris: OECD Publishing, 2024. – URL: https://www.oecd-ilibrary.org/education
6. Rodríguez-Ortiz, M.Á., Santana-Mancilla P.C., Anido-Rifón, L.E. (2025). Machine learning and generative AI in learning analytics for higher education: A systematic review of models, trends, and challenges Appl. Sci. 15 (15), 8679; https://doi.org/10.3390/app15158679
7. Mollick, E. Co-Intelligence: Living and Working with AI / E. Mollick. – New York: Portfolio/Penguin, 2024. – 240 p.
8. World Economic Forum. The Future of Jobs Report 2025. – Geneva: WEF, 2025. – URL: https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2025

Қазақстанда жасанды интеллект дәуіріндегі техникалық білім сапасын транформациялау: стратегиялар және педагогикалық тәуекелдер

*[1]**АЛДАБЕРГЕНОВА Сауле Салимжановна,** PhD, ББББТ жетекшісі, s.aldabergenova@kazatu.edu.kz, https://orcid.org/0000-0001-6297-7632,*
*[2]**ӘБДІРОВ Әйтжан Мужаметжанович,** п.ғ.д., бірінші проректор, abdyrov@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0002-7051-2509,*
*[3]**АЛШЫНБАЕВА Жулдыз Елдосовна,** PhD, қауымдастырылған профессор, alshynbaevasymbat84@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-1760-843X,*
*[1]**ТАСТАНБЕКОВА Нурсауле Джаксибаевна,** PhD, аға оқытушы, nursaule.84@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5568-8418,*
*[1]**АКИЖАНОВА Асия Анваровна,** магистр, аға оқытушы, assiya_alibaeva@mail.ru, https://orcid.org/0009-0000-8064-5949,*
[1]С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан,
[2]Тұран-Астана университеті, Астана, Қазақстан,
[3]Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті, Қарағанды, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

***Аңдатпа.** Мақала Қазақстандағы жоғары техникалық білім сапасының 2025-2026 жылдарға арналған «AI-Sana» мемлекеттік стратегиясы аясында трансформациясын зерттейді. Зерттеудің өзектілігі цифрландыру қарқыны мен негізгі инженерлік құзыреттер арасындағы алшақтықпен анықталады. Автор әлемдік трендтерді (MIT, NTU, TUM) салыстырып, оларды отандық университеттерде (Астана, Алматы) бейімдеуді қарастырады. «Когнитивті аутсорсинг» және инженерлік интуицияның жойылуы сияқты жүйелік тәуекелдер жіктелген. Білім беру ортасының сапасының интегралдық көрсеткішін есептеу үшін математикалық модель ұсынылған.*

***Кілт сөздер:** жоғары білім, жасанды интеллект, педагогикалық тәуекелдер.*

Трансформация качества технического образования в Казахстане в эпоху искусственного интеллекта: стратегии и педагогические риски

[1]АЛДАБЕРГЕНОВА Сауле Салимжановна, *PhD, руководитель ГОП, s.aldabergenova@kazatu.edu.kz, https://orcid.org/0000-0001-6297-7632,*
[2]АБДЫРОВ Айтжан Мужаметжанович, *д.п.н., первый проректор, abdyrov@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0002-7051-2509,*
[3]АЛШЫНБАЕВА Жулдыз Елдосовна, *PhD, ассоциированный профессор, alshynbaevasymbat84@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-1760-843X,*
[1]ТАСТАНБЕКОВА Нурсауле Джаксибаевна, *PhD, старший преподаватель, nursaule.84@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5568-8418,*
[1]*АКИЖАНОВА Асия Анваровна, *магистр, старший преподаватель, assiya_alibaeva@mail.ru, https://orcid.org/0009-0000-8064-5949,*
[1]Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан,
[2]Университет Туран-Астана, Астана, Казахстан,
[3]Карагандинский национальный исследовательский университет им. академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Статья посвящена трансформации качества высшего технического образования в Казахстане в рамках государственной стратегии «AI-Sana» на 2025-2026 гг. Актуальность исследования обусловлена разрывом между темпами цифровизации и фундаментальными инженерными компетенциями. Автор проводит сравнительный анализ мировых тенденций (MIT, NTU, TUM) и их адаптацию в отечественных университетах (Астана, Алматы). Классифицированы системные риски, включая «когнитивный аутсорсинг» и эрозию инженерной интуиции. Предложена математическая модель расчета интегрального показателя качества образовательной среды.*

Ключевые слова: *высшее образование, искусственный интеллект, педагогические риски.*

REFERENCES

1. Republic of Kazakhstan (2026). Law of the Republic of Kazakhstan "On Education": With amendments and additions as of January 1, 2026. Adilet. https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z070000319_
2. The concept of higher education and science development in the Republic of Kazakhstan for 2023-2029: approved by Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan No. 248 dated March 28, 2023 – Astana, 2023. – (resource). – URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/sci/documents/details/445738?lang=ru
3. Dzhanegizova, A.S., Lan, D., Chulanova, Z.K. Digital transformation of higher education in Kazakhstan: problems and solutions. ISSN: 1563-2415 (Print), ISSN: 2959-0469.https://doi.org/10.51579/1563-2415.2025.-3.18 (In Rus.)
4. UNESCO. Guidance for generative AI in education and research. – Paris: UNESCO, 2023. – 45 p. – URL: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386693
5. OECD. Education and Skills Today: The Impact of Artificial Intelligence on Higher Education / OECD iLibrary. – Paris: OECD Publishing, 2024. – URL: https://www.oecd-ilibrary.org/education
6. Rodríguez-Ortiz, M.Á., Santana-Mancilla P.C., Anido-Rifón, L.E. (2025). Machine learning and generative AI in learning analytics for higher education: A systematic review of models, trends, and challenges Appl. Sci. 15 (15), 8679; https://doi.org/10.3390/app15158679
7. Mollick, E. Co-Intelligence: Living and Working with AI / E. Mollick. – New York: Portfolio/Penguin, 2024. – 240 p.
8. World Economic Forum. The Future of Jobs Report 2025. – Geneva: WEF, 2025. – URL: https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2025

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_302 УДК 338.27

Влияние инвестиций на развитие экономики Казахстана

***ТЕЛАГУСОВА Эльмира Оразбаевна,** к.э.н., и.о. доцента, eltel7@mail.ru,*
***ФАЙЗУЛЛИНА Светлана Айгалиевна,** к.э.н., и.о. доцента, svetlanafai@bk.ru,*
***ИСАЕВА Айнур Турсыналиевна,** к.э.н., и.о. доцента, issaeva_ainur@mail.ru,*
***САПАРБАЕВА Айгуль Максутовна,** магистр, старший преподаватель, ASaparbaeva80@mail.ru,*
Казахский национальный педагогический университет им. Абая, Алматы, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

***Аннотация.** Целью исследования является изучение влияния инвестиций на экономику Казахстана на основе анализе существующих видов инвестиций. Реализация исследования предусматривает анализ различных видов инвестиций в динамике и использования корреляционно-регрессионной статистики для создания модели. Основная гипотеза заключается в определении влияния инвестиций на экономику Казахстана и будущего прогноза развития ВВП с учетом макроэкономических показателей. Авторами были изучены основные макроэкономические параметры, которые включают ВВП, прямые иностранные инвестиции, инвестиции в основной капитал, инвестиции в жилищное строительство, чистый приток прямых инвестиций, а также доходы по прямым инвестициям. Одновременно в исследовании авторами осуществлена работа по оценке существующих инвестиций и моделированию линейного уравнения, которые влияют на экономику Казахстана в виде формирования ее модели.*

***Ключевые слова:** инвестиции, прямые иностранные инвестиции, развитие экономики, инвестиции в основной капитал, ВВП.*

Введение. В настоящее время, вопросы влияния вложений инвестиций, имеющиеся проблемы и ожидаемые последствия от использования их в современных условиях недостаточно освещены в научных трудах.

Целью данной работы является изучение влияния инвестиций на развитие экономики Казахстана. С учетом поставленной цели рассмотрены следующие задачи:

- проведен обзор зарубежной литературы по вопросам инвестиций;
- сформирована модель на основе данных по 70 странам на основе информации theglobaleconomy.com;
- составлены уравнение по оценке развития экономики и его прогноз на основе данных Республики Казахстан;
- даны предложения по развитию экономики Казахстана.

Практическая значимость исследования направлена на изучение инвестиций при формировании стратегии развития страны.

Методы исследования. В рамках данной работы были использованы следующие методы исследования: структурно-функциональный, экономико-статистический и категориальный анализ, доказательно-обоснованный подход: метод сравнительного анализа, материалы экспертного мнения и принятия решений и др.

Основная часть. В своих исследованиях разные авторы раскрыли актуальность данного вопроса для экономики, в частности, отмечается что страны с формирующимся рынком и развивающиеся страны более уязвимы к перемещению ПИИ, чем страны с развитой экономикой, отчасти потому, что они в большей степени зависят от потоков из более геополитически отдаленных стран [1-3].

Инвестиции в любой стране помогают осуществить государственные программы для развития экономических процессов. Однако не все страны активно используют прямые иностранные инвестиции, к таким относятся Россия – 40 млрд долл. США, Нидерланды – 12 млрд долл. США, Швейцария – 11 млрд долл. США, где инвесторы изымали больше своих средств, чем вкладывали [4].

При этом наиболее высокий уровень получения прямых иностранных инвестиций

имеют США – 388 млрд долл. США, Китай – 181 млрд долл. США, Франция – 105 млрд долл. США, Бразилия – 75 млрд долл. США, Австралия – 70 млрд долл. США.

В 2022 году по данному показателю занимает Китай – 7,7 трлн долл. США, США – 5,6 трлн долл. США, Япония – 1,1 трлн долл. США. По данному показателю в 2023 году лидирующее положение занимает Индия – 1,2 трлн долл. США, что составляет 31% от ВВП. Однако страны Германия, Франция направляет на капитальные инвестиции 1,05 трлн долл. США и 0,76 трлн долл. США, соответственно. При этом доля капитальных инвестиции в ВВП занимает 25% и 26%.

Но наибольшую долю капитальных инвестиций имеет Китай – 43%, Турция – 35%, а также Южная Корея – 33%. Лидером по ВВП является США, где объем составлял 25,4 трлн долл. США, Китай с суммой в размере 17,96 трлн долл. США и Япония – 4,3 трлн долл. США, но по этим странам имеется информация лишь по 2022 году. Германия является четвертой страной с объемом ВВП 3,6 трлн долл.

Данная модель, созданная на основе 70 стран мира, позволяет в дальнейшем прогнозировать ВВП на основе инвестиций. Рассматривая инвестиции по Узбекистану, Казахстану и Беларусь, можно отметить, что наиболее высокий уровень среди стран имеет Казахстан в 2022 году – 221,5 млрд долл. США, при этом капитальные инвестиции в 2023 году – 38,37 млрд долл. США (рисунок). Однако капитальные инвестиции в Узбекистане 39,19 млрд долл. США, а ВВП составляет 123,8 млрд долл. США.

Результаты и обсуждения. Учитывая данные источника theglobaleconomy.com, на основе корреляционно-регрессионного анализа в EXCEL осуществили зависимость параметров инвестиций и их влияния на ВВП страны. Результаты зависимости между показателями показаны в таблице 1. Так, между капитальными инвестициями и ВВП связь составляет 95,38%, а прямые иностранные инвестиции имеют слабую связь – 36,86%. Что доказывает, что прямые иностранные инвестиции не сильно способствуют развитию ВВП, так как иностранные инвестиции вкладываются инвесторами для получения прибыли, а не для развития экономики, и они работают только для инвесторов.

Также существует слабая связь между капитальными инвестициями и прямыми иностранными инвестициями лишь 33%.

Эмпирические результаты показывают, что в краткосрочной перспективе существует положительная взаимосвязь между ВВП и государственными инвестициями. Рост ВВП вызывает быстрый рост государственных инвестиций.

В таблице 2 показан множественный R, который составляет 96% и R2 – 92,26%. На основе регрессионной статистики создана модель прогноза развития ВВП, описанная в уравнении.

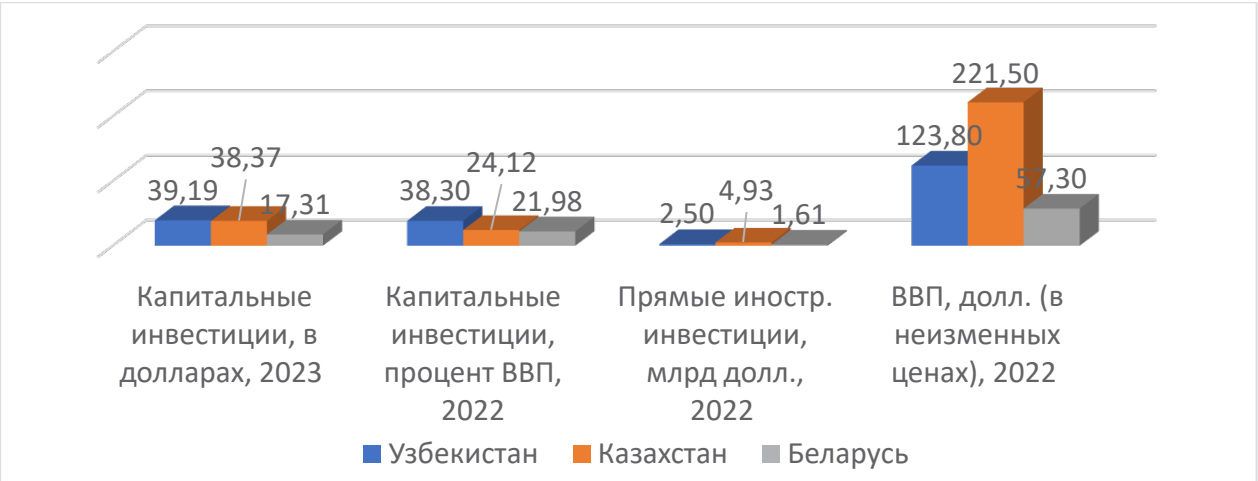
$$y = 356,9122 + 3,1914x1 - \\ -12,226x2 + 0,8799x3, \quad (1)$$

где x_1 – капитальные инвестиции, в долларах, 2023;

x_2 – капитальные инвестиции, процент ВВП, 2022;

x_3 – прямые иностранные инвестиции, млрд долл., 2022.

Данная модель, созданная на основе 70



Инвестиции и ВВП

Примечание: составлено автором на основе источника theglobaleconomy.com [4]

Таблица 1 – Зависимость между показателями

	Капитальные инвестиции, в долларах, 2023	Капитальные инвестиции, процент ВВП, 2022	Прямые иностранные инвестиции, млрд долл., 2022	ВВП, долл. (в неизменных ценах), 2022
Капитальные инвестиции, в долларах, 2023	1			
Капитальные инвестиции, процент ВВП, 2022	0,103558	1		
Прямые иностранные инвестиции, млрд долл., 2022	0,331931	0,017489	1	
ВВП, долл. (в неизменных ценах), 2022	0,953802	-0,00091	0,368653	1

Таблица 2 – Динамика основных показателей инвестиционной деятельности, млрд тенге

Год	Инвестиции в основной капитал*	Инвестиции в жилищное строительство*	Доходы по прямым инвестициям, нетто**	Чистый приток прямых инвестиций в Казахстан**	ВВП (млрд тенге), за период**
2005	2 421	254	-637	262	7 591
2006	2 825	368	-995	792	10 214
2007	3 392	490	-1 378	1 363	12 850
2008	4 211	468	-2 063	1 723	16 053
2009	4 585	311	-1 607	1 953	17 008
2010	4 654	336	-2 607	1 702	21 816
2011	5 010	421	-3 674	2 049	28 243
2012	5 473	428	-3 662	1 989	31 015
2013	6 073	498	-3 372	1 570	35 999
2014	6 591	613	-3 501	1 521	39 676
2015	7 025	740	-1 955	900	40 884
2016	7 762	840	-3 872	2 913	46 971
2017	8 771	1 022	-5 127	1 537	54 379
2018	11 179	1 201	-6 786	1 344	61 820
2019	12 577	1 476	-7 874	1 257	69 533
2020	12 270	1 989	-5 658	1 517	70 714
2021	13 242	2 434	-9 442	1 426	83 952
2022	15 251	2 800	-10 987	3 005	103 766
2023	17 649	3 067	-11 216	1 476	120 561

Примечание составлено на основе источников [5*,6**].

стран мира, позволяет в дальнейшем прогнозировать ВВП на основе инвестиций. При этом в числе этих стран имеется Казахстан.

Однако для корректной оценки ВВП Казахстана используем динамику с 2005 года по 2023 годы по данным Бюро национальной статистики АСПР РК и Национальных банков Республики Казахстан.

Степень точности описания моделью процесса R-квадрат равна 0,9867, что говорит о высокой точности аппроксимации (модель хорошо описывает процесс). Значение свободного члена (Y-пересечение) составляет – 8971,038.

Достоверность по уровню значимости критерия Фишера (Значимость F) значительно меньше 0,05, значит модель значима, где значимость F составляет 5,608122*10-13, что меньше 0,05.

В таблице 3 показана зависимость между ВВП и инвестициями в основной капитал в 99,1%, инвестиции в жилищное строительство 95,7%, а доходы по прямым инвестициями имеют обратно пропорциональную сильную связь – 96,46%. Доходы по прямым инвестициями являются оттоком из страны, поэтому они имеют отрицательный знак.

Для получения прогноза развития ВВП используем полученное в результате корреляционно-регрессионного анализа уравнение, которое выглядит следующим образом:

$$y = -8974{,}038 + 5{,}2895x1 + \\ +5{,}8494x2 - 0{,}9318x3 + 1{,}6151x4, \quad (2)$$

где x_1 – инвестиции в основной капитал;

x_2 – инвестиции в жилищное строительство;

x_3 – доходы по прямым инвестициям, нетто;

x_4 – чистый приток прямых инвестиций в Казахстан.

Прогноз развития ВВП на основе уравнения (2) сделан в таблице 4.

Учитывая ежегодный рост 8% по инвестициям, сделан расчет ВВП. За 3 года ВВП вырастет на 21,1 трлн тенге, при этом инвестиции в основной капитал на 4 трлн тенге.

Между тем «основные риски для инвесторов могут быть связаны с практической реализацией проектов, а именно с выделением земельных участков, обеспечением технических условий и необходимой инженерно-коммуникационной инфраструктуры, доступом к сырью, слабой газификацией в ряде регионов, дефицитом электроэнергии и отсутствием складских помещений» [7].

Заключение

Правительство Казахстана стремится привести свою инвестиционную и экономическую политику в соответствие с лучшей международной практикой и постоянно улучшать инвестиционный климат в Казах-

Таблица 3 – Зависимость между показателями

	Инвестиции в основной капитал*	Инвестиции в жилищное строительство*	Доходы по прямым инвестициям, нетто**	Чистый приток прямых инвестиций в Казахстан**	ВВП (млрд тенге), за период**
Инвестиции в основной капитал*	1				
Инвестиции в жилищное строительство*	0,957464	1			
Доходы по прямым инвестициям, нетто**	-0,96464	-0,939411	1		
Чистый приток прямых инвестиций в Казахстан**	0,274302	0,24331	-0,3448475	1	
ВВП (млрд тенге), за период**	0,991069	0,963288	-0,9677874	0,306143	1

Примечание составлено на основе источников [5*,6**]

Таблица 4 – Прогноз развития ВВП на основе инвестиций, млрд тенге

Год	Инвестиции в основной капитал	Инвестиции в жилищное строительство	Доходы по прямым инвестициям, нетто	Чистый приток прямых инвестиций в Казахстан	ВВП (млрд тенге), за период
2024	19 061	3 313	-12 114	1 594	125 091
2025	20 205	3 511	-12 841	1 689	133 135
2026	21 417	3 722	-13 611	1 791	141 662

стане, чтобы страна могла предложить конкурентоспособные и привлекательные условия для иностранных инвесторов.

Учитывая, что исследование направлено на оценку влияния инвестиций на развитие экономики Казахстана, то в ходе выполнения были получены следующие результаты:

- осуществлен обзор зарубежной литературы по вопросам инвестиций, что позволило понять, что привлеченные инвестиции не всегда влияют на развитие экономики страны;

- модель на основе информации по 70 странам показывает, что использование капитальных инвестиций и прямых иностранных инвестиций дает положительный эффект стране получателю;

- использование данных по инвестициям в основной капитал, инвестициям в жилищное строительство, иностранным инвестициям дает возможность оценить развитие экономики на будущие периоды;

- даны предложения по развитию экономики Казахстана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. JaeBin Ahn, Ashique Habib, Davide Malacrino, Andrea F. Presbitero. Fragmenting Foreign Direct Investment Hits Emerging Economies Hardest. https://www.imf.org/en/Blogs/Articles/2023/04/05/fragmenting-foreign-direct-investment-hits-emerging-economies-hardest
2. Ezo Emako, Seid Nuru, Mesfin Menza.The effect of foreign direct investment on economic growth in developing countries. Transnational Corporations Review Volume 14, Issue 4, December 2022, Pages 382-401. https://doi.org/10.1080/19186444.2022.2146967
3. Peter Enderwick, Peter J. Buckley. The role of springboarding in economic catch-up: A theoretical perspective. Journal of International Management Volume 27, Issue 3, September 2021, 100832. https://doi.org/10.1016/j.intman.2021.100832
4. TheGlobalEconomy. https://ru.theglobaleconomy.com/
5. Stat.kz. https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-invest/
6. National Bank of Kazakhstan. https://www.nationalbank.kz/ru/news/vneshniy-dolg
7. Нурбай Р. Инвестиции в Казахстан: перспективы, тренды и риски на 2024 год. 12 Январь 2024. https://www.inform.kz/ru/investitsii-v-kazahstan-perspektivi-trendi-i-riski-na-2024-god-9c49b6

Инвестицияның Қазақстан экономикасының дамуына әсері

****ТЕЛАГУСОВА Эльмира Оразбайқызы,*** *э.ғ.к., доцент м.а., eltel7@mail.ru,*
ФАЙЗУЛЛИНА Светлана Айгалиевна, *э.ғ.к., доцент м.а., svetlanafai@bk.ru,*
ИСАЕВА Айнұр Тұрсынәліқызы, *э.ғ.к., доцент м.а., issaeva_ainur@mail.ru,*
САПАРБАЕВА Айгүл Мақсұтқызы, *магистр, аға оқытушы, ASaparbaeva80@mail.ru,*
Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан,

**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Зерттеудің мақсаты – Қазақстан экономикасына инвестициялардың әсерін бар инвестиция түрлерінің талдауы негізінде анықтау. Зерттеуді іске асыру инвестициялардың әртүрлі түрлерін динамикада талдауды және модель құру үшін корреляциялық-регрессиялық статистиканы пайдалануды көздейді. Негізгі гипотеза – Қазақстан экономикасына инвестициялардың әсерін және макроэкономикалық көрсеткіштерді ескере отырып, ЖІӨ-нің болашақтағы даму болжамын анықтау. Авторлар ЖІӨ, тікелей шетелдік инвестициялар, негізгі капиталға салынған инвестициялар, тұрғын үй құрылысына салынған инвестициялар, тікелей инвестициялардың таза ағыны, сондай-ақ тікелей инвестициялар бойынша кірістерді қамтитын негізгі макроэкономикалық параметрлерді зерттеді. Сонымен қатар, зерттеу барысында авторлар Қазақстан экономикасына әсер ететін және оның*

моделін қалыптастыруға ықпал ететін қолданыстағы инвестицияларды бағалау және сызықтық теңдеу моделін жасау жұмыстарын жүргізді.

Кілт сөздер: *инвестициялар, тікелей шетелдік инвестициялар, экономиканы дамыту, негізгі капиталға инвестициялар, ЖІӨ.*

The Impact of Investment on the Development of the Economy of Kazakhstan

***TELAGUSSOVA Elmira,** Cand. of Econ. Sc., Acting Associate Professor, eltel7@mail.ru,*
***FAIZULLINA Svetlana,** Cand. of Econ. Sc., Acting Associate Professor, svetlanafai@bk.ru,*
***ISSAEVA Ainur,** Cand. of Econ. Sc., Acting Associate Professor, issaeva_ainur@mail.ru,*
***SAPARBAYEVA Aigul,** Master's Degree, Senior Lecturer, ASaparbaeva80@mail.ru,*
Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan,
**corresponding author.*

***Abstract.** The purpose of this study is to examine the impact of investments on Kazakhstan's economy based on an analysis of existing types of investments. The study involves analyzing various types of investments in dynamics and using correlation-regression statistics to develop a model. The main hypothesis is to determine the impact of investments on Kazakhstan's economy and to forecast future GDP growth, taking into account macroeconomic indicators. The authors studied key macroeconomic parameters, including GDP, foreign direct investments, investments in fixed assets, investments in housing construction, net inflow of direct investments, as well as returns on direct investments. Additionally, the study includes an assessment of existing investments and the modeling of a linear equation that influences Kazakhstan's economy through the formation of its model.*

***Keywords:** investments, foreign direct investment, economic development, investments in fixed assets, GDP.*

REFERENCES

1. JaeBin Ahn, Ashique Habib, Davide Malacrino, Andrea F. Presbitero. Fragmenting Foreign Direct Investment Hits Emerging Economies Hardest. https://www.imf.org/en/Blogs/Articles/2023/04/05/fragmenting-foreign-direct-investment-hits-emerging-economies-hardest
2. Ezo Emako, Seid Nuru, Mesfin Menza. The effect of foreign direct investment on economic growth in developing countries.Transnational Corporations Review, Volume 14, Issue 4, December 2022, Pages 382-401. https://doi.org/10.1080/19186444.2022.2146967
3. Peter Enderwick, Peter J. Buckley. The role of springboarding in economic catch-up: A theoretical perspective. Journal of International Management, Volume 27, Issue 3, September 2021, 100832. https://doi.org/10.1016/j.intman.2021.100832
4. TheGlobalEconomy. https://ru.theglobaleconomy.com/
5. Stat.kz. https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-invest/
6. National Bank of Kazakhstan. https://www.nationalbank.kz/ru/news/vneshniy-dolg
7. Nurbay R. Investitsii v Kazakhstan: perspektivy, trendy i riski na 2024 god. 12 Yanvar' 2024. https://www.inform.kz/ru/investitsii-v-kazahstan-perspektivi-trendi-i-riski-na-2024-god-9c49b6

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_308 ӘОЖ 35.08

Персоналды басқарудағы адамға бағытталған тәсіл: әдеп жөніндегі уәкілдердің рөлі

[1]ӘМІРОВА Әйгерім Қайратқызы, *«Мемлекеттік және жергілікті басқару» бейіні бойынша доктор, ассистент-профессор, A.Amirova@astanait.edu.kz, https://orcid.org/0000-0003-1250-0777,*
[2]*АБДАНБЕКОВ Арман Амангелдіұлы, *докторант, a.a.abdanbekov@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-6801-583X,*
[1]Astana IT University, Астана, Қазақстан,
[2]Қазақстан Республикасы Президенті жанындағы Мемлекеттік басқару академиясы, Астана, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Персоналды басқару жүйесін дамытудың негізгі бағыттарының бірі оның азаматтардың (негізгі игілік алушылар ретінде) және мемлекеттік қызметшілердің (мемлекеттік қызмет жүйесінің негізгі буыны ретінде) пікірлері мен қажеттіліктерін есепке алуға бағытталуы болып табылады. Осы аспектінің өзектілігін ескере отырып, бұл мақаланың мақсаты мемлекеттік аппараттың клиентке бағдарлануы мен сервистілігін арттыру құралы ретінде әдеп жөніндегі уәкілдердің қызметін талдауы болып табылады. Мақалада әдеп жөніндегі уәкілдердің қызметі және олардың мемлекеттік қызметтің ашықтығын арттырудағы рөлінің мәселелері бойынша терең сараптамалық сұхбат нәтижелері келтірілген. Авторлар мемлекеттік қызметшілердің имиджін арттырудағы этикалық қызметкерлердің рөлін арттыру бойынша теориялық негіздерге, қолданыстағы заңнамаға, сондай-ақ үздік әлемдік тәжірибелерге талдау жүргізді. Зерттеу қорытындысы бойынша әдеп жөніндегі уәкіл институтын одан әрі нығайту бойынша тәжірибеге бағдарланған ұсынымдар әзірленді. Бұдан басқа, кадр мәселелерін шешуде және мемлекеттік қызметшілердің өз құқықтары мен міндеттерін орындауында адамға бағдарлануды күшейту бойынша бағдарлар айқындалды. OECD, GRECO және БҰҰ тәжірибесіне сүйене отырып, Этикалық жетілу индексін (ECMI) енгізу, тәуелсіз алдын алу бөлімшелерін құру, мониторингті цифрландыру және қоғамдық бақылауды институционализациялау ұсынылады.*

Кілт сөздер: *адамға бағдарлану, адами ресурстарды басқару, әдеп жөніндегі уәкіл, тұтынушыға бағдарлану, мемлекеттік қызмет.*

Кіріспе

«Қазақстан-2050» стратегиясына сәйкес елді одан әрі дамытудың негізгі мақсаты қоғамға қызмет етудің және мемлекеттілікті нығайтудың жаңа міндеттеріне жауап беретін мемлекеттік басқарудың жаңа түрін қалыптастыру болып табылады [1]. БҰҰ есебіне сәйкес, мемлекеттік қызметтің кәсібилігі адалдық, бейтараптық, ашықтық, парасаттылық, ұқыптылық, тиімділік сияқты жекелеген елдердің мемлекеттік қызметтеріне тән болуы мүмкін құндылықтармен анықталады. Мемлекеттік қызметтегі кәсібилік мемлекеттік қызметшілерді жалпы құндылықтар негізінде тәрбиелеу және олардың ресми міндеттерін кәсіби орындау үшін негізгі дағдыларды меңгеруді көздейді [2].

Алға қойылған міндеттерге қол жеткізу үшін мемлекеттік қызметшілердің кәсіби деңгейін арттырып қана қоймай, халықпен өзара іс-қимылға және азаматтық қоғаммен сындарлы диалог құруға және құрмет, адалдық, ішкі тепе-теңдік сияқты адами қасиеттерді дамытуға қатысты өзге де тәсілдерді қолдану қажет. Біздің ойымызша, мұндай диалогтың құралдарының бірі әдеп жөніндегі уәкіл (бұдан әрі – ӘЖУ) институты болып табылады. Зерттеудің мақсаты ӘЖУ қызметінің тиімділігін арттыру, оның ішінде ӘЖУ мәртебесі мен функционалын қайта қарау арқылы ұсынымдар әзірлеу болып табылады.

Қойылған мақсатқа жету үшін зерттеушілер келесі міндеттерді шешті:

1) ӘЖУ жұмысының егжей-тегжейіне ағымдағы жағдайды, статистикалық деректерді және қолданыстағы заңға тәуелді актілерді талдау;

2) қоғамдық бақылауды қамтамасыз ету,

шешім қабылдау үрдісіне азаматтардың қатысу жөніндегі халықаралық тәжірибені зерделеу;

3) ӘЖУ қызметінің ашықтығы мен тиімділігіне қатысты пікірлерді зерделеу мақсатында сараптамалық сұхбат форматында сауалнама жүргізу.

Осы сын-қатерлерді еңсеру үшін бұл мақала мемлекеттік органдардағы адалдық мәдениетін өлшеудің тұжырымдамалық та, практикалық та құралы ретінде Этикалық мәдениеттің жетілгендік индексін (ECMI) ұсынады. Нәтижелілік көрсеткіштерін, басшылықтың қатысу деңгейінің метрикаларын және азаматтардың сенім өлшемдерін біріктіре отырып, ECMI этиканы қадағалауды жай ғана сәйкестікпен шектемей, оны институционалдық трансформация мен қоғамдық сенімнің қозғаушы күшіне айналдыруды көздейді.

Зерттеу әдістері

Ұсыныстарды әзірлеу мақсатында мемлекеттік органдардың және азаматтық қоғам институттарының (бұдан әрі – АҚИ) өкілдерімен, әдеп жөніндегі уәкілдермен, персоналды басқару қызметтерінің (бұдан әрі – ПБҚ) қызметкерлерімен 11 сараптамалық жартылай құрылымды сұхбат жүргізілді.

Зерттеу барысында келесі әдістер қолданылды:

1) кабинеттік зерттеу;

2) сараптамалық сұхбат – 11 респондент, оның ішінде:

- 1-топ: мемлекеттік қызмет саласындағы саясатты әзірлеуге қатысатын 3 мемлекеттік қызметші, оның ішінде ҚР Президенті Әкімшілігінің 1 қызметкері және ҚР Мемлекеттік қызмет істері агенттігінің 2 қызметкері;

- 2-топ: 2 ӘЖУ, оның ішінде Шығыс Қазақстан облысы әкімінің аппараты, Батыс Қазақстан облысы әкімінің аппараты;

- 3-топ: АҚИ 3 өкілі;

- 4-топ: 3 ПБҚ қызметкері, оның ішінде Сенат Аппараты, ҚР Сауда және интеграция министрлігі, Маңғыстау облысы әкімінің аппараты.

Жартылай құрылымдалған сұхбаттарға қосымша ретінде 2024 жылға арналған этика жөніндегі уәкілдердің қызметі бойынша жиынтық статистикалық деректерге сипаттамалық талдау жүргізілді. Деректер жиыны консультациялық жұмысты, алдын алу іс-шараларын, медиа-мониторингті, өтініштерді және тәртіптік практиканы қамтиды. Дереккөз ретінде 2024 жылға арналған Мемлекеттік қызмет істері агенттігінің қорытынды талдамалық есебі пайдаланылды.

Этикалық мәдениеттің жетілгендік индексі (ECMI) арқылы дәлелдерге негізделген қадағалау: этикалық мәдениетті бағалау және мекемелердің есеп берушілігін қамтамасыз етуге арналған бес өлшемді шеңбер.

Ғылыми нәтижелер

Персоналды басқарудағы адамға бағытталған тәсілдің теориялық негізі

Адамға бағытталған немесе клиентке бағытталған тәсіл қазіргі заманғы мемлекеттік қызметті дамытудың әлеуетті бағыттарын зерделеудің негізгі аспектілерінің бірі болып табылады. Мақала аясында берілген тақырыптың екі негізгі аспектісі қарастырылды: персоналды басқару жүйесіндегі адамға бағытталу және мемлекеттік қызмет жүйесіндегі адамға бағытталуды жүзеге асырудағы ӘЖУ рөлі.

Осылайша, П. Кёниг, Ш. Нэо, С. Гриммеликхусен, Л. Туммерс сияқты зерттеушілер мемлекеттік саясатты жүзеге асыруда азаматтардың пікірін ескерудің және олардың қажеттіліктерін талдаудың маңыздылығын, сондай-ақ оның этикалық құрамдас бөлігін шетелдік тәжірибелер призмасында зерттеді [3-4]. Атап айтқанда, П. Кёниг (2021) «ақылды қала» тұжырымдамасының мысалында этикалық мәселелер мен азаматтардың пікірін ескерудің арасындағы тығыз байланысты айқындады. Оның зерттеуінде байқалған басты қағидат – атқарушы билік органдары шешім қабылдаған кезде халықтың мүдделерін бірінші орынға қою қажет [3].

Ш. Нэо, С. Гриммеликхусен және Л. Туммерс (2023) ғылыми еңбегінде азаматтар мемлекеттік қызметшілер ұстануы керек деп санайтын (Азаматтар нені қалайды? Азаматтардың пікірінше, мемлекеттік қызметшілер өздерін қалай ұстаулары керек?) құндылықтар туралы мәселенің жауабы айқындалды [4]. Америка Құрама Штаттары, Нидерланды және Оңтүстік Корея азаматтарының өкілдік үлгілерінен алынған сапалы деректерді талдау негізінде авторлар үш негізгі әмбебап құндылықтарды анықтады. Атап айтқанда, мемлекеттік қызметшілердің жұмысқа қабілеттілігі, жауаптылығы мен адалдығы. Жасына, жынысына және білім деңгейіне байланысты бұл құндылықтар әртүрлі елдерге ортақ болып келеді. Сонымен бірге, мемлекеттік басқарудың ұзақ дәстүрлерінің ықпалына байланысты жекелеген құндылықтар басқаларға қарағанда маңызды. Алайда, тұтастай алғанда, бұл жұмыс азаматтардың мемлекеттік қызметшілерден не күтетінін ойлауға және қайта қарастыруға мүмкіндік береді.

Жүргізілген әдеби шолудың нәтижелері персоналды басқару жүйесіндегі адамға бағдарлануды күшейту және ӘЖУ жұмысының тиімділігін арттыру бойынша көтерілетін мәселелердің жоғары өзектілігін көрсетеді.

Соңғы жылдары мемлекеттік қызметшілердің, оның ішінде азаматтармен өзара іс-қимыл барысында әдеп нормаларын бұзғаны үшін жауапкершілігін күшейтуге

бағытталған институционалдық шаралар жеделдетілді. Этика жөніндегі уәкіл (ӘЖУ) институты 2015 жылы қызметтік этиканы сақтау, сыбайлас жемқорлыққа қарсы қағидаттарды ілгерілету және бұзушылықтардың алдын алу мақсатында құрылды. Институтты жетілдіру шеңберінде ӘЖУ-дің дербестігі мемлекеттік органның бірінші басшысына тікелей бағыну арқылы нығайтылды. Әдеп кодексінің жаңартылған редакциясы мемлекеттік қызмет қағидаттары мен стандарттарын өзектендірді. Дербес ӘЖУ лауазымы жоқ органдарда аталған функциялар беделі жоғары, басқарушылық өкілеті бар қызметшіге жүктеледі.

Осы зерттеу ӘЖУ мен жалпы мемлекеттік аппарат жұмысының тиімділігін бағалауға бағытталды және сапалық әдіснаманы қолданды. Орталық және өңірлік деңгейлерді қамти отырып, іріктеу критерийлері бойынша анықталған 11 сарапшымен жартылай құрылымдалған сұхбат жүргізілді. Іріктеу логикасы: персоналды басқару қызметі (ПБҚ) үшін – HR тәжірибесі; азаматтық қоғам институттары (ҮЕҰ) үшін – ӘЖУ-мен өзара іс-қимыл тәжірибесі; ӘЖУ үшін – уәкіл ретінде жұмыс стажы; мемлекеттік қызмет саясатын әзірлейтін сарапшылар үшін – салалық құзырет. Сұхбат хаттамалары кәсіби бағдар бойынша блоктарға бөлініп, стейкхолдерлердің көзқарастарын кадрларды іріктеу, қызмет тиімділігі және азаматтық қоғам ықпалы мәселелерінде салыстыруға мүмкіндік берді.

Талдаудың негізгі фокусы – ӘЖУ-дің қоғам алдындағы есептілігі және азаматтық қоғаммен өзара іс-қимыл тетіктері. Нормативтік деңгейде ӘЖУ функцияларының бірі ретінде ҮЕҰ-мен жұмыс белгіленгенімен, бұл өзара әрекеттестік операционализациясының нақты моделі айқын емес. Қолданыстағы есеп нысаны бірқатар индикаторларды қамтиды; респонденттердің 53%-ы олар ӘЖУ қызметін жеткілікті сипаттайды деп санайды. Алайда ашықтық пен динамиканы бақылауды күшейту үшін есептерді «Е-қызмет» ақпараттық жүйесі арқылы ұсыну және тек сандық мәндермен шектелмей, орындалған жұмыстарды түсіндірме жазбамен сүйемелдеу ұсынылды. ПБҚ өкілдерінің 30%-ы қоғаммен өзара іс-қимылға арналған жеке индикатор енгізуді құптайды.

Азаматтық қоғамның ӘЖУ қызметіне ықпалы туралы сұраққа респонденттердің 50%-ы нақты тетіктердің жоқтығынан ықпалдың шектеулі екенін атап өтті. Мүмкін шешім ретінде ӘЖУ-дің қоғам алдындағы есептік кездесулерін өткізу ұсынылды. Дегенмен қатысушылардың үштен бірі рәсімдік сипат алып, нәтижесіз қалу қаупін көрсетті; тағы бір бөлігі ӘЖУ-дің Агенттік жанындағы, құрамында ҮЕҰ өкілдері бар Әдеп кеңестеріне және ашық аппараттық кеңестерге есеп беретініне сүйеніп, қайталауды орынсыз деп санады. Қалғаны сенім капиталын өсіруге әлеует барын мойындайды, бірақ жалпы сенім деңгейі төмен болса, қатысу белсенділігі де шектелуі мүмкін. Саясаттық салдарлар:

1) ӘЖУ мәртебесін күшейту (бірінші басшыға тікелей бағыну) есептік кездесулердің проблемаларды шешудегі әсерін арттырады және азаматтардың қатысу ынтасын көтереді;

2) институционалдық коммуникацияны кеңейту – байланыс деректері, құзырет аясы және тұрақты кері байланыс арналары көрсетілген ақпараттық парақшаларды жүйелі тарату;

3) кадрлық іріктеуде кәсіби құзыреттермен қатар этикалық-психологиялық қасиеттерді (бейтараптық, әділдік, эмпатия, тыңдай білу, шешендік) ескеру. Мұндай кешенді тәсіл ӘЖУ имиджін күшейтіп, азаматтармен мазмұнды өзара іс-қимыл арқылы мемлекеттік аппаратқа қоғамдық сенімді арттыруға мүмкіндік береді.

Негізгі сандық нәтижелер

Мемлекеттік қызмет істері агенттігінің есебіне сәйкес консультациялық көмек 28856 рет көрсетілді, оның ішінде азаматтарға – 7769 (26,9%), мемлекеттік қызметшілерге – 21287 (73,1%) [5]. Бұл этика жөніндегі уәкілдер қызметінің негізгі бенефициарлары мемлекеттік қызметкерлер болып қала беретінін, сонымен бірге айтарлықтай «сыртқы» сұраныс бар екенін растайды.

2016-2024 жылдары этиканы бұзғаны үшін тәртіптік жауапкершілікке тарту саны 758-ден 222-ге дейін азайды (-70,7%), 2023-2024 жылдары 275-тен 222-ге дейін төмендеді (-19,3%). 2024 жылы орталық мемлекеттік органдардың үлесі 86 жағдайды (38,7%), жергілікті органдар – 136 жағдайды (61,3%) құрады. Бұл тұрақты төмендеу үрдісін және жүктеменің жергілікті деңгейде жоғары екенін көрсетеді [5].

Мемлекеттік қызметшілердің құқықтарын қорғауға қатысты өтініштер бойынша: 672 өтініш түсті, оның 201-інде құқықтар қалпына келтірілді (құқықтарды қалпына келтіру коэффициенті – 29,9%). Бұл көрсеткіш әрекет етудің «әділеттілігі» мен нәтижелілігін сипаттайды.

Қызметтік этиканы сақтау бойынша: 1089 хабарлама қаралды, олардың 145-і расталды (13,3%). Расталудың төмен үлесі профилактикалық әсерді де, дәлелдеме базасының жеткіліксіздігін де білдіруі мүмкін – себептерін тұрақты талдауды талап етеді.

Профилактика және ағарту: 32090 түсіндіру іс-шарасы өткізілді; «профилактикалық іс-шаралар немесе расталған тәртіптік жазалар» қатынасы 2024 жылы 145:1, бұл про-

филактиканың ауқымын көрсетеді.

Ұжымдармен кері байланыс: анонимді сауалнамаға 125264 қызметкер қатысты; қорытындысы бойынша 2168 түзету шарасы қабылданды (әр 1000 қатысушыға 17,3 шара), бұл сауалнамалардың рәсімдік емес, басқарушылық мақсатта пайдаланылатынын дәлелдейді.

Қоғаммен коммуникация: 15147 материал жарияланды (баспасөз – 2480, интернет – 10006, ТВ/радио – 2661), 41 «Ашық есік күні» өткізілді. Бұл ашықтық пен қызметтің «көрінімділігін» арттыруға қосқан үлес.

Этикалық мәдениеттің жетілгендік индексі

Есеп берушілікті арттыру үшін ұлттық деңгейде Этикалық мәдениеттің жетілгендік индексі (ECMI) пилот ретінде енгізілуі тиіс. Ұсынылған ECMI бес негізгі көрсеткішті біріктіреді:

1) этикалық нормалар туралы қызметкерлердің хабардарлығы (сауалнамалар арқылы өлшенеді);

2) этикалық бұзушылықтардың жиілік көрсеткіші;

3) этика жөніндегі уәкілдердің қоғам сенімі мен қолжетімділігі рейтингтері;

4) этиканы ілгерілетуге басшылықтың қатысуы;

5) жыл сайын іске асырылатын алдын алу және ағартушылық бастамалар.

ECMI бес метриканы біріктіреді: қызметкерлердің хабардарлығы, бұзушылықтар жиілігі, этика жөніндегі уәкілдерге деген сенім, басшылықтың қатысуы және алдын алу шаралары. Ол министрліктер мен өңірлер үшін стандартталған бағалау құралы бола алады. Бұл халықаралық тәжірибеге сай келеді және уақыт өте келе органдар арасындағы салыстырмалы бағалауды (бенчмар-

Адамға бағытталған метрикалары және мақсаттар бойынша басқару

Көрсеткіш	Нені өлшейді	Формула	Дереккөз және мерзімділігі	Бағыты
Азаматтарға көрсетілген консультациялық көмектің үлесі	Сыртқы бенефициарлар үшін этика жөніндегі уәкілдердің қолжетімділігі	(Азаматтарға көрсетілген консультациялар саны / Барлық консультациялар саны) × 100	Консультациялар журналдары, тоқсан сайын	жоғары – жақсырақ
Қызметкерлерді консультациялармен қамту	Ішкі қолдаудың ауқымы	(Мемлекеттік қызметшілерге көрсетілген консультациялар саны / Орташа тізімдік саны) × 100	Е-Қызмет/HR, тоқсан сайын	жоғары – жақсырақ
Құқықтарды қалпына келтіру коэффициенті	Әділеттілік пен нәтижелілік	(Қалпына келтірілген құқықтар саны / Құқықтардың бұзылуы туралы өтініштер саны) × 100	Өтініштер тізілімі, тоқсан сайын	жоғары – жақсырақ
Расталған бұзушылықтардың үлесі	Бастапқы іріктеу, алдын алу сапасы	(Расталған бұзушылықтар саны / Барлық хабарламалар саны) × 100	Тексерулер журналы, тоқсан сайын	төмен – жақсырақ
Алдын алу қарқындылығы	Ағартудың жүйелілігі	(Алдын алу іс-шаралары / Тәртіптік жазалар)	Этика жөніндегі уәкілдің жоспары / тәртіп, тоқсан сайын	жоғары – жақсырақ
Әрекеттермен сүйемелденген сауалнамаларды іске асыру	Кері байланыстың басқарылуы	(Қабылданған шаралар / Сауалнамаға қатысушылар) × 1 000	Сауалнамалар / жоспарлар, жартыжылдық	жоғары – жақсырақ
Өзара іс-қимылдың ашықтығы	Ашықтық пен сенім	«Ашық есік күндері» (бір өңірге шаққанда, тоқсанына)	Этика жөніндегі уәкілдің жоспары, тоқсан	≥1
Этикалық жетілгендік индексі	«Этика мәдениеті» құрама индексі	5 субиндекстің салмақталған қосындысы	Кешенді түрде, жартыжылдық	жоғары – жақсырақ



Этикалық мәдениеттің жетілгендік индексінің (ECMI) тұжырымдамалық шеңбері

кинг) жүргізуге мүмкіндік береді.

Қорытынды

Осы зерттеу ӘЖУ институтының әлеуетін толық ашу үшін институционалдық және әдістемелік жаңғыртуды талап етеді. Қорытынды ұсынымдар: 2026 жылдың I тоқсанында ECMI әдістемесін, деректер метрикасын және валидация рәсімдерін бекіту; бірнеше министрлік пен өңірде пилот өткізу және мақсатты KPI-ларды белгілеу; «E-қызмет» негізінде деректер дашбордын іске қосып, ашық есептілікті қамтамасыз ету; ӘЖУ есеп нысанына түсіндірме жазбаны енгізіп, тұрақты қоғамдық тыңдаулар өткізу; құзыреттер моделін бекітіп, 40 сағаттық даярлық циклын енгізу; қоғамдық бақылаудың құқықтық шекараларын нақтылау. Бұл шаралар адамға бағытталған басқару мәдениетін күшейтіп, ашықтық пен сенімді арттырады, сондай-ақ министрліктер мен өңірлер арасында салыстырмалы бағалауды қамтамасыз ететін стандартталған мониторингті орнықтырады. Болашақ зерттеулер ECMI бойынша базалық шамаларды кеңейтіп, себепті байланыстарды эмпирикалық тексеруі тиіс.

Қаржыландыру көзі

Бұл мақала Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетімен қаржыланып отыр (ЖТН BR24993258).

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. «Қазақстан-2050» Стратегиясы қалыптасқан мемлекеттің жаңа саяси бағыты. Қазақстан Республикасының Президенті – елбасы Н.Ә. Назарбаевтың Қазақстан халқына жолдауы, Астана қ., 2012 жылғы 14 желтоқсан // https://adilet.zan.kz/kaz/docs/K1200002050
2. United Nations Department of Economic and Social Affairs Division for Public Economics and Public Administration. Professionalism and Ethics in the Public Service: Issues and Practices in Selected Regions. New York: UN, 2000, 16 p. // https://digitallibrary.un.org/record/416458
3. König P.D. Citizen-centered data governance in the smart city: From ethics to accountability // Sustainable

Cities and Society. – 2021. – № 75. // https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103308
4. Neo Sh., Grimmelikhuijsen S., Tummers L. Core values for ideal civil servants: Service-oriented, responsive and dedicate // Public administration review. – 2023. – № 83 (4). – Pp. 838-862. // https://doi.org/10.1111/puar.13583
5. Национальный доклад о состоянии государственной службы в Республике Казахстан. [Электронный ресурс]. https://www.gov.kz/memleket/entities/qyzmet/documents/details/825723?lang=ru&ysclid=mfi5qj4zp8651968964

Человекоцентричный подход в управлении персоналом: роль уполномоченных по этике

[1]АМИРОВА Айгерим Кайратовна, *ассистент-профессор, доктор по профилю «Государственное и местное управление», A.Amirova@astanait.edu.kz, https://orcid.org/0000-0003-1250-0777,*
[2]*АБДАНБЕКОВ Арман Амангельдыевич, *докторант, a.a.abdanbekov@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-6801-583X,*
[1]Astana IT University, Астана, Казахстан,
[2]Академия государственного управления при Президенте Республики Казахстан, Астана, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Одним из ключевых направлений развития системы управления персоналом является ее направленность на учет мнения и потребностей граждан (как основных благополучателей) и государственных служащих (как ключевое звено системы государственной службы). Учитывая актуальность данного аспекта, целью данной статьи является анализ деятельности уполномоченных по этике как инструмента повышения клиентоориентированности и сервисности государственного аппарата. В статье приводятся результаты глубинного экспертного интервью по вопросам деятельности уполномоченных по этике и их роли в повышении прозрачности государственной службы. Авторами проведен анализ теоретических основ, действующего законодательства, а также лучших мировых практик по повышению роли этических работников в повышении имиджа государственных служащих. По итогам исследования выработаны практикоориентированные рекомендации по дальнейшему укреплению института уполномоченного по этике. Помимо этого, определены ориентиры по усилению человекоцентричности в решении кадровых вопросов и при исполнении государственными служащими своих прав и обязанностей. На основе практик ОЭСР, GRECO и ООН предлагается внедрение Индекса этического совершенствования (ECMI) для оценки эффективности работы уполномоченных, создание независимых подразделений по профилактике нарушений, цифровизация мониторинга и институционализация общественного контроля.*

Ключевые слова: *человекоцентричность, управление человеческими ресурсами, уполномоченный по этике, клиентоориентированность, государственная служба.*

Human-centered Approach in Personnel Management: The Role of Ethics Officers

[1]AMIROVA Aigerim, *Assistant Professor, Doctor in Profile of Public Administration, A.Amirova@astanait.edu.kz, https://orcid.org/0000-0003-1250-0777,*
[2]*ABDANBEKOV Arman, *Doctoral Student, a.a.abdanbekov@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-6801-583X,*
[1]Astana IT University, Astana, Kazakhstan,
[2]Academy of Public Administration under the President of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *One of the key directions in the development of the personnel management system is its focus on taking into account the opinions and needs of citizens (as the main beneficiaries) and civil servants (as a key element of the civil service system). Taking into account the relevance of this aspect, the aim of this article is to analyse the activities of ethics commissioners as a tool for increasing the customer orientation and serviceability of the state apparatus. The article presents the results of an in-depth expert interview on the activities of ethics commissioners and their role in increasing the transparency of the civil service. The authors analyzed the theoretical foundations, current legislation, as well as the best international practices to enhance the role of ethical employees in improving the image of civil servants. Based on the results of the study, practice-oriented recommendations were developed to further strengthen the institution of the Ethics Commissioner. In addition, guidelines have been identified to strengthen human-centricity in addressing personnel issues and in the performance of their rights and duties by civil servants. Drawing on OECD, GRECO, and UN best practices, the authors propose a multi-dimensional Ethical Culture Maturity Index (ECMI) to evaluate ethics performance and recommend institutional reforms, including independent ethics oversight units, digital monitoring tools, and structured citizen engagement mechanisms.*

Keywords: *human-centricity, human resource management, ethics officers, customer focus, civil service.*

REFERENCES

1. «Qazaqstan-2050» Strategiasy qalyptasqan memlekettıñ jaña saiasi bağyty. Qazaqstan Respublikasynyñ Prezidentı – elbasy N.Ä. Nazarbaevtyñ Qazaqstan halqyna joldauy, Astana q., 2012 jylğy 14 jeltoqsan // https://adilet.zan.kz/kaz/docs/K1200002050 [In Kazakh].
2. United Nations Department of Economic and Social Affairs Division for Public Economics and Public Administration. Professionalism and Ethics in the Public Service: Issues and Practices in Selected Regions. New York: UN, 2000, 16 p. // https://digitallibrary.un.org/record/416458 [In English].
3. König P.D. Citizen-centered data governance in the smart city: From ethics to accountability // Sustainable Cities and Society. – 2021. – № 75. // https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103308 [In English].
4. Neo Sh., Grimmelikhuijsen S., Tummers L. Core values for ideal civil servants: Service-oriented, responsive and dedicate // Public administration review. – 2023. – № 83 (4). – Pp. 838-862. // https://doi.org/10.1111/puar.13583 [In English].
5. Natsionalnyy doklad o sostoyanii gosudarstvennoy sluzhby v Respublike Kazakhstan. [National report on the state of civil service in the Republic of Kazakhstan] https://www.gov.kz/memleket/entities/qyzmet/documents/details/825723?lang=ru&ysclid=mfi5qj4zp8651968964.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_315 ӘОЖ 314.143

Демографиялық үдерістерді мемлекеттік реттеудің әдістері мен қағидалары

[1]АУЕЗОВА Карлыгаш Танатаровна, *т.ғ.к., доцент м.а., karlygash.auezova@mail.ru,*
[2]АУЕЗОВА Зауре Танатаровна, *г.ғ.к., профессор, zaure58@mail.ru,*
[1]БҰЛАҚБАЙ Жанат Мұканбетжанқызы, *э.ғ.к., доцент м.а., zhanatbulakbay@gmail.com,*
[1]КОДАШЕВА Гаухар Смагиловна, *PhD, доцент м.а., kodasheva@mail.ru,*
[3]*ТАЖИБЕКОВА Кашамида Базылбековна, *э.ғ.к., қауымдастырылған профессор, kashamida@mail.ru,*
[1]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,
[2]Esil University, Астана, Қазақстан,
[3]«Қазақстан Республикасы Президентінің жанындағы мемлекеттік басқару академиясы» РМҚК Ұлытау облысы бойынша филиалы, Жезқазған, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Қазіргі таңда халықтың демографиялық жағдайын реттеуде мемлекеттің алатын орны ерекше. Жалпы халықтың демографиялық жағдайы мен өмір сүру сапасын бағалау мемлекеттің алдында тұрған әлеуметтік-экономикалық саясаттың ең маңызды мәселесі болып табылады. Мақалада Алматы облысы халқының демографиялық жағдайына зерттеу және талдау әдістері қолданылды. Зерттеу еліміздің өңірлерінде, сонымен қатар Алматы облысындағы халықтың әлеуметтік экономикалық жағдайын және қазіргі жай-күйінің өңірлік мәселерін шешуге мүмкіндік береді. Қазіргі нарықтық экономика жағдайында халықтың демографиялық жағдайын мемлекеттік реттеуде еліміздің әртүрлі өңірлерінде әр түрлі жағдайда екендігін және статистикалық көрсеткіштерге сүйенсек өндіріс орындары шоғырланған аудандарда халықтың әлеуметтік экономикалық жағдайы өнеркәсіптік облыстардан біршама төмен екендігін байқауға болады. Сонымен қатар, еліміз бойынша және Алматы облысы өңіріндегі халықтың табиғи өсімі, өлім-жітімі, некелесу мен ажырасу, көші қон және АДИ көрсеткіштерін бағалау мақсатында көрсеткіштерге талдау және қажетті ұсыныстар жасалған.*

Кілт сөздер: *халық, демография, демографиялық үдеріс, мемлекеттік реттеу, мемлекеттік реттеу әдістері, мемлекеттік басқару әдістері, табиғи өсім, туу, өлім-жітім, көші қон, әлеуметтік экономикалық жағдай, нарықтық экономика, адамның даму индексі.*

Кіріспе

Ғылыми зерттеу жұмысы қазіргі кездегі демографиялық үдерістерді мемлекеттік реттеудің маңыздылығымен анықталады, ол мемлекет жүргізіп отырған жалпы саясаттың қажетті және басты компоненті болып табылады. Елдің бүкіл келбеті тұрғындардың демографиялық, сонымен қатар әлеуметтік және экономикалық көрсеткіштерінің даму деңгейіне байланысты. Халық санының көбеюі елдің әлеуметтік жақсару деңгейін және болашаққа деген сенімін нығайтады. Сондықтан, демографияны көтеру мәселелері әрдайым өзектілігі маңызды әрі жоғары болып табылады.

Алматы облысындағы тұрғындардың демографиялық жағдайы мен демографиялық өсу ахуалын кешенді негізде зерттеу, Алматы облысындағы қазіргі демографиялық үдерістерді мемлекеттік реттеудің қалыптасқан жағдайы, сондай-ақ демографиялық үдерістердің айырықша өзгешеліктері мен демографиялық мәселелерді қарастыру және шешімдерін анықтау.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Елдегі демографиялық үдерістерді зерттеумен шұғылданған ғалымдардың негізгі зерттеген жұмыстары және еңбектері кіреді. Зерттеу барысында статистикалық және аналитикалық әдістері қолданылды. Ол Қазақстан Республикасының Ұлттық экономика министрлігі Статистика комитетінің мәліметтері негізінде жүзеге асырылды.

Зерттеудің практикалық маңыздылығы– әр елдің басты байлығы – оның халқы. Сол себепті де халықтың демографиялық ахуалын анықтау, зерттеу және мониторинг жүргізу сияқты мәселелерге әрдайым аса назар

аударады. Осы зерттеу негізінде аймақтың демографиялық негізгі проблемаларын көру арқылы, берілген ұсыныстарды одан әрі жетілдіріп, демографиялық тұрақтылық пен өсімге алып келетін нақты бағдарламалар мен шешімдер қабылдануы мүмкін.

Демография (грекше demos – халық, grapho – жазу) – халық санын, аумақтың орналасуы мен құрамын, олардың өзгеруін, осы өзгерістердің себептері мен салдарларын, әлеуметтік және экономикалық ахуалы мен халықтың өзгерістерінің өзара байланысын зерттейтін ғылым.

Нәтижелер және оларды талқылау

Мемлекеттік басқару әдістері – бұл адамға немесе адамдар тобына негізделген шараларды іске асырудың әдістері немесе құралдары. Демографиялық үдерістерді мемлекеттік реттеу әдістерінің жиынтығы жеке адамдар арасындағы, отбасындағы, қоғамның құрылымдық бірліктерінде және қоғамның әлеуметтік-психологиялық, экономикалық, діни, этикалық және басқа да қатынастардың бүкіл жүйесін қамтиды.

Әдістер бір-бірімен тығыз байланысты. Бір әдісті қолдану кезінде оған екінші, үшінші әдістердің қатысы болады. Мысалы, заңнамалық әдіс пен әлеуметтік-психологиялық әдістерді қолданысқа енгізерде, ол экономикалық шығындарды талап етеді. Ал, әлеуметтік-психологиялық және экономикалық әдістерді енгізу кезінде, міндетті түрде басқару элементтері болады.

Бірінші әдіс, заңнамалық немесе әкімшілік-құқықтық әдіс. Әкімшілік әдістерге:

- некеге тұру жасының белгіленуі, түсік жасатуға, ана мен баланы қорғауға, ата-анасы ажырасқан кезде ана мен баланың мүліктік құқықтарын, балалардың отбасылық жағдайын, жас отбасылар мен көпбалалы және аз қамтылған отбасыларға берілетін жеңілдіктерді реттейтін нормативтік-құқықтық және заңнамалық актілер және т.б.;
- насихаттау және тәрбиелеу әдістері;
- демографиялық мінез-құқық нормалары мен стандарттарын, қоғамдық пікірді қалыптастыру;
- тууды жоспарлар саясаты;
- жас ұрпақты жыныстық тәрбиелеу.

Әкімшілік-құқықтық әдіс халыққа тікелей әсер ету арқылы жүзеге асырылады және оларды орындау міндетті болып табылады [5].

Екінші әдіс, экономикалық әдіс. Экономикалық әдіс халықтың экономикалық мүдделеріне мақсатты әсер етуімен сипатталады. Олар ынталандырушы, жанама сипатқа ие. Экономикалық әдістер арқылы тууды ынталандыру негізінде мемлекеттің қалаулы өсімін қалыптастыруға әсер етудің негізгі жағдайы болып саналады.

Үшінші әдіс, әлеуметтік-психологиялық немесе идеологиялық әдіс.

Бұл әдістер демографиялық үдерістерді қоғамда қалыптасқан құқықтық, саяси, діни, философиялық, этикалық көзқарастармен қарастырылған бағытқа қарай бағыттауға мүмкіндік береді [7]. Бірақ, әлеуметтік-психологиялық әдістер демографиялық үдерістерге жанама әсер еткендіктен, олардың әсер ету деңгейі мен тиімділігін бағалау қиын болып табылады. Қазіргі қоғамда репродуктивті қарым-қатынастың осылай өзгеруіне әкелетін мотивтерге бірінші кезекте, отбасы құндылығынан, адамның жеке өмірі, оның престижді жұмысының алда болуы. Демог-



1-сурет – Демографиялық үдерістерді мемлекеттік реттеудің әдістері

рафиялық үдерістерді мемлекеттік реттеу қағидалары (2-сурет) негізінде мемлекет саясатының сипаттамасы демографиялық үдерістердің бағыты мен ағымына және демографиялық даму мақсаттарына байланысты болып келеді.

Демографиялық үдерістерді мемлекеттік реттеу қағидалары халық дамуының негізгі бағыттары және әлеуметтік-экономикалық жағдайларының барлығын назарға алуға негізделген неғұрлым өзекті мәселелерді шешуде мемлекеттік бағдарламаларды орындау және жүзеге асыру жатады.

Біз халықтың табиғи өсімін анықтауды Алматы облысының аумағы көлемінде зерттеулер жүргіздік.

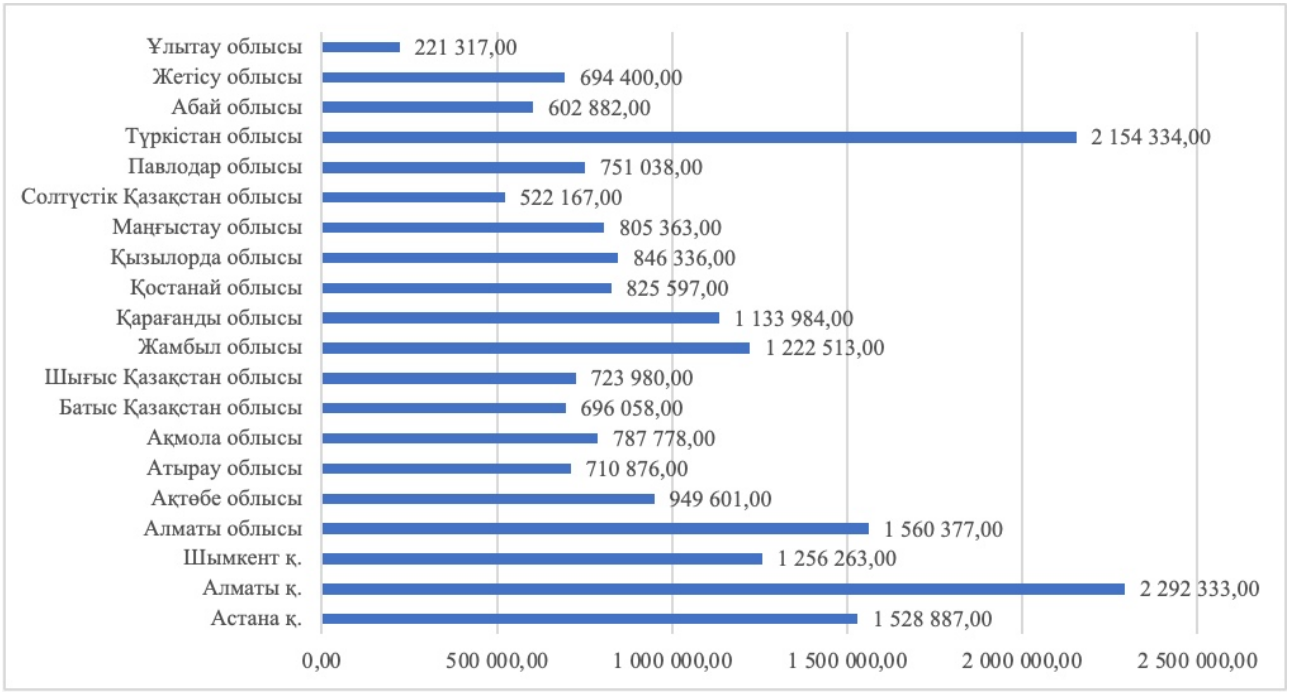
Қазақстан Республикасының облыстары бойынша тұрғындар көрсеткіші, соның ішінде Алматы облысына тоқталсақ, Алматы облысының халық саны – 1560377 адам.

Суреттен келесідей қорытынды шығаруға болады: берілген статистикалық мәліметтерге сүйене отырып, ел халқының ең ірі үлесі Түркістан одан кейін Алматы облысына тиесілі екендігін, ал ең шағын облыс болып Ұлытау облысын айтамыз. Алматы облысы халқының мәліметтерін есепке ала отырып, келесідей қорытынды шығаруға болады: ел халқының ең ірі үлесі 2024 жылға тиесілі. 2022 жылмен салыстырғанда ел халқы 1531044 адамнан 1560377 адамға дейін жетті. Екінші салыстырмалы көрсеткіштің негізі ретінде есепке алынатын жылдардың алғашқысы алынады. Бұл көрсеткіштер бойынша: ел халқының саны 2023 ж. төмендеуіне қарамастан 2024 тез өсуін бақылауға болады.

Халықтың табиғи көрсеткішін зерттеу үшін қажетті екінші көрсеткішті зерттеу қажет. Өлім-жітім – белгілі бір кезеңде 1000 тұрғынға шаққанда өлім-жітім саны. Суретте 2022-2024 жж. бастап өлгендер саны көрсетілген. Жалпы Алматы облысы бойынша нақты санға келетін болсақ, көрсеткіш көлемі халық санының тұрақты түрде туу көрсеткіштері жоғары болып қана қоймай, өлу көрсеткіштері де азаюы керек. Соған қарамастан, суретте қайтыс болғандардың саны 2024 ж. 1000 адамға шаққандағы көрсеткіші 6,5% құрады,



2-сурет – Демографиялық үдерістерді мемлекеттік реттеу қағидаттары



3-сурет – Еліміз бойынша 2024 ж. нақтыланған демографиялық көрсеткіштер

бұл қарт адамдардың табиғи өлімі және жас балалардың шетінеуі есебінен.

Бірақ жалпы елімізде және Алматы облысы өңірінде көптеген әлеуметтік проблемалардың басым көпшілігі әлі күнге дейін шешімін таба алмай келуде, бұл халық санын арттыру саясатын ұстанып отырған Қазақстан үшін жағымды деп айта алмаймыз. Осы орайда атап өтетін жайт еліміздегі әйел адамдардың туудағы ауыртпашылықтары, яғни, қазіргі таңда республикамыздағы туудың 45%-ы қиыншылықтармен өтеді екен. Дүниеге келген әрбір 3-ші баланың денсаулығында ауытқулар бар, 5 жасқа дейінгі балалардың өлім деңгейі де жоғары, бұл көрсеткіштен Қазақстан әлем бойынша 61-ші орында.

4-суретте диаграммадан байқайтынымыз, осы 1 жасқа дейінгі нәрестелер өлімінің негізгі себептері көрсетілген. Негізгі себептерінің бірі көріп отырғанымыздай, перинатальды кезеңде болатын жағдайлар мен туа біткен кездегі ауытқулардан екен. Перинатальдық кезеңге анықтама, бұл ұрықтың, ана құрсағындағы 28-ші аптасынан бастап, туылғаннан кейінгі жеті күн.

2013 жылғы 14 наурызда жарияланған БҰҰ-ң адам әлеуетін дамыту туралы деректері негізінде АДИ бойынша елдердің рейтингісін және БҰҰ мүше елдерді қамтиды. Адам даму индексі (АДИ) мемлекетіміздің демографиялық көрсеткішіне тікелей әсер етеді. АДИ бойынша мемлекеттердің дамушы, дамыған және дамымағандығы өлшенеді [7,8]. Оның негізгі көрсеткіштеріне туу кезіндегі күтілетін өмір ұзақтығы мен жан басына табыс деңгейінің орташа арифметикалық шамасы жатады. Негізі Қазақстан Республикасы соңғы жылы АДИ бойынша 50-ші орынға ие болған. Ал, Алматы облысында туу кезіндегі күтілетін өмір ұзақтығы және жан басына шаққандағы ақшалай табыс мөлшері кейінгі 2023 ж. 144,226 мыңға жетті.

Елімізде мемлекет тарапынан келесідей іс-шалалар мен бағдарламалар қолданылып, нәтиже беріп отыр.

Кестеден көріп тұрғанымыздай, мемлекет тарапынан демографиялық мәселелерді реттеудің көптеген шаралары қолданылып жатыр, олар белгілі бір нәтиже беріп отыр,



4-сурет – Алматы облысы бойынша 2024 жылғы нәресте өлім-жітімінің негізгі себептері, %

Қазақстанда демографиялық мәселелерді шешуге бағытталған ұлттық бағдарламалар мен бастамалар және олардың нәтижелері

Бағдарламалар мен іс-шаралар атауы	Мақсаты	Нәтижесі
«Аңсаған сәби» бағдарламасы	Бұл бағдарлама экстракорпоралды ұрықтандыру (ЭКҰ) әдісі арқылы бала сүюге мүмкіндік беру мақсатында іске қосылды.	- ЭКҰ квоталарының саны 7 есе артып, жылына 7000 квотаға жетті. - 2021-2023 жылдары 20000-нан астам пациентке ЭКҰ жасалып, 6000-нан астам бала дүниеге келді, оның ішінде егіздер мен үшемдер де бар.
«Салауатты Қазақстан» және «Денсаулық» бағдарламалары	халықтың денсаулығын жақсартуға бағытталды.	- орташа өмір сүру ұзақтығы 72 жасқа жетті. - туу көрсеткіші артты, халық саны 18 миллионнан асты. - аналар мен сәбилер өлім-жітімі айтарлықтай төмендеді.
2030 жылға дейінгі отбасылық және гендерлік саясат тұжырымдамасы	Бұл тұжырымдама отбасылық құндылықтарды нығайту, гендерлік теңдікті қамтамасыз ету және демографиялық өсімді қолдауға бағытталған.	- некенің бұзылу үлесін 2030 жылға қарай 33%-ға дейін төмендету жоспарланған. - жетім балаларды асырап алушыларға біржолғы төлемдер мен жәрдемақылар қарастырылған. - гендерлік бюджеттеу тәсілдері енгізіліп, әлеуметтік салаларда гендерлік аспектілер ескерілуде.
Әлеуметтік қолдау шаралары	Мемлекет тарапынан әлеуметтік төлемдер мен жәрдемақылардың мөлшері арттырылды.	- 2022 жылмен салыстырғанда жәрдемақылар 23%-ға ұлғайды. мүгедектігі бар балаларды тәрбиелеп отырған ата-аналарға, асыраушысынан айырылғандарға төлемдер көбейтілді.

осы бағытты әрі қарай жалғастыру қажет.

Қазақстанда бала тууын ынталандыру және демографияны арттыру мақсатында бірқатар әлеуметтік қолдау шаралары мен жеңілдіктер бар. Негізгілері: бір реттік жәрдемақылар (2025 ж. мөлшері): тұңғыш балаға – шамамен 131100 теңге, екінші балаға – 173000 т., үшінші және одан кейінгі – 207000 т. Ай сайынғы жәрдемақылар (бала күтімі): 1 жасқа дейін, жұмыс істемейтін анаға: 1-бала – 21000 т., 2-бала – 25000 т., 3-бала – 30000 т., 4 және одан көп – 35000 т. «Күміс алқа», «Алтын алқа» иелеріне: 20000 тг жуық ай сайынғы жәрдемақы, жергілікті әкімдіктерден тұрғын үй кезегі, жер телімі. «Ана мен бала» денсаулығын қорғау: барлық жүкті әйелдер мен 5 жасқа дейінгі балаларға тегін медициналық қызмет, перзентханаларда – тегін босану, босанған соң күтім. Тұрғын үй бағдарламалары:«Бақытты отбасы» бағдарламасы – көпбалалы отбасыларға жеңілдетілген ипотека (2-5%), «Нұрлы жер», «Шаңырақ» бағдарламалары. Мемлекеттік жәрдемақылар мен әлеуметтік көмек түрлері: АӘК (атаулы әлеуметтік көмек); – мектепте тегін тамақ, киім, жол жүру.

Ұсыныс

Қазақстандағы демографиялық мәселелерді шешуге арналған шетелдік тәжірибелер негізінде ұсыныстар:

1. Көпбалалы отбасыларды жүйелі қолдау

Шетелдік тәжірибе: Франция

Ұсыныс:

- «Үлкен отбасы» мәртебесін заңмен бекітіп, жеңілдіктер пакетін енгізу (көлік, дәрідәрмек, мәдени қызметтер).

- Салық жеңілдіктері мен қосымша жәрдемақы жүйесін реттеу.

2. Балалы ата-аналарға икемді еңбек шарттары

Шетелдік тәжірибе: Германия

Ұсыныс:

- Мемлекеттік қызмет пен ірі компанияларда қашықтан жұмыс және икемді кесте ұсыну.

- Әкелерге бала күтімі бойынша ақылы демалыс енгізу.

3. Бала тууға арналған қаржылай ынталандыру

Шетелдік тәжірибе: Жапония, Сингапур

Ұсыныс:

- Әр туған бала үшін бір реттік көтерме көмек көлемін арттыру.

- "Baby Bonus" жүйесін (баланың шотына мемлекеттен қаржы салу) енгізу.

4. Бала күтімі мен балабақша инфрақұрылымын дамыту

Шетелдік тәжірибе: Финляндия

Ұсыныс:

- Ауылдық елді мекендерде шағын балабақша орталықтарын ашу.

- Жаңа туған сәбилерге арналған «Baby Box» әлеуметтік пакеті.

5. Тұрғын үймен қамтамасыз ету

Шетелдік тәжірибе: Сингапур

Ұсыныс:

- Жас отбасыларға арналған жеңілдетілген ипотека немесе жалдамалы тұрғын үй бағдарламасын кеңейту.

Қазіргі таңда демограциялық мәселелердің туындауының бірден-бір себебі өмір сүру деңгейінің төмендігі мен халықты әлеуметтік қолдаудың жеткіліксіздігі. БҰҰ-да өмір сүру деңгейінің интегралдық көрсеткіші ретінде адам әлеуетін дамыту индексін (АДИ) әзірледі. Елдер АДИ көрсеткіші бойынша төрт үлкен санатқа бөлінеді: адам әлеуетін дамытудың өте жоғары, жоғары, орташа және төмен деңгейі. 2013 жылғы 14 наурызда жарияланған БҰҰДБ адам әлеуетін дамыту туралы бағалау деректері негізінде жасалды. Бұл есеп АДИП бойынша елдердің рейтингісін қамтиды.

Рейтинг БҰҰ-ға мүше 185 ел (193-тен), сондай-ақ Гонконг және Палестина аумақтарын қамтиды. Бұл ретте АДИП-ның орташа әлемдік мәні 0,694 құрайды, кейбір елдер деректердің жетіспеушілігінен енгізілмеген.

Әлемдік елдер бойынша өмір сүру сапасының индексі Қазақстанда 102 болған, ал ең жоғары көрсеткіш 219. Лидер елдердің қатарында Люсембург – 219, Нидерланды – 207, Дания – 205, Оман – 203, Швейцарияда – 202 индекстері тіркелген.

Зерттеу жұмысындағы есептеулер 2023 жылға арналған, себебі соңғы жарияланған Алматы облысының статистика департаменті қызметі "Алматы облысының әлеуметтік-экономикалық көрсеткіштері" бойынша алынған.

Жүргізілген есептер өмір сапасының негізгі компоненттерін есепке ала отырып, Алматы облысының өңірлері арасында Қарасай, Еңбекшіқазақ және Талғар аудандарында халықтың өмір сүру сапасының өлшемдері бойынша көшбасшылық орындарды иеленетінін куәландырады. Бұл өңірлер базалық дамуды қамтамасыз ете отырып, өмір сапасының индексін құрайтын көрсеткіштердің айтарлықтай жоғары мәнін көрсетеді. Оған себепші негізгі факторлардың қатарында еліміздегі ең ірі қала Алматы қаласына жақындығы, инфрақұрылым салаларының дамуы, транспорт торының тығыздығы, табиғи климаттық жағдайлардың қолайлылығы және халыққа қызмет көрсететін салалардың даму деңгейі т.б.

Осы зерттеуді Алматы облысы аумағында өмір сүру сапасының индекстері айтарлықтай дифференциацияны, сондай-ақ жекелеген аумақтарға тән проблемалардың қатарын анықтауға мүмкіндік береді.

Қорытынды

Демографиялық үдерістерді мемлекеттік реттеу әлеуметтік-экономикалық саясаттың бір бөлігі болып табылады. Бұл оның тікелей мақсаты демографиялық дамуға әсер еткен кезде жүзеге асырылады. Демографиялық үдерістерді мемлекеттік реттеу халықтың репродуктивті мінез-құлқынының екі жағына әсер етеді. Біріншісі, туу қажеттілігін қалыптастыру негізінде, екіншісі, қоғамның мүдделеріне сәйкес келетіндей белгілі бір бала санына жеке адамдар мен отбасылардың қажеттіліктерін қалыптастырғанда. Ол экономикалық, әкімшілік-құқықтық және әлеуметтік-психологиялық әдістері негізінде қол жеткізіледі.

Аймақтағы демографиялық үдерістерін зерттеуде маңызды көрсеткіштер туу мен өлім, некелер мен ажырасу, көші-қон және еңбек нарығының негізгі индикаторлары болып табылады.

Сонымен, қорыта келе еліміздегі демографиялық мәселелерді шешу үшін, шетелдік тәжірибе құралдарын қолдану арқылы халық санын арттырып, адам әлеуетін дамыту индексін жоғарылату мүмкіндігі туады.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Шогенова Ф.З., Ханиева З.А. Социально-демографические параметры жизни в современной социальной политике государства. 2019. – 228 с.
2. Қазақстан Республикасы мемлекеттік демографиялық саясатының тұжырымдамасы туралы [Электронды ресурс]. – Кіру режимі: http://adilet.zan.kz/kaz/docs/P000001272_
3. Пуртова О.П. Научный электронный журнал «Матрица научного познание» Демографическая политика, 2018. – 246 с.
4. Ефанова Л.Д., Федорова К.А. Демографическая политика Франции // Вестник университета. – 2019. – № 12. – С. 189-192.

5. Алматы облысы әкімдік аппараты [Электронды ресурс]. – Кіру режимі: https://zhetysu.gov.kz/content/polozhenie-app.html
6. Қазақстан Республикасының Ұлттық экономика министрлігі Статистика комитеті [Электронды ресурс]. – Кіру режимі: https://stat.gov.kz/region/250502/simple
7. Қазақстан Республикасының «Көші-қон саясатының тұжырымдамасы туралы» Заңы [Электронды ресурс]. – Кіру режимі: http://adilet.zan.kz/kaz/docs/P000001346_
8. Федонина О.В. «Демографическая яма» и проблема ловушки бедности: региональный аспект // Контентус. – 2020. – № 2. – С. 18-25.
9. Нахушева М.С. Демография в научном дискурсе: интегративность предметной области // Новые технологии, 2018.

Методы и принципы государственного регулирования демографических процессов

*[1]**АУЕЗОВА Карлыгаш Танатаровна,** к.т.н., и.о. доцента, karlygash.auezova@mail.ru,*
*[2]**АУЕЗОВА Зауре Танатаровна,** к.г.н., профессор, zaure58@mail.ru,*
*[1]**БУЛАКБАЙ Жанат Муканбетжанкызы,** к.э.н., и.о. доцента, zhanatbulakbay@gmail.com,*
*[1]**КОДАШЕВА Гаухар Смагиловна,** PhD, и.о. доцента, kodasheva@mail.ru,*
*[3]***ТАЖИБЕКОВА Кашамида Базылбековна,** к.э.н., ассоциированный профессор, kashamida@mail.ru,*
[1]Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,
[2]Esil University, Астана, Казахстан,
[3]Филиал РГКП «Академия государственного управления при Президенте Республики Казахстан» по области Ұлытау, Жезказган, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

***Аннотация.** В настоящее время государство занимает особое место в регулировании демографической ситуации населения. Оценка демографической ситуации и качества жизни населения в целом является важнейшим вопросом социально-экономической политики, стоящей перед государством. В статье использовались методы обследования и анализа демографической ситуации населения Алматинской области. Исследовательская работа позволит решить поставленные задачи и представить региональные проблемы социально-экономического положения и современного состояния населения как в регионах страны, так и в Алматинской области. В условиях современной рыночной экономики в государственном регулировании демографической ситуации населения можно заметить, что в различных регионах страны разные ситуации и, исходя из статистических показателей, социально-экономическое положение населения в районах концентрации производств значительно ниже, чем в промышленных областях. Кроме того, проанализированы показатели естественного прироста населения, смертности, бракосочетания и разводов, миграции и ИЧР по стране и в регионе Алматинской области и даны рекомендации.*

***Ключевые слова:** население, демография, демографические процессы, государственное регулирование, методы государственного регулирования, методы государственного управления, естественный прирост, рождаемость, смертность, миграция, социально-экономическая ситуация, рыночная экономика, индекс человеческого развития.*

Methods and Methods of State Regulation of Demographic Processes

*[1]**AUYEZOVA Karlygash,** Cand. of Tech. Sc., Acting Associate Professor, karlygash.auezova@mail.ru,*
*[2]**AUYEZOVA Zaure,** Cand. of Geog. Sc., Professor, zaure58@mail.ru,*
*[1]**BULAKBAY Zhanat,** Cand. of Econ. Sc., Acting Associate Professor, zhanatbulakbay@gmail.com,*
*[1]**KODASHEVA Gaukhar,** PhD, Acting Associate Professor, kodasheva@mail.ru,*

***TAZHIBEKOVA Kashamida,** Cand. of Econ. Sc., Associate Professor, kashamida@mail.ru,
[1]L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
[2]Esil University, Astana, Kazakhstan,
[3]Branch of the RSTE «Academy of Public Administration under the President of the Republic of Kazakhstan» for the Ulytau Region, Zhezkazgan, Kazakhstan,
*corresponding author.

Abstract. *Currently, the state occupies a special place in regulating the demographic situation of the population. The assessment of the demographic situation and the quality of life of the population as a whole is the most important issue of socio-economic policy facing the state. This article proposes to use the methods of survey and analysis of the demographic situation of the population of Almaty region. The research work will allow solving the tasks and presenting regional problems of the socio-economic situation and the current state of the population both in the regions of the country and in the Almaty region. In the context of the modern market economy in the state regulation of the demographic situation of the population, it can be noted that in different regions of the country there are different situations and, based on statistical indicators, the socio-economic situation of the population in areas of concentration of production is much lower than in industrial areas. In addition, indicators of natural population growth, mortality, marriage and divorce, migration and HDI in the country and in the region of Almaty region were analyzed and recommendations were given.*

Keywords: *population, demography, demographic processes, state regulation, methods of state regulation, methods of public administration, natural growth, birth rate, mortality.*

REFERENCES

1. Shogenova F.Z., Xanieva Z.A. Social`no-demograficheskie parametry` zhizni v sovremennoj social`noj politike gosudarstva. 2019. – 228 p.
2. Qazaqstan Respublikasy` memlekettik demografiyalyq sayasatynyn tyzhyrymdamasy turaly [E`lektrondy` resurs]. – Kiru rezhimi: http://adilet.zan.kz/kaz/docs/P000001272_
3. Purtova O.P. Nauchnyj elektronnyj zhurnal «Matricza nauchnogo poznanie» Demograficheskaya politika, 2018. – 246 p.
4. Efanova L.D., Fedorova K.A. Demograficheskaya politika Francii // Vestnik universiteta. – 2019. – № 12. – Pp. 189-192.
5. Almaty` obly`sy` әkimdik apparaty` [E`lektrondy` resurs]. – Kiru rezhimi: https://zhetysu.gov.kz/content/polozhenie-app.html
6. Qazaqstan Respublikasynyn ¥lttyq e`konomika ministrligi Statistika komiteti [E`lektrondy` resurs]. – Kiru rezhimi: https://stat.gov.kz/region/250502/simple
7. Qazaqstan Respublikasynyn «Kөshi-qon sayasatynyn tyzhyrymdamasy turaly» Zany [E`lektrondy` resurs]. – Kiru rezhimi: http://adilet.zan.kz/kaz/docs/P000001346
8. Fedonina O.V. «Demograficheskaya yama» i problema lovushki bednosti: regional`ny`j aspekt // Kontentus. – 2020. – № 2. – Pp. 18-25.
9. Naxusheva M.S. Demografiya v nauchnom diskurse: integrativnost` predmetnoj oblasti // Novye tehnologii. 2018.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_323 ӘОЖ 338.43

Қазақстанда азық-түлік қауіпсіздігі жүйесін басқарудың кейбір мәселелері

[1]*ЖАР Жанна Жәнібекқызы, докторант, zhar_zhanna@mail.ru,
[1]ОРЫНБАСАРОВА Еркеназым Дулатқызы, PhD, профессор, erke.08@mail.ru,
[2]КАЛЫКОВ Абай Кобландыұлы, э.ғ.к., профессор,
[1]ТАПЕНОВА Гүлнұр Сағатқызы, PhD, доцент, gulnur.tapenova_19@mail.ru,
[1]КОСЕ Жанна Көмекқызы, э.ғ.к., доцент, zh.kose@keu.kz,
[1]Қазтұтынуодағы Қарағанды университеті, Қарағанды, Қазақстан,
[2]Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
*автор-корреспондент.

Аңдатпа. *Қазақстан Республикасындағы азық-түлік қауіпсіздігі жүйесін басқарудың теориялық-әдіснамалық және практикалық аспектілері қарастырылады. Азық-түлік қауіпсіздігінің қазіргі жағдайын және ішкі және сыртқы факторларға байланысты негізгі қауіптерді талдауға баса назар аударылады. Авторлар ауыл шаруашылығының өнімділігін арттыру үшін цифрлық технологияларды, инновацияларды және тұрақты агропрактикаларды енгізу қажеттілігін атап көрсетеді. Халықтың осал топтары үшін азық-түліктің қолжетімділігі мен сапасын қоса алғанда, азық-түлік қауіпсіздігінің әлеуметтік аспектісі мәселесі көтеріледі. Климаттық өзгерістер мен геосаяси тұрақсыздықтың ұлттық азық-түлік жүйесіне әсері қарастырылуда. Осы саладағы саясатты әзірлеу және іске асыру кезінде жүйелі тәсіл мен сектораралық өзара іс-қимылдың қажеттілігі туралы қорытынды жасалады. Қазақстан өңірлерінің ерекшелігін ескере отырып, азық-түлік қауіпсіздігін басқару құралдарын жетілдіру бойынша бағыттар ұсынылды.*

Кілт сөздер: *азық-түлік, қауіпсіздік, инновация, агроөнеркәсіп, басқару, стратегия, ұлттық саясат, жаһандану, технология, цифрландыру.*

Кіріспе. Азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз ету кез келген мемлекеттің әлеуметтік-экономикалық дамуының негізгі міндеттерінің бірі болып табылады. Климаттың өзгеруін, экономикалық тұрақсыздықты және геосаяси тәуекелдерді қоса алғанда, жаһандық сын-қатерлер жағдайында бұл мәселе ерекше өзектілікке ие болады. Қазақстан айтарлықтай аграрлық әлеуетке ие бола отырып, ұлттық азық-түлік жүйесінің тұрақтылығына әсер ететін бірқатар ішкі және сыртқы факторларға тап болады. Азық-түлік қауіпсіздігін тиімді басқару мемлекеттік реттеу, институционалдық өзара іс-қимыл және ресурстық қамтамасыз ету мәселелерін қамтитын кешенді тәсілді талап етеді. Бұл саладағы маңызды бағыт ұлттық және өңірлік деңгейлерде азық-түлікпен қамтамасыз етуді стратегиялық жоспарлау және мониторингтеу тетіктерін дамыту болып табылады. Агроөнеркәсіптік кешенді мемлекеттік қолдаудың болуына қарамастан, азық-түлік өндірісі мен бөлудегі диспропорцияларға байланысты тәуекелдер сақталуда. Мақала Қазақстандағы азық-түлік қауіпсіздігі жүйесін басқарудың мәселелік аспектілерін анықтауға бағытталған.

Зерттеу мақсаты – қазіргі жағдайдағы Қазақстанда азық-түлік қауіпсіздігі жүйесін басқарудың өзекті мәселелерін талдау және қолданыстағы тетіктердің тиімділігін арттыру бойынша ұсыныстар әзірлеу.

Зерттеуде жүйелік талдау, салыстырмалы талдау, құрылымдық-функционалдық тәсіл әдістері, сондай-ақ, нормативтік-құқықтық және бағдарламалық құжаттардың статистикалық элементтері қолданылды.

Әдебиетке шолу.

Азық-түлік қауіпсіздігі мәселесі халықаралық және отандық зерттеулерде кеңінен қарастырылған. FAO тұжырымдамасы бойынша бұл ұғым халықтың жеткілікті, қауіпсіз әрі құнарлы тағамға тұрақты қолжетімділігін білдіреді [1-2].

Қазақстандық еңбектерде негізгі назар институционалдық және экономикалық тетіктерге, сондай-ақ мемлекеттік қолдау арқылы өзін-өзі қамтамасыз ету деңгейін арттыруға аударылады. Кейбір зерттеулер экспортқа бағдарланған ауыл шаруашылы-

ғы мен ішкі сұраныс арасындағы теңгерімсіздікті көрсетеді [3].

Жаһандық сын-қатерлер, әсіресе климаттың өзгеруі мен азық-түлік дағдарыстары ұлттық жүйенің тұрақтылығына ықпал ететіні атап өтіледі. Сонымен қатар, цифрлық және инновациялық технологияларды енгізу қажеттілігі мен ведомствоаралық үйлестірудің жеткіліксіздігі де жиі талқыланады [4-5].

Осы факторлар Қазақстандағы азық-түлік қауіпсіздігін басқаруды кешенді жетілдірудің өзектілігін дәлелдейді.

Негізгі бөлім. 2024 жылғы талдау Қазақстанда негізгі азық-түлік тауарларының басым бөлігі ішкі өндіріс есебінен қамтамасыз етілетінін көрсетеді. Дегенмен ішкі және сыртқы факторлар кей қиындықтар туғызуда.

ҚР Ауыл шаруашылығы министрлігінің мәліметінше, ұн, күріш, картоп, күнбағыс майы, қой және сиыр еті, сүт сияқты 24 өнімнің қамтамасыз етілу деңгейі 80-100% аралығында. Алайда кей тауарлар әлі де импортқа тәуелді.

Елімізде импортқа тәуелділікті төмендету үшін бірқатар инвестициялық жобалар іске асырылуда. 2027 жылға дейін 2,3 трлн теңгеге 780 жобаны енгізу жоспарлануда, оның ішінде 855 млрд теңгеге 170 жоба импортты алмастыратын тауарларға бағытталатын болады. Бұдан басқа, сақтау инфрақұрылымын жақсарту үшін қуаты 2026 жылға дейін 690 мың тонна болатын 92 сақтау объектісін салу көзделген [7].

Қазақстанның азық-түлік қауіпсіздігіне негізгі сыртқы қатерлер – халықаралық саудадағы өзгерістер мен нарықтық шектеулер. 2024 жылы бидай экспорты құндық мәнде 36,2%-ға төмендеді, оған Ресей арқылы транзиттің уақытша тоқтауы және дәстүрлі импорттаушылар сұранысының азаюы әсер етті.

Бұл жағдай экспорттық нарықтарды әртараптандыру мен отандық өнімнің бәсекеге қабілеттілігін арттырудың маңызын көрсетеді. Негізгі тауарлар бойынша өзін-өзі қамтамасыз ету жоғары болғанымен, импортқа тәуелділік пен сыртқы экономикалық факторлар әлі де тәуекел тудырады. Сондықтан инвестициялық жобаларды жүзеге асыру, сақтау инфрақұрылымын жетілдіру және жаңа экспорттық бағыттарды дамыту – елдің азық-түлік қауіпсіздігін нығайтудың басты шаралары.

Ішкі және сыртқы факторларға байланысты негізгі қатерлерді анықтай отырып, Қазақстанның азық-түлік қауіпсіздігінің ағымдағы жай-күйіне талдау жүргіземіз. Ол үшін біз қазіргі сандық деректерді қолданамыз және оларды кесте түрінде ұсынамыз.

Қазақстанда азық-түлік өнімдерінің көпшілігі ішкі өндіріс есебінен 80%-дан артық қамтамасыз етіледі, бірақ кейбір тауарлар импортқа әлі тәуелді. Агроөнеркәсіптік кешенді (АӨК) реттеу мемлекеттің азық-түлік қауіпсіздігі мен ауылдық аумақтардың орнықты дамуын көздейтін ұзақ мерзімді стратегияларға негізделеді. Негізгі құрал – 2024-2028 жж. «Күшті АӨК» ұлттық жобасы, ол қайта өңдеу үлесін арттырып, саланы жоғары технологиялы әрі экспортқа бағдарланған етуге бағытталған. Жобада цифрландыру, мелиорация, логистика және кадр даярлау басымдыққа ие.

Бұл бастаманы 2030 жылға дейінгі даму тұжырымдамасы толықтырады, онда инновацияларды енгізу, суды тиімді пайдалану, фермерлерді қолдау және кооперацияны дамыту көзделген. Нормативтік-құқықтық негіздің өзегін «Агроөнеркәсіптік кешенді және ауылдық аумақтарды дамытуды мемлекеттік

1-кесте – Қазақстанның азық-түлік қауіпсіздігінің ағымдағы қамтамасыз етілуі*

Азық-түлік	Ішкі өндіріспен қамтамасыз ету	Импортқа тәуелділік дәрежесі
Ұн	Қажеттіліктен 2,4 есе көп	0%
Күріш	Қажеттіліктен 1,7 есе көп	0%
Күнбағыс майы	Қажеттіліктен 1,7 есе көп	0%
Қой еті	106%	0%
Сиыр еті	101%	0%
Қант	58%	42%
Ірімшік және сүзбе	43%	57%
Құс еті	27%	73%
Шұжық өнімдері	40%	60%
Балық	46%	54%

*[8] негізінде авторлармен әзірленген

реттеу туралы» заң құрайды, ол субсидиялау, жеңілдетілген несие, сақтандыру және ғылыми сүйемелдеу тәртібін белгілейді. Сонымен қатар, 2024 жылғы №512 қаулысы ауыл шаруашылығы өнімдерін қайта өңдеуді күшейту мен экспорттық әлеуетті арттыруды қарастырады.

Жалпы алғанда, осы бағдарламалар мен актілер өндіріс көлемін өсіруге қоса, аграрлық сектордың тұрақты әрі бәсекеге қабілетті дамуын қамтамасыз ететін үйлесімді реттеу жүйесін қалыптастырады.

Қазақстан Республикасының агроөнеркәсіптік кешені саласын реттейтін қолданыстағы Мемлекеттік бағдарламалар мен нормативтік-құқықтық актілерді талдау саланы дамытуға бағытталған негізгі бастамалар мен заңнамалық өзгерістерді анықтайды.

Кестеде көрсетілген құжаттар мемлекеттің азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз етуге, өндіріс тиімділігін арттыруға және саланың орнықты дамуына бағытталған ауыл шаруашылығын реформалау мен жаңғыртуға кешенді көзқарасын көрсетеді. Осылайша, барлық үш бағдарлама Қазақстанның агроөнеркәсіптік кешенін дамудың тұрақты, бәсекеге қабілетті және инновациялық бағдарланған моделіне көшуге бағытталған стратегиялық реттеудің келісілген және өзара толықтыратын жүйесін қалыптастырады.

Ұсынылған құжаттар аграрлық саясатты құқықтық тұрғыдан қамтамасыз етудің негізгі бөлігі болып, Қазақстанның АӨК-ін кешенді дамытуға, оның инвестициялық тартымдылығы мен орнықтылығын арттыруға және азық-түлік қауіпсіздігін нығайтуға ықпал етеді. Мемлекеттік органдар, ауыл шаруашылығы өндірушілері және нарық қатысушылары арасындағы үйлестіру әріптестік пен бағдарламалық-нысаналы басқару қағидаттарына сүйеніп, барлық деңгейдегі әрекеттердің бірізділігін қамтамасыз етеді.

Ауыл шаруашылығы министрлігі орталық үйлестіруші рөл атқарып, сауда, қаржы, экология министрліктерімен және өңірлік әкімдіктермен бірлесіп жұмыс істейді. «Аграрлық несие корпорациясы», «ҚазАгро-Қаржы», «Ұлттық аграрлық ғылыми-білім беру орталығы» сияқты даму институттары қаржыландыруды, техникалық сүйемелдеуді және кепілдендірілген сатып алуды жүзеге асырады. Фермерлердің мүддесін салалық қауымдастықтар, сараптамалық кеңестер және «мемлекет-бизнес-ҮЕҰ» алаңдары қорғайды. Мониторинг пен субсидиялаудың автоматтандырылған жүйелері ашықтық пен

2-кесте – Негізгі мемлекеттік бағдарламалар*

Бағдарлама/акт	Мақсаты мен міндеттері	Жүзеге асыру мерзімі	Күтілетін нәтижелер
«Күшті АӨК» ұлттық жобасы (2024-2028)	Ауыл шаруашылығының жалпы өнімінің көлемін екі есеге арттыру, еңбек өнімділігін арттыру, АӨК өнімінің экспортын ұлғайту, инвестициялар тарту, қайта өңделген өнім үлесін ұлғайту	2024-2028	Жалпы өнім көлемін 17 трлн теңгеге дейін ұлғайту, бір жұмыспен қамтылғандарға еңбек өнімділігін 9,1 млн теңгеге дейін арттыру, өнім экспортын 10 млрд АҚШ долларына дейін ұлғайту, өңделген өнім үлесін 70%-ға дейін ұлғайту
АӨК дамытудың 2021-2030 жылдарға арналған тұжырымдамасы	АӨК бәсекеге қабілеттілігін арттыру, инновациялық технологияларды енгізу, инфрақұрылымды жақсарту, азық-түлік қауіпсіздігі деңгейін арттыру	2021-2030	750 мың га алаңда су үнемдеу технологияларын енгізу, тұқымдық түрлендірумен қамтылған аналық мал басының үлесін 43%-ға дейін ұлғайту, АӨК-де енгізілген аяқталған ғылыми әзірлемелердің үлесін 40%-ға дейін ұлғайту
Ауыл шаруашылығы өнімдерін қайта өңдеуді дамытудың 2024-2028 жылдарға арналған кешенді жоспары	Ауыл шаруашылығы өнімдерін қайта өңдеуді дамыту, қосылған құнды арттыру, өнім сапасын жақсарту	2024-2028	Ауыл шаруашылығы өнімін қайта өңдеу көлемін ұлғайту, оның сапасын арттыру, қайта өңдеу саласында жаңа жұмыс орындарын құру

*[8] негізінде авторлармен әзірленген

3-кесте – Негізгі нормативтік-құқықтық актілер*

Нормативтік-құқықтық акт	Негізгі ережелер	Қабылдау күні	Ескертпелер
«Агроөнеркәсіптік кешенді және ауылдық аумақтарды дамытуды мемлекеттік реттеу туралы» ҚР Заңы	АӨК реттеудің құқықтық негіздерін белгілеу, мемлекеттік органдардың өкілеттіктерін айқындау, ауылдық аумақтарды қолдау тетіктері	2005 (өзгерістермен)	АӨК саласындағы қызметті реттейтін негізгі заң
ҚР Үкіметінің 2023 жылғы 5 желтоқсандағы №1083 қаулысы	«ҚазАгроҚаржы», «Аграрлық несие корпорациясы», «ұлттық аграрлық ғылыми-білім беру орталығы», «Азық-түлік келісімшарттық корпорациясы «Ұлттық компаниясы» сияқты мамандандырылған ұйымдардың қатысуымен АӨК-ні қолдау қағидаларына өзгерістер енгізу	2023	Қазіргі заманғы шындықты ескере отырып, АӨК қолдау тетіктерін жаңарту
ҚР Үкіметінің 2024 жылғы 28 маусымдағы №512 қаулысы	Ауыл шаруашылығы өнімдерін қайта өңдеуді дамытудың 2024-2028 жылдарға арналған Кешенді жоспарын бекіту, қайта өңдеуді дамыту, қайта өңдеу сапасын жақсарту және көлемін ұлғайту жөніндегі іс-шараларды айқындау	2024	Ауыл шаруашылығы өнімінің қосылған құны мен сапасын арттыруға жолдама

*[8] негізінде авторлармен әзірленген

жеделдікті күшейтеді.

Халықаралық деңгейде Қазақстан IOFS және FAO ұйымдарымен ынтымақтастық жасайды. АҚШ-тағы Ұлттық азық-түлік қауіпсіздігі кеңесі немесе ЕО-ның Жалпы ауылшаруашылық саясаты сияқты құрылымдар тиімді басқарудың үлгісі болып саналады. 2022 ж. Global Food Security Index бойынша Қазақстан 72,1 ұпаймен 32-орында тұр. Дегенмен халықтың 2,5%-ы тамақтанбаудан, 6,7%-ы балалардың өсуінің тежелуінен зардап шегеді, ал ересектердің 21,3%-ы семіздікке ұшыраған. Бұл көрсеткіштер жалпы рейтинг жоғары болғанымен, тамақтану мен денсаулық саласында шешілмеген мәселелер бар екенін айғақтайды.

Халықаралық ұйымдардың рөлі. Қазақстан азық-түлік қауіпсіздігін жақсарту үшін FAO (БҰҰ Азық-түлік және ауыл шаруашылығы ұйымы) және IOFS сияқты халықаралық ұйымдармен белсенді ынтымақтасады. Бұл ынтымақтастық халықаралық жобаларға қатысуды, тәжірибе алмасуды және ауыл шаруашылығы мен азық-түлік қауіпсіздігі саласындағы үздік тәжірибелерді енгізуді қамтиды. АҚШ пен ЕО мемлекеттері сияқты азық-түлік қауіпсіздігін басқарудың жоғары дамыған жүйелері бар елдерде де халықаралық және мемлекетаралық үйлестіру тетіктері белсенді жұмыс істейді, бұл азық-түлік қауіпсіздігі мәселелерін тиімдірек шешуге ықпал етеді.

Кесте осы саланы басқарудың неғұрлым дамыған жүйесі бар елдердің мысалдарымен салыстырғанда Қазақстандағы азық-түлік қауіпсіздігінің ағымдағы жай-күйін сипаттайтын негізгі аспектілерді талдауға мүмкіндік береді. Осылайша, ұсынылған кесте Қазақстанның азық-түлік қауіпсіздігінің жаһандық жүйесіндегі ағымдағы жағдайын бейнелейді, халықаралық тәжірибені ескере отырып, одан әрі жетілдіруді талап ететін күшті жақтар мен салаларды анықтайды.

Климаттың өзгеруі мен табиғи ресурстардың азаюы жағдайында ауыл шаруашылығының өнімділігін арттыру Қазақстан үшін басты міндетке айналуда. Бұл мақсатқа жету үшін цифрлық технологияларды, инновацияларды және тұрақты агропрактикаларды кешенді енгізу қажет.

Дәл егіншілік, геоақпараттық жүйелер және автоматтандырылған мониторинг өндіріс шығынын азайтып, табиғи ресурстарды ұтымды пайдалануға мүмкіндік береді. Цифрлық шешімдер үлкен аумақтарда суару мен тыңайтқышты дәл есептеуге, топырақ пен өсімдікті тұрақты бақылауға жағдай жасайды. Сонымен бірге агробиотехнология мен интеллектуалды басқару жүйелері құрғақшылыққа төзімді сорттар өсіруге және өнім сапасын арттыруға көмектеседі.

Топырақты ұқыпты өңдеу, суды үнемдеу, жайылымдарды қалпына келтіру және биоәртүрлілікті сақтау аграрлық өндірістің экологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз етеді әрі ұзақ мерзімді өнімділікті сақтайды.

4-кесте – Азық-түлік қауіпсіздігі және институционалдық үйлестіру көрсеткіштерінің салыстырмалы кестесі*

Көрсеткіш	Қазақстан	АҚШ	Еуропалық Одақ
GFSI бойынша рейтинг	32 орын	13 орын	1 орын
Тамақтанбаған халықтың үлесі	2,5%	1,0%	1,5%
Өсімі тежелген балалардың үлесі	6,7%	3,5%	4,0%
Ересектер арасындағы семіздік үлесі	21,3%	28,0%	23,0%
Институционалдық үйлестіру	Орташа деңгей	Жоғарғы деңгей	Жоғарғы деңгей

*[1] негізінде авторлармен әзірленген

Азық-түлік қауіпсіздігі тек экономика емес, әлеуметтік кепілдік те болып табылады. Осал топтар – аз қамтылған отбасылар, зейнеткерлер, шалғайдағы тұрғындар – көбіне толыққанды тағамға қол жеткізе алмайды. Бұл бағаның өсуі, табыстың тұрақсыздығы және инфрақұрылымның әлсіздігімен байланысты. Нәтижесінде ақуыз, дәрумен, микроэлемент тапшылығы созылмалы аурулардың көбеюіне және балалардың дамуына теріс әсер етеді.

Осыған байланысты мақсатты әлеуметтік бағдарламалар, субсидиялар, салауатты тамақтану жөніндегі білім беру және қолжетімді медициналық қызметтер қажет. Мемлекет, қоғам және жеке сектордың бірлескен әрекеті ғана тең қолжетімділік пен жауапты тұтыну мәдениетін қалыптастырып, азық-түлік қауіпсіздігін орнықты деңгейге жеткізе алады. Қазақстанда азық-түлік қауіпсіздігін жетілдіру аймақтардың табиғи-климаттық, ресурстық және әлеуметтік ерекшеліктерін ескеруді талап етеді. Бұл үшін келесі негізгі бағыттар ұсынылады:

- Өңірлік мониторинг пен болжам;
- Жергілікті басқару институттары;
- Өндірісті әртараптандыру;
- Инфрақұрылым және логистика;
- Әлеуметтік қолдау;
- Халықты ақпараттандыру.

Бұл шаралар әр аймақтың ерекшелігін ескеріп, елдің азық-түлік қауіпсіздігін нығайтуға мүмкіндік береді.

Қорытынды. Қазақстанның азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз ету инфрақұрылымды жаңарту, аграрлық саясатты жетілдіру және инновациялық технологияларды енгізуді біріктіретін кешенді тәсілді қажет етеді. Климаттың өзгеруі мен жаһандық экономикалық тәуекелдер жағдайында ішкі және сыртқы факторларды ескеріп, мемлекеттік органдар, жеке сектор және ғылыми орта арасындағы үйлесімді әрекет маңызды. Өндірістің тұрақтылығын күшейту, әсіресе климаттық қауіп пен ресурс тапшылығы сезілетін өңірлерде басты міндет болып қала береді. Сонымен қатар кедейлік пен әлеуметтік теңсіздікті азайту үшін осал топтарға бағытталған әлеуметтік қолдау шараларын кеңейту қажет. Азық-түлік қауіпсіздігін дер кезінде болжау мен бағалау тетіктерін дамыту да стратегиялық басымдық болуы тиіс.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. FAO Strategic Framework for 2022-2031.
2. Mc Carthy U. et al. Global food security – Issues, challenges and technological solutions // Trends in Food Science & Technology. – 2018. – Т. 77. – Pp. 11-20.
3. Havas K., Salman M. Food security: its components and challenges // International Journal of food safety, nutrition and public health. – 2011. – Т. 4. – № 1. – Pp. 4-11.
4. Hipel K.W., Fang L., Heng M. System of systems approach to policy development for global food security // Journal of Systems Science and Systems Engineering. – 2010. – Т. 19. – Pp. 1-21.
5. Кошебаева Г.К., Алпысбаева Н.А., Бирюков В.В. Анализ и перспективы продовольственной безопасности Республики Казахстан // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2018. – №. 4. – С. 57-69.

6. Калиев Г.А., Молдашев А.Б. Вопросы продовольственной безопасности Казахстана // Проблемы агрорынка. – 2021. – Т. 4. – №. 4. – С. 13-22.
7. Молдашев А.Б., Кантуреев М.Т., Мадиева А.Г. Продовольственная безопасность Казахстана // Проблемы агрорынка. – 2020. – №. 1. – С. 11-18.
8. ҚР Ауыл шаруашылығы министрлігінің статистикалық деректері.

Некоторые вопросы управления системой продовольственной безопасности в Казахстане

***[1]*ЖАР Жанна Жанибековна,** *докторант, zhar_zhanna@mail.ru,*
***[1]ОРЫНБАСАРОВА Еркеназым Дулатовна,** PhD, профессор, erke.08@mail.ru,*
***[2]КАЛЫКОВ Абай Кобландиевич,** к.э.н., профессор,*
***[1]ТАПЕНОВА Гульнур Сагатовна,** PhD, доцент, gulnur.tapenova_19@mail.ru,*
***[1]КОСЕ Жанна Комековна,** к.э.н., доцент, zh.kose@keu.kz,*
[1]Карагандинский университет Казпотребсоюза, Караганда, Казахстан,
[2]Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

***Аннотация.** Рассматриваются теоретико-методологические и практические аспекты управления системой продовольственной безопасности в Республике Казахстан. Акцент сделан на анализе текущего состояния продовольственной безопасности и ключевых угроз, связанных с внутренними и внешними факторами. Авторы выделяют необходимость внедрения цифровых технологий, инноваций и устойчивых агропрактик для повышения продуктивности сельского хозяйства. Поднимается вопрос социального аспекта продовольственной безопасности, включая доступность и качество питания для уязвимых слоёв населения. Рассматривается влияние климатических изменений и геополитической нестабильности на национальную продовольственную систему. Делается вывод о необходимости системного подхода и межсекторального взаимодействия при разработке и реализации политики в данной сфере. Предложены направления по совершенствованию инструментов управления продовольственной безопасностью с учетом специфики регионов Казахстана.*

***Ключевые слова:** продовольствие, безопасность, инновации, агропромышленность, управление, стратегия, национальная политика, глобализация, технологии, цифровизация.*

Some Issues of Food Security Management in Kazakhstan

***[1]*ZHAR Zhanna,** Doctoral Student, zhar_zhanna@mail.ru,*
***[1]ORYNBASSAROVA Yerkenazym,** PhD, Professor, erke.08@mail.ru,*
***[2]KALYKOV Abai,** Cand. of Econ. Sc., Professor,*
***[1]TAPENOVA Gulnur,** PhD, Associate Professor, gulnur.tapenova_19@mail.ru,*
***[1]KOSE Zhanna,** Cand. of Econ. Sc., Associate Professor, zh.kose@keu.kz,*
[1]Karaganda University of Kazpotrebsoyuz, Karaganda, Kazakhstan,
[2]Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
**corresponding author.*

***Abstract.** The theoretical, methodological and practical aspects of managing the food security system in the Republic of Kazakhstan are considered. The focus is on analyzing the current state of food security and key threats related to internal and external factors. The authors highlight the need for the introduction of digital technologies, innovations and sustainable agricultural practices to increase agricultural productivity. The issue of the social aspect of food security is being raised, including the availability and quality of nutrition for vulnerable segments of the population. The impact of climate change and geopolitical instability on the*

national food system is considered. The conclusion is drawn about the need for a systematic approach and intersectoral cooperation in the development and implementation of policies in this area. Directions for improving food security management tools are proposed, taking into account the specifics of the regions of Kazakhstan.

Keywords: *food, security, innovation, agro-industry, management, strategy, national policy, globalization, technology, digitalization.*

REFERENCES

1. Біріккен Ұлттар Ұйымының Азық-түлік және ауыл шаруашылығы ұйымының 2022-2031 жылдарға арналған стратегиялық негіздемелік бағдарламасы.
2. Mc Carthy U. et al. Global food security – Issues, challenges and technological solutions // Trends in Food Science & Technology. – 2018. – T. 77. – Pp. 11-20.
3. Havas K., Salman M. Food security: its components and challenges // International Journal of food safety, nutrition and public health. – 2011. – T. 4. – № 1. – Pp. 4-11.
4. Hipel K.W., Fang L., Heng M. System of systems approach to policy development for global food security // Journal of Systems Science and Systems Engineering. – 2010. – T. 19. – Pp. 1-21.
5. Koshebayeva G.K., Alpysbaeva N.A., Biryukov V.V. Analysis and prospects of food security of the Republic of Kazakhstan // Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law. – 2018. – No. 4. – Pp. 57-69.
6. Kaliev G.A., Moldashev A.B. Issues of food security in Kazakhstan // Problems of the agricultural market. – 2021. – Vol. 4. – No. 4. – Pp. 13-22.
7. Moldashev A.B., Kantureev M.T., Madieva A.G. Food security of Kazakhstan // Problems of the agricultural market. – 2020. – No. 1. – Pp. 11-18.
8. Statistical data of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_330 ӘОЖ 338.48

Туризм саласындағы арнайы экономикалық аймақтар негізі арқылы тұрақты даму мақсаттарын іске асыруды институционалдық қамтамасыз ету: Қазақстан тәжірибесі

[1]*АХТУРСУНОВА Айгерим Орымбековна, докторант, aigerima.bazh@gmail.com,
[2]АНГЕЛОВ Иван, PhD, профессор, ivanangel@abv.bg,
[1]Қазтұтынуодағы Қарағанды университеті, Қарағанды, Қазақстан,
[2]«Әулие Климент Охридский» София университеті, София, Болгария,
*автор-корреспондент.

Аңдатпа. *Қазақстанның туризм саласында Біріккен Ұлттар Ұйымының тұрақты даму мақсаттарын (ТДМ) іске асыруды институционалдық қамтамасыз ету мәселелері арнайы экономикалық аймақтар (АЭА) тетігі арқылы зерделенеді. Туризм экономиканы әртараптандырудың және өңірлік дамудың маңызды факторы ретінде қарастырылып, АЭА-ның инвестициялық ынталандыруларды орнықты даму басымдықтарымен үйлестірудегі рөлі айқындалады. Зерттеудің мақсаты – Қазақстан мысалында туризм саласында тұрақты даму мақсаттарын іске асыру үшін арнайы экономикалық аймақтардың институционалдық тетіктерін пайдаланудың орындылығын негіздеу және басқару жүйесін жетілдіруге бағытталған практикалық ұсынымдар әзірлеу. Зерттеуде ТДМ-8, ТДМ-11 және ТДМ-12 мақсаттарына басымдық беріліп, «Тұран» және «Алатау» арнайы экономикалық аймақтарының материалдары негізінде инвестициялық динамика, мемлекеттік-жекешелік әріптестік тетіктері және экологиялық факторлар талданады. Өзбекстан мен Ресей тәжірибесімен салыстырмалы талдау жүргізіліп, аймақтық үрдістер мен институционалдық айырмашылықтар көрсетіледі. Зерттеу нәтижелері туристік АЭА басқару жүйесін жетілдіруге, ашықтықты арттыруға және экологиялық-әлеуметтік орнықтылықты жоспарлау мен іске асыруға интеграциялауға бағытталған ұсыныстармен түйінделеді.*

Кілт сөздер: арнайы экономикалық аймақтар, тұрақты даму мақсаттары, туризм, институционалдық реттеу, Қазақстан.

Кіріспе

Қазіргі жағдайда туризм экономикалық өсуді қамтамасыз ететін, жұмыспен қамтуды арттыратын және мәдени мұраны сақтауға ықпал ететін орнықты дамудың маңызды факторы ретінде қарастырылады. Біріккен Ұлттар Ұйымының 2030 жылға дейінгі тұрақты даму күн тәртібінде туризм тұрақты даму мақсаттарының (ТДМ) 8, 11 және 12-мақсаттарына қол жеткізумен тікелей байланысты. Атап айтқанда, 8.9, 11.4 және 12.b міндеттері орнықты туризм саясатын қалыптастыруға, мәдени және табиғи мұраны қорғауға, сондай-ақ туризмнің орнықты дамуға ықпалын бағалау мен мониторингтеуге бағытталған [1].

Осы саладағы мемлекеттік саясаттың тиімді құралдарының бірі – арнайы экономикалық аймақтар (АЭА) болып табылады. АЭА инвестиция тарту мақсатында, оның ішінде туризм саласына да, салықтық және әкімшілік жеңілдіктер ұсынады. Қазақстан ТМД елдерімен қатар ТДМ бойынша ұлттық индикаторларға қол жеткізудің тетігі ретінде арнайы экономикалық аймақтар механизмін белсенді түрде пайдалануда. Бұл зерттеу Қазақстанда туризмнің орнықты дамуын институционалдық қолдауда АЭА-ны қолдану тәжірибесін ТМД елдерінің жекелеген мысалдарымен салыстыра отырып талдауға арналған.

Зерттеудің мақсаты – Қазақстан мысалында туризм саласында тұрақты даму мақсаттарын іске асыру үшін арнайы экономикалық аймақтардың институционалдық тетіктерін пайдаланудың орындылығын негіздеу және басқару жүйесін жетілдіруге бағытталған практикалық ұсынымдар әзір-

леу. Зерттеу міндеттеріне орнықты даму контексінде АЭА тұжырымдамасын талдау, нормативтік-құқықтық база мен әкімшілік құрылымдарды зерделеу, негізгі туристік АЭА-лардың («Тұран» және «Алатау») тиімділігін бағалау, институционалдық кедергілер мен тәуекелдерді айқындау, сондай-ақ экологиялық стандарттарды енгізу және басқарудағы ашықтықты арттыру бойынша ұсыныстар әзірлеу жатады.

Әдебиеттерге шолу

Жаңа институционалдық экономика теориясы тұрғысынан алғанда, сапалы институттар (ережелер, нормалар, заңдар) экономикалық дамудың негізгі факторы болып саналады. Арнайы экономикалық аймақтар мемлекеттің белгілі бір аумақта инвестиция тарту және инновациялық белсенділікті ынталандыру мақсатында ерекше құқықтық режим қалыптастыруын көздейтін институционалдық жобалау құралы ретінде сипатталады. Қазақстанда АЭА қосылған құн салығынан, корпоративтік табыс салығынан және мүлік салығынан босату сияқты арнайы салықтық және әкімшілік преференциялармен қамтамасыз етілген. Бұл оларды ТДМ-8 шеңберіндегі экономикалық мақсаттарды – жұмыспен қамтуды арттыруды, шикізаттық емес экспортты және өңірлік экономиканы дамытуды – іске асырудың тиімді құралына айналдырады. АЭА-ның ерекше нысаны болып табылатын туристік-рекреациялық аймақтар тек экономикалық тиімділікті ғана емес, сонымен қатар экологиялық және мәдени стандарттарды сақтауды да талап етеді [2].

Арнайы экономикалық аймақтардың институционалдық ерекшеліктері көптеген ғылыми зерттеулерде көрініс тапқан. Мәселен, И. Карачев Ресейдегі АЭА басқару жүйесінің фрагменттелген сипатын атап өтсе, Е. Шацкая жаһандық тәуекелдер жағдайында орнықты институттардың маңыздылығына назар аударады [3, 4]. Туризм еңбек сыйымдылығы жоғары әрі көпсалалы сала ретінде тұрақты даму мақсаттарымен, атап айтқанда ТДМ-8 (жұмыс орындарын құру), ТДМ-11 (қалалардың орнықты дамуы және мұраны сақтау) және ТДМ-12 (жауапты тұтыну) мақсаттарымен тығыз байланысты [5].

Қазақстандық ғалымдар да туризмді экологияландырудың маңыздылығына ерекше мән береді. Атап айтқанда, К. Балгинова және бірлескен авторлар туризмнің ЖІӨ-дегі үлесінің өсуін және жұмыспен қамту саласындағы гендерлік теңгерімсіздіктерді атап өтеді [6]. Халықаралық мета-талдаулар туризм мен ТДМ арасындағы оң синергиялардың, әсіресе 8 және 11-мақсаттар аясында басым екенін көрсеткенімен, туризмнің экологиялық мақсаттармен (ТДМ-13 және ТДМ-15) қайшылықтарын да айқындаған.

ТМД елдерінің тәжірибесі институционалдық реттеудің жеткіліксіздігі жағдайында арнайы экономикалық аймақтардың қоршаған ортаға түсіретін жүктемесі артуы мүмкін екенін көрсетеді. Бұл туристік-рекреациялық АЭА-ларда орнықты даму стандарттарын міндетті түрде енгізу, экологиялық аудит жүргізу, жергілікті қауымдастықтардың қатысуын қамтамасыз ету және мониторинг жүйелерін қалыптастыру қажеттігін негіздейді.

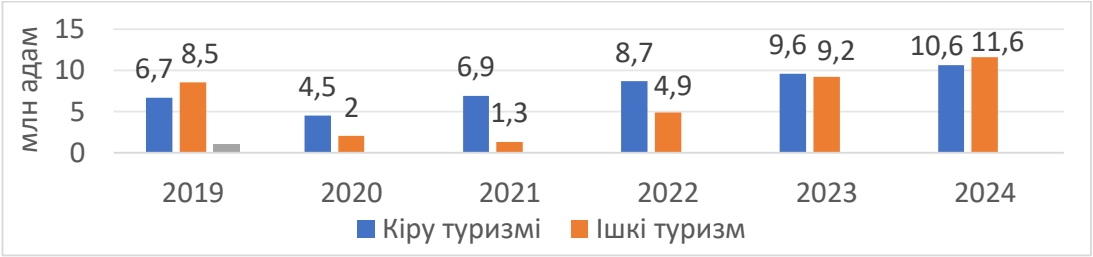
Материалдар мен әдістер

Зерттеуде институционалдық-экономикалық талдауды эмпирикалық кейстік зерттеулермен үйлестіретін кешенді әдістемелік тәсіл қолданылды. Қазақстан, Өзбекстан және Ресейдегі арнайы экономикалық аймақтардың (АЭА) қызмет ету динамикасын бағалау мақсатында салыстырмалы талдау жүргізілді. Институционалдық параметрлерді, соның ішінде салықтық ынталандырулар, реттеуші нормалар және экологиялық стандарттарды айқындау үшін саясаттық құжаттар мен ғылыми әдебиеттерге контент-талдау жасалды. Институционалдық талдау әкімшілік құрылымдар мен мемлекеттік-жекешелік әріптестік (МЖӘ) модельдерінің ерекшеліктерін ашып көрсетуге мүмкіндік берді. Ұлттық статистика бюросы, Дүниежүзілік туризм және саяхат кеңесі (WTTC), сондай-ақ АЭА қызметі жөніндегі есептерден алынған статистикалық деректер нәтижелердің сенімділігін арттыру мақсатында өзара салыстырылып тексерілді.

Нәтижелер және талқылау

Соңғы жылдары Қазақстанда туризм саласы елеулі өсім көрсетіп, экономиканы әртараптандыру мен тұрақты даму мақсаттарына қол жеткізудің негізгі драйверлерінің бірі ретінде қарастырылуда. Дүниежүзілік туризм және саяхат кеңесінің деректеріне сәйкес, 2018–2021 жылдар аралығында туризмнің экономиканың жалпы құрылымындағы үлесі төмендегенімен, 2022 жылы қайта қалпына келіп, жалпы ішкі өнімнің 3,9%-ын құрады [5].

Статистикалық деректер Қазақстандағы туризм секторының орнықты өсімін айқын көрсетеді. 2022 жылы ішкі туристер саны 8,6 млн адамға жетіп, пандемияға дейінгі 2019 жылғы деңгейді (6,6 млн адам) артта қалдырды, ал 2023 жылы бұл көрсеткіш 9,6 млн адамға дейін өсті. Шетелдік туристер саны 2022 жылғы 4,7 млн адамнан 2023 жылы 9,2 млн адамға дейін артты. Орналастыру саласында көрсетілген қызметтер көлемі 230 млрд теңгені, ал салықтық түсімдер шамамен 450 млрд теңгені құрады. Туризм саласына салынған инвестициялар 2023 жылы 53%-ға өсіп, 787 млрд теңгеге жетті, ал 2024 жылдың бірінші тоқсанында жылдық мәнде үш есеге жуық артты.



1-сурет – 2019-2024 жылдардағы Қазақстандағы кіру және ішкі туризм

Ескертпе. Деректер Қазақстан Республикасы Ұлттық экономика министрлігінің Ұлттық статистика бюросы мәліметтері негізінде бейімделген [7].

Аталған нәтижелер туризмнің ТДМ-8 (орнықты экономикалық өсу, жұмыспен қамтудың артуы және шағын бизнесті дамыту, әсіресе өңірлерде) міндеттерін іске асыруға қосқан үлесін көрсетеді (8.1, 8.5, 8.9). WTTC деректеріне сәйкес, туризм саласындағы тікелей жұмыспен қамту үлесі 2019 жылы 3,2%-ды, 2020 жылы 1,7%-ды құрап, 2024 жылға қарай 5,2%-ға дейін қалпына келді. Бұл саланың жоғары бейімделу қабілетін айғақтайды [5].

Сонымен қатар туристік ағындардың жеделдеуі инфрақұрылым мен табиғи нысандарға түсетін жүктеменің артуымен қатар жүруде, әсіресе жаппай туризм аймақтарында. Бұл ТДМ-11 және ТДМ-12 мақсаттарын – орнықты көлік пен қалалық ортаны дамыту (11.2, 11.b), сондай-ақ экологиялық стандарттарды енгізу, қалдықтарды басқару және табиғи аумақтардағы құрылысқа бақылау орнату – өзекті етеді.

Қазақстандағы арнайы экономикалық аймақтардың қалыптасуы мен дамуы

2000-жылдардың басынан бастап Қазақстанда арнайы экономикалық аймақтар желісі қалыптастырылып келеді және 2024 жылға қарай ел аумағында әртүрлі мамандану бағытындағы 14 АЭА жұмыс істеді. Бастапқы кезеңде олар негізінен өнеркәсіп пен инфрақұрылымға бағытталған болса, 2018 жылдан бастап АЭА тетігі туризмді қолдау құралы ретінде де қолданыла бастады. Соның жарқын мысалы – Түркістан облысындағы «Тұран» арнайы экономикалық аймағы. Бұл аймақ Түркістан қаласының дамуын жеделдету, заманауи туристік инфрақұрылым қалыптастыру және оны түркі әлемінің рухани астанасы ретінде орнықтыру мақсатында құрылды.

Аймақтың жалпы аумағы шамамен 3990 гектарды құрайды, ал басым қызмет түрлеріне туристік және әлеуметтік нысандар салу, сондай-ақ өндірістік инфрақұрылымды дамыту жатады. Осылайша, «Тұран» АЭА мәдени, инфрақұрылымдық және экономикалық даму мақсаттарын біріктіре отырып, ТДМ-8, ТДМ-9 және ТДМ-11.4 міндеттерін іске асыруға ықпал етеді. 2024 жылға қарай Түркістандағы «Тұран» АЭА-да жалпы құны 530 млрд теңгені құрайтын 129 инвестициялық жоба тартылды, олардың ішінде 353,9 млрд теңгеге бағаланған 95 жоба іске асырылу сатысында тұр. Инвестициялар қонақ үйлер, демалыс кешендері, көлік және өнеркәсіптік инфрақұрылым құрылысына бағытталған.

Сонымен бірге МЖӘ тетігі аясында жүзеге асырылып жатқан кейбір инфрақұрылымдық жобаларда мерзімдердің кешігуі мен толық іске асырылмауы байқалады, бұл институционалдық үйлестіру мәселелерінің бар екенін көрсетеді [8]. ТДМ-11 мақсаттарына тиімді қол жеткізу жоспарлардың уақтылы орындалуын, сенімді мониторингті және жекеше әріптестердің жауапкершілігін талап етеді.

Маңызды жобалардың тағы бірі – 2023 жылы Алматы облысында құрылған «Алатау» арнайы экономикалық аймағы (бұрынғы «G4 City»). Жоба тұжырымдамасы туризм мен рекреацияға арналған инфрақұрылым құруды, 3,7 трлн теңге көлемінде инвестиция тартуды және 60 мыңға дейін жұмыс орнын ашуды көздейді. Бас жоспарды әзірлеуге Сингапурдың Surbana Jurong компаниясының қатысуы орнықты қалалық жоспарлаудың озық тәжірибелерін енгізуге мүмкіндік береді. Бұл жоба туризмді қалалық ортаны кешенді дамытумен үйлестіре отырып, ТДМ-8, ТДМ-9 және ТДМ-11 мақсаттарын қамтиды.

Осылайша, «Тұран» және «Алатау» АЭА-ларының, сондай-ақ Қазақстанның курорттық аймақтарының институционалдық тетіктерінің тиімділігі тұрақты даму мақсаттарымен өзара байланысқан негізгі көрсеткіштердің динамикасы арқылы бағалануы мүмкін.

Жүргізілген динамикалық талдау арнайы экономикалық аймақтар мен курорттық аумақтардың институционалдық режимде-

1-кесте – Қазақстандағы арнайы экономикалық аймақтарды тұрақты даму мақсаттарын іске асыру тұрғысынан салыстырмалы талдау

Көрсеткіш	«Тұран» АЭА	«Алатау» АЭА (G4 City)
Іске асыру кезеңі	2023-2024 жж.	2023 жылдан бастап
Жобалар саны	95 (2023 ж.), 129 (2024 ж.)	4 кластер
Инвестициялар көлемі	530 млрд теңге	2048 жылға қарай 3,7 трлн теңге (мақсатты көрсеткіш)
Іске асыру деңгейі	жобалардың 73,6%-ы	жоспарлау сатысында
Жұмыспен қамту әлеуеті	елеулі (туризм және қызмет көрсету салаларымен байланысты)	2048 жылға дейін 60 мыңға дейін жұмыс орны
Қамтылған тұрақты даму мақсаттары	ТДМ 8, 11	ТДМ 8, 9, 11
Орнықтылықтағы олқылықтар	МЖӘ жобаларына бақылаудың әлсіздігі, іске асыру мерзімдерінің кешігуі	нақты уақыт режиміндегі деректердің болмауы
Ұсыныстар	мониторинг пен МЖӘ тетіктерін күшейту	ТДМ көрсеткіштерін уақытылы интеграциялауды қамтамасыз ету

рі инвестиция көлемінің елеулі өсуін және жұмыспен қамтудың артуын қамтамасыз еткенін көрсетеді (ТДМ-8, ТДМ-9, ТДМ-11). Сонымен қатар олардың тиімділігін арттырудың шешуші факторы инвестициялық міндеттемелердің орындалуын бақылаудың сенімді тетіктерін дамыту және міндетті экологиялық стандарттарды енгізу болып табылады (ТДМ-12, ТДМ-15).

ТМД елдеріндегі арнайы экономикалық аймақтар: Өзбекстан мен Ресей тәжірибесі.

Аймақтағы туризмді институционалдық қолдаудың қызықты үлгілерінің бірі – Өзбекстан тәжірибесі. 2020 жылы Өзбекстанда «Арнайы экономикалық аймақтар туралы» заң қабылданып, өнеркәсіптік аймақтар мен технопарктермен қатар туристік-рекреациялық аймақтар ұғымы ресми түрде енгізілді.

Өзбекстанда туризм саласында АЭА-ларды тиімді пайдаланудың мысалы ретінде Ташкент облысындағы «Чарвак» жобасын, сондай-ақ 2024 жылы Ауғанстанмен шекарада ашылған Термездегі «Aerit» еркін аймағын атауға болады. Соңғысы сауда, туризм және гуманитарлық функцияларды біріктіреді: оның құрамына қонақ үй, медициналық орталық, білім беру кампусы және іскерлік инфрақұрылым кіреді. 14 күндік визасыз режим, бажсыз сауда және жұмысқа қабылдау квоталарының (ауған азаматтары үшін 30%-ға дейін) енгізілуі инклюзивті өсуді ынталандырып, ТДМ-8, ТДМ-10 және ТДМ-16 мақсаттарына қол жеткізуге ықпал етеді.

Ресейде туристік-рекреациялық арнайы экономикалық аймақтар 2000-жылдардың ортасынан бастап қалыптаса бастады. Олардың ішінде «Архыз» АЭА ең табысты жоба ретінде бағаланып, 14 млрд рубльден астам инвестиция тартты және туристік ағынның өсуін қамтамасыз етті, бұл ТДМ-8 және ТДМ-11 мақсаттарын іске асыруға ықпал етті.

Салыстырмалы талдау Қазақстан, Өзбекстан және Ресейдегі туристік-рекреациялық арнайы экономикалық аймақтардың ТДМ-8, ТДМ-10, ТДМ-11, ТДМ-16 және ТДМ-17 мақсаттарына қол жеткізуге үлес қосатынын көрсетеді. Алайда институционалдық шектеулер, экологиялық реттеудің әлсіздігі және жергілікті қауымдастықтардың жеткіліксіз қатысуы сияқты мәселелер сақталуда. АЭА-ның ТДМ-ды іске асыруға қосатын үлесін күшейту үшін преференциялық модельден орнықты басқарудың кешенді үлгісіне көшу қажет. UNCTAD деректеріне сәйкес, дамыған АЭА-лардың 90%-ында орнықты даму бөлімшелері бар, 84%-ы ТДМ мен ұлттық климаттық мақсаттарды интеграциялайды, ал 48%-ы ТДМ-12 – орнықты тұтыну мен өндіріс бағытына басымдық береді. Бұл қазіргі заманғы АЭА моделінің экологиялық және әлеуметтік жауапкершілікке қарай трансформацияланып жатқанын растайды [9].

Қорытынды

Қазақстан, Өзбекстан және Ресей тәжірибесін талдау туристік-рекреациялық арнайы экономикалық аймақтарды құру инвестиция мен жұмыспен қамтуды ынталандырып, ТДМ-8 мақсатына қол жеткізуге ықпал ететінін көрсетеді. Алайда инфрақұрылымдық жобаларды іске асыру барысында ашықтықтың жеткіліксіздігі, экологиялық стандарттардың әлсіз қалыптасуы және орнықты басқару тәжірибелерінің тапшылығы сияқты институционалдық олқылықтар анықталды. Термез-

2-кесте – Өзбекстан мен Ресейдегі арнайы экономикалық аймақтардың салыстырмалы көрсеткіштері

№	АЭА атауы	Құрылған жылы	Негізгі мақсаттары	Басым бағыттар	Аумағы, га	Инвестициялар мен жобалар	ТДМ-мен байланысы
1	«Charvak», Өзбекстан	2020	Таулы аймақта халықаралық деңгейдегі туристік кластер қалыптастыру	Қонақ үйлер, шаңғы трассалары, инфрақұрылым және ойын-сауық нысандары	–	Инвесторлар үшін жеңілдікті режим, инфрақұрылымды дамыту	ТДМ 8, 11
2	«Aerit» (Термез), Өзбекстан	2024	Трансшекаралық туризмді, сауданы және халықаралық ынтымақтастықты дамыту	Қонақ үйлер (Hilton), медициналық орталық, кампус, сауда және қызмет көрсету	36	5 000 жұмыс орнын құру және жылына 1,5 млн келуші тарту жоспарланған	ТДМ 8, 10, 16
3	«Arkhyz», Ресей	2000	Шаңғы және экологиялық туризмді дамыту, өңір экономикасын жандандыру	Шаңғы инфрақұрылымы, қонақ үйлер, көлік нысандары	–	14 млрд рубльден астам инвестиция тартылған	ТДМ 8, 10, 11

дегі «Aerit» аймағы мысалы трансшекаралық туризмді дамытудың және өңірлік ынтымақтастықты нығайтудың (ТДМ-16 және ТДМ-17 рухында) әлеуетін айқын көрсетеді.

Осылайша, арнайы экономикалық аймақтардың тиімділігі экономикалық ынталандыруларды экологиялық және әлеуметтік жауапкершілікпен ұштастыратын кешенді тәсілді талап етеді. ТДМ аясында АЭА қызметінің тиімділігін арттыру үшін мынадай шаралар ұсынылады:

- жобаларға қатысты орнықты даму мақсаттары мен экологиялық талаптарды нормативтік тұрғыда бекіту, соның ішінде арнайы орнықтылық бөлімшелерін құру;
- тәуелсіз сарапшылар мен азаматтық қоғамның қатысуымен инвестициялар, жұмыспен қамту, шығарындылар, туристік ағындар және басқа да негізгі көрсеткіштерді мониторингтеуге арналған ашық цифрлық платформаны іске қосу;
- АЭА әкімшіліктерінің қызметін бағалауға арналған KPI жүйесін енгізу және міндеттемелердің орындалмауы үшін жауапкершілік тетіктерін қалыптастыру;
- «жасыл» стандарттарды ілгерілету: нысандарды сертификаттау, жаңартылатын энергия көздерін пайдалану, қалдықтарды бөлек жинау және қорғалатын аумақтарға түсетін жүктемені бақылау.

Қазақстан тәжірибесі тиісті институционалдық қолдау жағдайында арнайы экономикалық аймақтардың экономикалық, мәдени және экологиялық басымдықтарды үйлестіретін орнықты туризм платформасына айнала алатынын көрсетеді. Бұл аймақтарда басқару мен әріптестіктің инновациялық нысандары сынақтан өтуде. Үздіксіз мониторинг, саясаттың икемділігі және озық тәжірибелерді тарату ұзақ мерзімді тиімділікті қамтамасыз етудің негізгі шарттары болып табылады. Ұзақ мерзімді перспективада мұндай тәсіл туризмді тек табыс көзі ғана емес, орнықты әрі инклюзивті дамудың маңызды факторы ретінде қалыптастыруға мүмкіндік береді.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. UN General Assembly. (2025). Sustainable development goals: Development agenda. Retrieved June 3, 2025, from https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/about/development-agenda/
2. Невматуллина, К.А. (2016). Экономико-правовые механизмы деятельности специальных экономи-

ческих зон в Республике Казахстан. Сибирский торгово-экономический журнал, (1(22)), 55-59.
3. Karachev, I.A. (2020). Институциональная структура специальных экономических зон: проблемы и перспективы: Материалы в международной научно-практической интернет-конференции (№ 2, с. 52-55). Научный центр Вологды, Академия наук России.
4. Shatskaya, E.Yu. (2022). Analysis of the development and functioning of sustainable development institutions in contemporary conditions, pp. 106-110.
5. World Travel & Tourism Council. Economic impact research. https://wttc.org/
6. Balginova, K., et al. (2024). Analysis of tourism's impact on the economy, employment, and export potential of Kazakhstan. Eurasian Journal of Economic and Business Studies, 68 (4), 76-88.
7. Қазақстан Республикасы Ұлттық экономика министрлігінің Ұлттық статистика бюросы. Статистикалық деректер базасы. https://stat.gov.kz/ru/
8. «Kazakh Invest» ұлттық компаниясы. Арнайы экономикалық аймақтардың тізбесі. https://invest.gov.kz/ru/doing-business-here/fez-and/the-list-of-sez-and/
9. UNCTAD. (2024). The sustainability practices of special economic zones (IPA Observer No. 15).

Институциональное обеспечение реализации целей устойчивого развития через механизм специальных экономических зон в сфере туризма: опыт Казахстана

[1]*АХТУРСУНОВА Айгерим Орымбековна, *докторант, aigerima.bazh@gmail.com,*
[2]АНГЕЛОВ Иван, *PhD, профессор, ivanangel@abv.bg,*
[1]Карагандинский университет Казпотребсоюза, Караганда, Казахстан,
[2]Софийский университет «Святого Климента Охридского», София, Болгария,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *В статье изучаются вопросы институционального обеспечения реализации целей устойчивого развития (ЦУР) Организации Объединенных Наций в сфере туризма Казахстана через механизм специальных экономических зон (СЭЗ). Туризм рассматривается как важный фактор диверсификации экономики и регионального развития, определяется роль СЭЗ в сочетании инвестиционных стимулов с приоритетами устойчивого развития. Цель исследования – обоснование целесообразности использования институциональных механизмов специальных экономических зон для реализации Целей устойчивого развития в сфере туризма на примере Казахстана и разработка практических рекомендаций, направленных на совершенствование системы управления. В исследовании приоритет отдается целям ЦУР-8, ЦУР-11 и ЦУР-12, анализируется инвестиционная динамика, механизмы государственно-частного партнерства и экологические факторы на основе материалов специальных экономических зон «Туран» и «Алатау». Проводится сравнительный анализ опыта Узбекистана и России, демонстрируются региональные тенденции и институциональные различия. Результаты исследования обобщены предложениями, направленными на совершенствование системы управления туристской СЭЗ, повышение прозрачности и интеграцию в планирование и реализацию эколого-социальной устойчивости.*

Ключевые слова: *специальные экономические зоны, цели устойчивого развития, туризм, институциональное регулирование, Казахстан.*

Institutional Support for the Implementation of Sustainable Development Goals Through the SEZ Mechanism in the Field of Tourism: Kazakhstan's Experience

[1]*AKHTURSUNOVA Aigerim, *Doctoral Student, aigerima.bazh@gmail.com,*
[2]ANGELOV Ivan, *PhD, Professor, ivanangel@abv.bg,*
[1]Karaganda University of Kazpotrebsoyuz, Karaganda, Kazakhstan,
[2]Sofia University «Saint Kliment Ohridski», Sofia, Bulgaria,
**corresponding author.*

Abstract. *This study explores the institutional mechanisms supporting the implementation of the UN Sustainable Development Goals (SDGs) through the development of special economic zones (SEZs) in Kazakhstan's tourism sector. Recognizing tourism as a key driver of non-resource-based growth, the research addresses how SEZs serve as a policy tool to align investment incentives with sustainable development priorities. The purpose of the study is to substantiate the feasibility of using the institutional mechanisms of Special Economic Zones for the implementation of Sustainable Development Goals in the field of tourism on the example of Kazakhstan and develop practical recommendations aimed at improving the management system. Emphasis is placed on SDGs 8 (Decent Work and Economic Growth), 11 (Sustainable Cities and Communities), and 12 (Responsible Consumption and Production). Using case studies of SEZ «Turan» and SEZ «Alatau», the article analyzes investment dynamics, public-private partnership (PPP) mechanisms, and environmental considerations. Comparative insights from Uzbekistan and Russia highlight the broader regional relevance. The study concludes with recommendations aimed at improving SEZ governance, enhancing transparency, and integrating environmental and social sustainability into SEZ planning and operations.*

Keywords: *special economic zones, Sustainable Development goals, tourism, institutional support, Kazakhstan.*

REFERENCES

1. UN General Assembly. (2025). Sustainable development goals: Development agenda. Retrieved June 3, 2025, from https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/about/development-agenda/
2. Nevmatullina, K.A. (2016). Ekonomiko-pravovye mekhanizmy deyatel'nosti spetsial'nykh ekonomicheskikh zon v Respublike Kazakhstan. Sibirskii torgovo-ekonomicheskii zhurnal, 1(22), 55-59.
3. Karachev, I.A. (2020). Institutsional'naya struktura spetsial'nykh ekonomicheskikh zon: problemy i perspektivy. In Materialy V mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi internet-konferentsii (No. 2, pp. 52-55). Vologodskii nauchnyi tsentr Rossiiskoi akademii nauk.
4. Shatskaya, E.Yu. (2022). Analiz razvitiya i funktsionirovaniya institutov ustoichivogo razvitiya v sovremennykh usloviyakh (pp. 106-110).
5. World Travel & Tourism Council. Economic impact research. https://wttc.org/
6. Balginova, K., et al. (2024). Analysis of tourism's impact on the economy, employment, and export potential of Kazakhstan. Eurasian Journal of Economic and Business Studies, 68 (4), 76-88.
7. Byuro natsional'noi statistiki Ministerstva natsional'noi ekonomiki Respubliki Kazakhstan. Statisticheskaya baza dannykh. https://stat.gov.kz/ru/
8. Natsional'naya kompaniya «Kazakh Invest». Spisok spetsial'nykh ekonomicheskikh zon. https://invest.gov.kz/ru/doing-business-here/fez-and/the-list-of-sez-and/
9. UNCTAD. (2024). The sustainability practices of special economic zones (IPA Observer No. 15).

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_337 ӘОЖ 330.341.1

Қазақстан Республикасындағы технологиялар трансферінің қаржылық механизмдері

ГЛАЗУНОВА Светлана Борисовна, *докторант, glazunova_sb@keu.kz,*
https://orcid.org/0000-0001-7760-8389,
****БОРБАСОВА Зияда Назибековна,*** *э.ғ.д., профессор, borbasova@mail.ru,*
https://orcid.org/0000-0003-2314-7438,
ТАПЕНОВА Гульнур Сагатовна, *PhD, доцент, gulnur.tapenova_19@mail.ru,*
https://orcid.org/0000-0001-5139-3287,
ТЫНГИШЕВА Айнур Мухамедкалиевна, *PhD, доцент, ajnur-88@mail.ru,*
https://orcid.org/0000-0002-1957-4325,
Қазтұтынуодағы Қарағанды университеті, Қарағанды, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Қазақстан Республикасындағы технологиялар трансферінің қаржылық механизмдерін талдауға арналған. Зерттеудің мақсаты – ғылыми-зерттеу және тәжірибелік-конструкторлық жұмыстарды (ҒЗТКЖ) қаржыландырудың динамикасы мен құрылымын бағалау және зерттеу нәтижелерін коммерцияландыруды тежейтін қаржылық-институционалдық шектеулерді анықтау. Әдіснамалық негізіне салыстырмалы-салғастырмалы, статистикалық және динамикалық талдау әдістері енгізілді. Эмпирикалық база Қазақстан Республикасы Ұлттық статистика бюросының деректері мен отандық және шетелдік жарияланымдарға жасалған шолу нәтижелері негізінде қалыптастырылды. Абсолюттік мәнде ҒЗТКЖ-ға жұмсалатын ішкі шығындардың өсуі олардың экономикадағы үлесінің артуына алып келмейтіні анықталды, сонымен қатар қаржыландыру құрылымы бюджет қаражатының басымдығымен және бизнес пен сыртқы инвесторлардың шектеулі қатысуымен сипатталады. Қаржылық ағындардың конфигурациясы технологиялар трансфері тиімділігінің жүйелік факторы ретінде көрінеді, ал университеттік және кәсіпкерлік секторлар арасындағы қаржылық асимметрия олардың сыртқы ҒЗТКЖ-ға қатысуындағы айырмашылықтарды және ғылым мен бизнестің өзара ықпалдасу деңгейін көрсетеді. Нәтижелер ҒЗТКЖ-ны келісімшарттық қаржыландыруды және бірлесіп қаржыландыру механизмдерін кеңейтуге бағытталған саясат шараларын әзірлеуде пайдаланылуы мүмкін.*

Кілт сөздер: *технологиялар трансфері, ҒЗТКЖ қаржыландыруы, қаржылық механизм, коммерцияландыру, инновациялық жүйе.*

Кіріспе

Инновациялық экономиканы қалыптастыру және дамудың цифрлық модельдеріне көшу білімді өндіру мен тарату үдерісінің негізгі қатысушылары ретінде университеттер, бизнес және мемлекет арасындағы тиімді өзара іс-қимылдың маңыздылығын арттыруда. Осы жағдайларда технологиялар трансфері ғылыми нәтижелерді экономикалық құндылыққа айналдырудың және ұлттық экономиканың бәсекеге қабілеттілігін арттырудың аса маңызды тетігіне айналады. Қазақстандық университеттердің елеулі ғылыми әлеуетіне және ғылыми зерттеулерді мемлекеттік қаржыландыру көлемінің өсуіне қарамастан, ғылыми әзірлемелерді коммерцияландыру және технологияларды экономиканың нақты секторына беру үдерістері жеткілікті деңгейде дамымаған күйінде қалып отыр. Бұл инновацияларды енгізудің шектелуіне тікелей әсер етіп, ғылымға салынған инвестициялардың қайтарымын төмендетеді және елдің жаһандық білім экономикасына толыққанды интеграциялануына кедергі келтіреді.

Халықаралық ғылыми әдебиетте технологиялар трансферінің тиімділігі институционалдық инфрақұрылым, қаржылық ынталандырулар және инновациялық жүйе қатысушыларының өзара іс-қимыл тетіктері тұрғысынан қарастырылады. Мәселен, Giovanni Tolin және Andrea Piccaluga университеттердің ішкі инфрақұрылымының, соның ішінде коммерцияландыру кеңселерінің, технологиялық трансфер нәтижелілігі үшін маңыздылығын атап өтеді [1]. Biyun Xiao, Ling Chen және Haibo Li кәсіпорындардың қаржылық ресурстарға қолжетімділігі

олардың инновациялық белсенділігін және технологиялық шешімдерді енгізу қабілетін едәуір арттыратынын көрсетеді [2]. Zarea және авторлар ұжымы қаржылық қолдау мен мемлекеттік бағдарламалар технологиялар трансферінің институционалдық негізін қалыптастыратынын, алайда оның тиімділігі ең алдымен зерттеу орталықтарының өнеркәсіптік серіктестермен өзара іс-қимылының сипатына және коммерцияландырудың ішкі үдерістерін ұйымдастыру сапасына тәуелді екенін атап көрсетеді [3].

Отандық зерттеулер де ғылыми әзірлемелерді коммерцияландыру мәселелеріне назар аударады. Д.А. Ситенко Қазақстандағы зерттеу нәтижелерін коммерцияландыруды дамытудың негізгі кедергілерін айқындайды [4]. Алибекова Г.Ж. және авторлар ұжымы инновациялық өнім экспортын коммерцияландырудың нәтижелік индикаторларының бірі ретінде қарастырып, оның инновациялық белсенділік динамикасымен және ұлттық инновациялық жүйенің басқа параметрлерімен уақытша ескере отырып байланысын көрсетеді [5]. Өз кезегінде, Едгенов Б.М. және авторлар ұжымы мемлекеттік қаржыландырылатын ғылыми жобаларды талдай отырып, бірлесіп қаржыландыру мен жеке сектордың қатысуы зерттеу нәтижелерін коммерцияландыру ықтималдығын арттыратын факторлар екенін дәлелдейді [6].

Жалпы алғанда, аталған зерттеулер технологиялар трансферін дамыту үшін институционалдық инфрақұрылым мен қаржылық ресурстардың маңыздылығын растайды. Сонымен бірге, ҒЗТКЖ-ны мемлекеттік қаржыландыру басым болатын экономикалар жағдайында қаржыландыру көлемі ғана емес, сонымен қатар қаржылық ағындардың инновациялық жүйенің негізгі секторлары арасында бөліну құрылымы ерекше маңызға ие болады. Отандық әдебиетте бұл аспект фрагментарлы зерттелген және қосымша талдауды қажет етеді, осыған байланысты технологиялар трансферінің қаржылық механизмдерін ҒЗТКЖ шығындарын мемлекет, университеттік сектор және кәсіпкерлік орта арасында бөлу тұрғысынан зерттеу, сондайақ олардың ғылыми әзірлемелерді коммерцияландыруға әсерін бағалау қажеттілігі өзекті бола түседі. Зерттеудің ғылыми үлесі технологиялар трансфері тиімділігінің жүйелік факторы ретінде ҒЗТКЖ қаржыландыру құрылымының рөлін нақтылауда көрінеді.

Зерттеу әдістері.

ҒЗТКЖ-ны қаржылық қамтамасыз ету мен технологиялар трансфері саласындағы құрылымдық теңгерімсіздіктерді анықтау үшін статистикалық, салыстырмалы және динамикалық талдау әдістері қолданылды. Талдау келесі бағыттар бойынша жүргізілді: (i) 2012-2024 жж. аралығындағы ҒЗТКЖ-ға жұмсалған ішкі шығындардың динамикасы; (ii) 2020-2024 жж. қаржыландыру көздерінің құрылымы; (iii) ішкі және сыртқы ҒЗТКЖ шығындарының экономика секторлары мен қаражатты пайдалану бағыттары (еңбекақы төлеу, қызметтер, негізгі құралдар және т.б.) бойынша бөлінуі. Эмпирикалық базаны Қазақстан Республикасы Ұлттық статистика бюросының ресми статистикалық деректері және ЭЫДҰ-ның салыстырмалы материалдары құрады. Зерттеудің шектеуі ретінде макро- және мезодеңгейдегі агрегатталған статистикалық деректерді пайдалану қарастырылады, алайда таңдалған тәсіл ғылыми нәтижелерді коммерцияландыруға әсер ететін қаржылық ағындардың жүйелік ерекшеліктерін анықтауға мүмкіндік береді.

Ғылыми нәтижелер. Бұл бөлімде ғылыми-зерттеу және тәжірибелік-конструкторлық жұмыстарға жұмсалатын шығындарды қаржыландыруға егжей-тегжейлі талдау ұсынылған (1-сурет).

Талдау қарастырылып отырған кезеңде ҒЗТКЖ-ға жұмсалатын ішкі шығындардың абсолюттік көлемінің тұрақты өсуі байқалатынын көрсетеді. Егер 2015 жылы бұл көрсеткіш 69,3 млрд теңгені құраса, 2024 жылға қарай ол үш еседен астам өсіп, 219,7 млрд теңгеге жетті. Ғылымды қаржыландырудың ең елеулі өсуі 2020 жылдан кейін тіркелді, бұл ғылыми-зерттеу қызметін қолдау саласындағы мемлекеттік саясаттың жандануын көрсетеді. Сонымен бірге салыстырмалы көрсеткіштің – ҒЗТКЖ-ға жұмсалатын ішкі шығындардың жалпы өңірлік өнімдегі үлесінің динамикасы тұрақсыз болып қалып отыр және 0,12-0,17% аралығында ауытқиды. Жекелеген жылдары көрсеткіштің шамалы өсуіне қарамастан, оның деңгейі тұрақты өсу үрдісін көрсетпейді. Абсолюттік және салыстырмалы көрсеткіштер динамикасын салыстыру ҒЗТКЖ қаржыландыруының экстенсивті сипаты сақталып отырғанын көрсетеді, мұнда қаржы көлемінің ұлғаюы олардың экономика құрылымындағы үлесінің артуымен қатар жүрмейді.

Мұндай жағдай технологиялар трансферінің қаржылық механизмдерінің әлеуетін шектейді, өйткені ЖІӨ-дегі ҒЗТКЖ үлесінің төмен деңгейі ғылыми әзірлемелерді коммерцияландыру үдерістерін ресурстық қамтамасыз етудің жеткіліксіздігін және ғылымды қаржыландыруға кәсіпкерлік сектордың тартылуының әлсіздігін сақтайды. Қаржыландырудың мұндай конфигурациясы секторлар арасындағы келісімшарттық өзара іс-қимыл нысандары мен тәуекелдерді бөлу тетіктерінің дамуын шектеп, ҒЗТКЖ нәтижелерінің нарықтық технологияларға айналу қарқынын төмендетеді және коммерциялан-

дыру үдерісін баяулатады.

Жалпы алғанда, ұсынылған динамика ғылымды қаржыландырудың абсолюттік өсімі мен ҒЗТКЖ-ның экономикалық жүйеге әлсіз интеграциясы арасындағы құрылымдық алшақтықтың бар екенін көрсетеді, бұл технологиялар трансферінің қаржылық механизмдерінің тиімділігін төмендетеді және негізінен бюджеттік қаржыландыруға бағдарланған модельден жеке сектордың кеңейтілген қатысуымен неғұрлым теңгерімді жүйеге көшу қажеттілігін өзектендіреді. Аталған шектеулер ҒЗТКЖ қаржыландыру көздерінің бөлінісінде көрініс табады, оны талдау технологиялар трансферінің қолданыстағы қаржылық механизмдерінің ерекшеліктерін неғұрлым егжей-тегжейлі бағалауға мүмкіндік береді.

ҒЗТКЖ-ға жұмсалатын ішкі шығындардың қаржыландыру көздері бойынша құрылымы 1-кестеде ұсынылған. Деректерді талдау Қазақстан Республикасында ғылыми қызметті қаржыландырудың негізінен бюджеттік-бағдарланған моделі сақталып отырғанын көрсетеді.

2020-2023 жылдары ҒЗТКЖ-ға бағытталатын бюджеттік қаражат көлемінің өсуі байқалады: 2020 жылғы 46,3 млрд теңгеден 2023 жылы 129,0 млрд теңгеге дейін, ал 2024 жылы бюджеттік қаржыландыру көлемі 77,1 млрд теңгені құрады. Осылайша, мемлекеттік бюджет ғылыми зерттеулерді қаржыландырудың қаржылық механизмдері жүйесінде басым мәнін сақтап отырғаны айқын көрінеді. Сонымен қатар ғылыми ұйымдардың меншікті қаражаттарының үлесінің қысқаруы байқалады. Егер 2020-2021 жылдары олардың көлемі 35 млрд теңгеден асса, 2024 жылға қарай 15,6 млрд теңгеге дейін төмендеді. Мұндай динамика ғылыми ұйымдардың қаржылық дербестігінің әлсіреуін, сондай-ақ олардың ғылыми әзірлемелерге ішкі ресурстар есебінен инвестиция салу мүмкіндігінің төмендеуін көрсетеді, бұл зерттеу қызметінің бюджеттік қаржыландыруға тәуелділігін растайды. ҒЗТКЖ-ны қаржыландырудағы шетелдік инвестициялар мардымсыз және тұрақсыз күйінде қалып отыр, жылына 2-3 млрд теңгеден аспайды, ал 2024 жылы 0,9 млрд теңгеге дейін қысқарды, бұл ұлттық ғылыми жүйенің халықаралық инновациялық және зерттеу желілеріне интеграциялану деңгейінің төмендігін көрсетеді. Заңды тұлғалардың қаражаты 2023 жылға дейін орташа өсімді көрсетті (8,8 млрд теңге), алайда 2024 жылы олардың көлемі 4,5 млрд



1-сурет – 2012-2024 жылдардағы ҒЗТКЖ-ға жұмсалған ішкі шығындар динамикасы

Дереккөз: авторлар [7] деректері негізінде құрастырған

1-кесте – 2020-2024 жылдардағы ҒЗТКЖ-ға жұмсалған ішкі шығындар қаржыландыру көздері бойынша

(млрд теңге)

Көрсеткіш / Жыл	2020	2021	2022	2023	2024
Барлық шығындар	89,0	109,3	121,6	172,6	219,7
бюджет қаражаты	46,3	64,1	82,0	129,0	77,1
ғылыми ұйымдардың меншікті қаражаты	35,5	36,5	28,0	27,6	15,6
шетелдік инвестициялар	2,2	2,1	2,8	2,9	0,9
банктердің қарыздары	0,1	0,04	0,1	0,1	0,1
заңды тұлғалардың қаражаты	3,8	4,5	6,5	8,8	4,5
қаржыландырудың өзге көздері	1,1	2,1	2,2	4,1	6,2

Дереккөз: авторлар [7] деректері негізінде құрастырған

теңгеге дейін қысқарып, кәсіпкерлік сектордың ғылыми зерттеулерді қаржыландыруға қатысуының жеткілікті тұрақты еместігін айғақтайды. Банктік қарыздар мен өзге қаржыландыру көздері қосалқы рөл атқарады және ҒЗТКЖ құрылымына елеулі әсер етпейді.

Жалпы алғанда, қалыптасқан қаржыландыру көздерінің құрылымы бюджеттік-бағдарланған қаржылық механизмнің басымдығын көрсетеді, мұнда ҒЗТКЖ-ға жұмсалатын ішкі шығындардың өсуі негізінен мемлекеттік қаражат есебінен қамтамасыз етіледі, ал бизнес пен сыртқы инвесторлардың қатысуы салыстырмалы түрде төмен деңгейде қалып отыр. Қаржылық механизмдердің мұндай конфигурациясы ғылыми әзірлемелерді коммерцияландыруға бағытталған нарықтық ынталандырулардың дамуын тежейді және технологиялар трансферінің тұрақты арналарын қалыптастыруды шектейді.

ҒЗТКЖ қаржыландыру көздерінің анықталған ерекшеліктері қаржылық ресурстардың экономика секторлары арасында бөлінуін айқындайды. Осыған байланысты әрі қарайғы талдау ҒЗТКЖ-ға жұмсалатын ішкі және сыртқы шығындарды экономика секторлары бойынша қарастыруға бағытталған, бұл технологиялар трансферінің қаржылық механизмдерінің жұмыс істеуіндегі әртүрлі институционалдық қатысушылардың рөлін бағалауға мүмкіндік береді (2-кесте).

2-кесте деректері ҒЗТКЖ-ға жұмсалатын ішкі және сыртқы шығындардың экономика секторлары мен ресурстарды пайдалану бағыттары бойынша бөлінуін сипаттайды. Ішкі шығындардың жалпы көлемі 219,67 млрд теңгені құрады. Ішкі шығындардың жартысынан астамы ғылыми қызметкерлердің еңбекақысын төлеуге тиесілі (115,2 млрд теңге), бұл ғылыми қызметтің еңбек сыйымдылығы жоғары моделін көрсетеді, мұнда негізгі ресурс ретінде адами капитал ойнайды. Сонымен қатар негізгі құралдар мен ғылыми жабдықтарға салынатын инвестициялар салыстырмалы түрде шектеулі болып қалып отыр, бұл зерттеу базасының технологиялық жаңғыртылуын тежеп, әзірлемелерді коммерцияландыру әлеуетін төмендетуі мүмкін. Ішкі шығындардың секторлары бойынша бөлінісі ғылыми зерттеулерді жүргізуде және елдің ғылыми әлеуетін қалыптастыруда жоғары білім беру секторының (95,16 млрд теңге) және мемлекеттік сектордың (60,96 млрд теңге) жетекші рөлін көрсетеді. Кәсіпкерлік сектор ішкі шығындардың салыстырмалы көлемін көрсетеді (60,86 млрд теңге), алайда оның ерекшелігі ҒЗТКЖ-ға жұмсалатын сыртқы шығындардың елеулі көлемімен (36,79 млрд теңге) сипатталады, бұл бизнестің зерттеулерді орындаудың келісімшарттық және аутсорсингтік нысандарына бағдарлануын көрсетеді. Жоғары білім беру секторында сыртқы шығындар ең төмен деңгейде қалып отыр (0,47 млрд теңге), бұл ғылыми зерттеулердің басым түрде ұйымішілік сипатта жүргізілетінін және тапсырыстық ҒЗТКЖ орналастыру тәжірибесінің шектеулі екенін көрсетеді. Жалпы алғанда, шығындардың қалыптасқан құрылымы кәсіпкерлік сектор тарапынан сыртқы зерттеулерге сұраныстың бар екенін, ал университеттік ортада ішкі зерттеу форматының басымдығын көрсетеді. Мұндай конфигурация бизнес сұранысы мен университеттердің ғылыми-технологиялық өзара іс-қимылдың келісімшарттық нысандарына қатысуы арасындағы үйлесімділіктің жеткіліксіздігін білдіруі мүмкін, бұл ғылыми нәтижелердің коммерциялық тұрғыдан сұранысқа ие шешімдерге айналуын шектейді.Технологиялар трансфері жүйесінде мемлекет, университеттер және бизнес арасындағы қаржылық ресурстардың бөлінуінің анықталған ерекшеліктері 2-суретте ұсынылған.

2-суретте технологиялар трансферінің негізгі институционалдық қатысушылары

2-кесте – Экономика секторлары бойынша ҒЗТКЖ-ға ішкі және сыртқы шығындарды талдау

(млрд теңге)

Сектор	ҒЗТКЖ-ға ішкі шығындар	Еңбекақы төлеу	Қызметтерді сатып алу	Негізгі құралдар	оның ішінде ғылыми жабдықтар	Өзге ағымдағы шығындар	ҒЗТКЖ-ға сыртқы шығындар
Барлығы	219,67	115,20	26,03	33,98	19,02	44,46	41,65
Мемлекеттік сектор	60,96	33,72	7,64	9,24	4,26	10,37	2,99
Жоғары кәсіптік білім беру секторы	95,16	52,70	8,92	16,01	9,26	17,52	0,47
Кәсіпкерлік сектор	60,86	27,62	8,86	8,44	5,39	15,94	36,79
Коммерциялық емес сектор	2,70	1,16	0,61	0,29	0,12	0,63	1,41

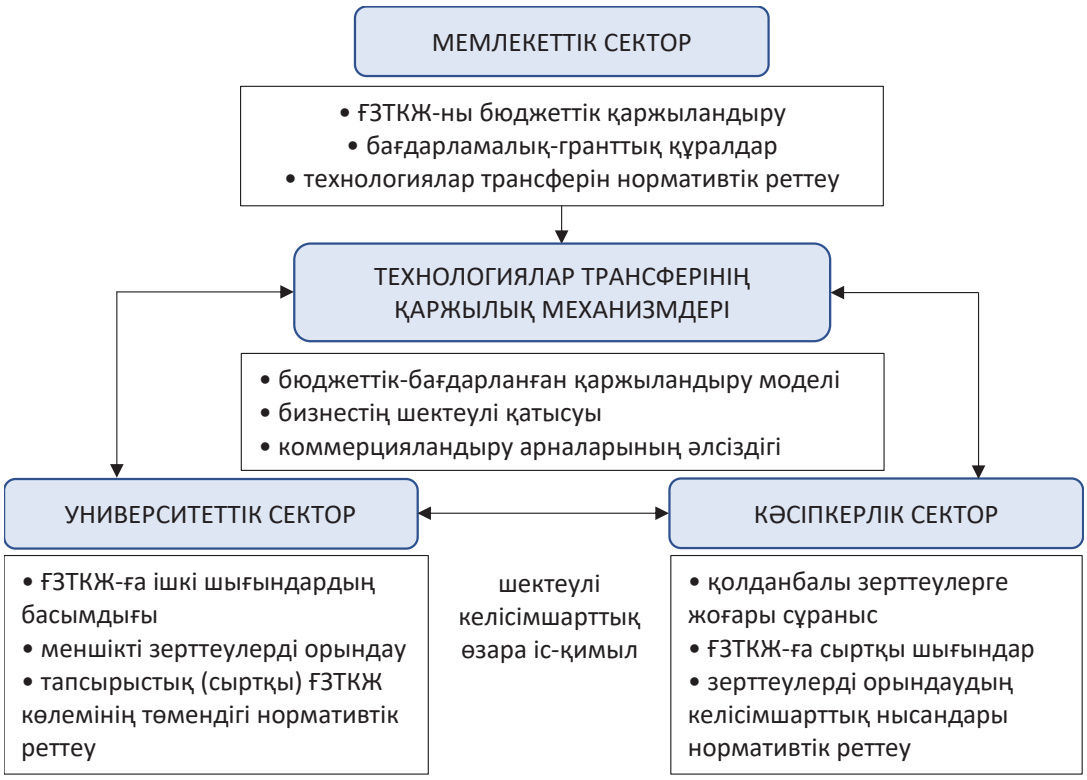
Дереккөз: авторлар [7] деректері негізінде құрастырған

арасындағы қаржылық өзара іс-қимыл схемасы ұсынылған. Негізгі назар ішкі және сыртқы ҒЗТКЖ шығындарының бөлінуіндегі асимметрияға аударылған, бұл университеттік және кәсіпкерлік секторлар арасындағы алшақтықты қалыптастырады. Аталған құрылым ғылыми нәтижелерді коммерцияландыру тиімділігін төмендетеді.

Қорытынды. Жүргізілген талдау Қазақстан Республикасында ғылыми-зерттеу және тәжірибелік-конструкторлық жұмыстарды қаржыландырудың абсолюттік көлемі өскеніне қарамастан, қазіргі жағдайда технологиялар трансфері жүйесінің дамуын шектейтін бірқатар жүйелік қаржылық шектеулер сақталып отырғанын көрсетті. ҒЗТКЖ шығындарының салыстырмалы деңгейі ЭЫДҰ елдерінің көрсеткіштерінен едәуір төмен болып қалып отыр, бұл өз кезегінде экономиканың инновациялық әлеуетін шектеп, ғылымның тұрақты экономикалық өсуді қамтамасыз етудегі рөлін төмендетеді. ҒЗТКЖ қаржыландыру құрылымы бюджеттік қаражаттың басымдығымен және кәсіпкерлік сектор мен сыртқы инвесторлардың шектеулі қатысуымен сипатталады. Университеттер мен мемлекеттік ғылыми ұйымдар негізінен ішкі зерттеулерді орындауға шоғырланған, ал тапсырыстық ғылыми әзірлемелер мен бизнеспен келісімшарттық өзара іс-қимыл тетіктері жеткілікті дамымаған күйінде қалып отыр. Бұл ғылыми білім өндіру мен оны практикалық қолдану арасындағы қаржылық тұрғыдан шартталған институционалдық алшақтықты қалыптастырады. Сонымен қатар кәсіпкерлік сектор ғылыми әзірлемелерге тұрақты сұраныс танытады, бұл ҒЗТКЖ-ға сыртқы шығындардың жоғары деңгейінде көрініс табады. Алайда аталған сұраныс университеттік орта арқылы шектеулі деңгейде іске асырылуда, бұл университет–өнеркәсіп өзара іс-қимылының қолданыстағы тетіктерінің жеткілікті тиімді еместігін көрсетеді.

Қазақстан Республикасында технологиялар трансферінің қаржылық механизмдерін дамыту перспективалары ғылымды қаржыландырудың негізінен бюджеттік-бағдарланған моделінен зерттеулерді бірлесіп қаржыландыруды қамтамасыз ететін кәсіпкерлік сектордың белсенді қатысуымен неғұрлым теңгерімді жүйеге көшуімен байланысты.

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырады (№ AP26102391 «Университеттердің, мемлекет пен бизнестің тиімді өзара іс-қимылының модельдері: Қазақстанның цифрлық экономикасына технологиялар трансферінің механизмдері» гранты).



2-сурет – Технологиялар трансферінің қаржылық механизмдері және негізгі институционалдық секторлардың өзара іс-қимыл сипаты

Дереккөз: авторлар [7] деректері негізінде құрастырған

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Tolin G., Piccaluga A. Commercializing technology from university-industry collaborations: A configurational perspective on organizational factors // Journal of Business Research. – 2025. – Vol. 188. – Art. 115105. – Electronic resource – URL: https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2024.115105
2. Xiao B., Chen L., Li H. Impact of SciTech – Finance integration policy implementation on SME innovation performance: Mediating effect of tax burden // Finance Research Letters. – 2025. – Vol. 77. – Art. 107031. – Electronic resource – URL: https://doi.org/10.1016/j.frl.2025.107031
3. Zarea F., Douglas E.J., Obschonka M. et al. When the marketplace comes to the research laboratory: technology transfer efficiency of innovation-driven publicly funded research centers // Journal of Technology Transfer. – 2025. – Vol. 50. – Pp. 2556-2586. – Electronic resource – URL: https://doi.org/10.1007/s10961-025-10188-9
4. Sitenko D.A. Analysis of the main forms and types of commercialization of R&D // Buketov Business Review. – 2022. – No. 4. – Pp. 126-134. – Electronic resource – URL: https://doi.org/10.31489/2022ec4/126-134
5. Alibekova G.Zh. Evaluation of technology commercialization factors in Kazakhstan // Economy: Strategy and Practice. – 2024. – Vol. 19, No. 2. – Pp. 45-60.
6. Yedgenov B.M. Determinants of effective commercialization of scientific projects funded by the government in Kazakhstan // Innovation and Development. – 2025. – Advance online publication. – Electronic resource – URL: https://www.tandfonline.com/journals/riad20
7. Қазақстан Республикасы Стратегиялық жоспарлау және реформалар агенттігінің Ұлттық статистика бюросының деректері. – Электрондық ресурс – URL: https://stat.gov.kz/ (қаралған күні: 10.02.2026).

Финансовые механизмы трансфера технологий в Республике Казахстан

ГЛАЗУНОВА Светлана Борисовна, *докторант, glazunova_sb@keu.kz,*
https://orcid.org/0000-0001-7760-8389,
****БОРБАСОВА Зияда Назибековна,*** *д.э.н., профессор, borbasova@mail.ru,*
https://orcid.org/0000-0003-2314-7438,
ТАПЕНОВА Гульнур Сагатовна, *PhD, доцент, gulnur.tapenova_19@mail.ru,*
https://orcid.org/0000-0001-5139-3287,
ТЫНГИШЕВА Айнур Мухамедкалиевна, *PhD, доцент, ajnur-88@mail.ru,*
https://orcid.org/0000-0002-1957-4325,
Карагандинский университет Казпотребсоюза, Караганда, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Статья посвящена анализу финансовых механизмов трансфера технологий в Республике Казахстан. Цель исследования – оценить динамику и структуру финансирования научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) и выявить финансово-институциональные ограничения, сдерживающие коммерциализацию результатов исследований. Методологическая основа включает сравнительно-сопоставительный, статистический и динамический анализ. Эмпирическая база сформирована на данных Бюро национальной статистики Республики Казахстан и результатах обзора отечественных и зарубежных публикаций. Выявлено, что рост внутренних затрат на НИОКР в абсолютном выражении не приводит к увеличению их доли в экономике, при этом структура финансирования характеризуется доминированием бюджетных средств и ограниченным участием бизнеса и внешних инвесторов. Конфигурация финансовых потоков выступает системным фактором эффективности трансфера технологий, при этом финансовая асимметрия между университетским и предпринимательским секторами отражает различия их участия во внешних НИОКР и степень сопряжённости науки и бизнеса. Результаты могут быть использованы при разработке мер политики, направленных на расширение контрактного финансирования и механизмов софинансирования НИОКР.*

Ключевые слова: *трансфер технологий, финансирование НИОКР, финансовый механизм, коммерциализация, инновационная система.*

Financial Mechanisms of Technology Transfer in the Republic of Kazakhstan

GLAZUNOVA Svetlana, *Doctoral Student, glazunova_sb@keu.kz,*
https://orcid.org/0000-0001-7760-8389,
****BORBASOVA Ziyada,*** *Dr. of Econ. Sc., Professor, borbasova@mail.ru,*
https://orcid.org/0000-0003-2314-7438,
TAPENOVA Gulnur, *PhD, Associate Professor, gulnur.tapenova_19@mail.ru,*
https://orcid.org/0000-0001-5139-3287,
TYNGISHEVA Ainur, *PhD, Associate Professor, ajnur-88@mail.ru,*
https://orcid.org/0000-0002-1957-4325,
Karaganda University of Kazpotrebsoyuz, Karaganda, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *The article is devoted to the analysis of financial mechanisms of technology transfer in the Republic of Kazakhstan. The purpose of the study is to assess the dynamics and structure of financing of research and development (R&D) and to identify financial and institutional constraints hindering the commercialization of research results. The methodological framework includes comparative, statistical, and dynamic analysis. The empirical base is formed using data from the Bureau of National Statistics of the Republic of Kazakhstan and a review of domestic and international publications. The study reveals that the growth of internal R&D expenditures in absolute terms does not lead to an increase in their share in the economy, while the funding structure is characterized by the dominance of budgetary resources and limited participation of business and external investors. The configuration of financial flows acts as a systemic factor in the efficiency of technology transfer, while financial asymmetry between the university and business sectors reflects differences in their participation in external R&D and the degree of science–industry linkage. The results may be used in developing policy measures aimed at expanding contract-based financing and co-financing mechanisms for R&D.*

Keywords: *technology transfer, R&D financing, financial mechanism, commercialization, innovation system.*

REFERENCES

1. Tolin G., Piccaluga A. Commercializing technology from university – industry collaborations: A configurational perspective on organizational factors. Journal of Business Research, 2025, Vol. 188, Art. 115105. Available at: https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2024.115105
2. Xiao B., Chen L., Li H. Impact of SciTech – Finance integration policy implementation on SME innovation performance: Mediating effect of tax burden. Finance Research Letters, 2025, Vol. 77, Art. 107031. Available at: https://doi.org/10.1016/j.frl.2025.107031
3. Zarea F., Douglas E.J., Obschonka M., et al. When the marketplace comes to the research laboratory: Technology transfer efficiency of innovation-driven publicly funded research centers. Journal of Technology Transfer, 2025, Vol. 50, pp. 2556-2586. Available at: https://doi.org/10.1007/s10961-025-10188-9
4. Sitenko D.A. Analysis of the main forms and types of commercialization of R&D. Buketov Business Review, 2022, No. 4, pp. 126-134. Available at: https://doi.org/10.31489/2022ec4/126-134
5. Alibekova G.Zh. Evaluation of technology commercialization factors in Kazakhstan. Economy: Strategy and Practice, 2024, Vol. 19, No. 2, pp. 45-60.
6. Yedgenov B.M. Determinants of effective commercialization of scientific projects funded by the government in Kazakhstan. Innovation and Development, 2025, Advance online publication. Available at: https://www.tandfonline.com/journals/riad20
7. Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan. Available at: https://stat.gov.kz/ (accessed: 10 February 2026).

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_344 УДК 33:378

Студенческие стартапы как инструмент формирования предпринимательской активности молодежи

УТЕМУРАТОВА Басира Казбековна, *к.п.н., старший преподаватель, b.utemuratova@ktu.edu.kz,*
****ТИМОХИНА Татьяна Владимировна,*** *старший преподаватель, t.timokhina@ktu.edu.kz,*
АКЫНЖАНОВА Алма Акынжановна, *магистр, старший преподаватель, a.akynhzanova@ktu.edu.kz,*
АМАНБЕКОВА Анель Ерденовна, *магистрант, amanbekova.anel@mail.ru,*
ТОГАЙБАЕВА Люсия Исламовна, *к.э.н., доцент, toglusia@mail.ru,*
Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *В условиях цифровизации образовательной среды и инновационной экономики возрастает значимость студенческого предпринимательства. Цель данной статьи – исследовать роль студенческих стартапов в активизации предпринимательской деятельности среди молодежи, проанализировать их особенности и потенциальные возможности развития, а также определить формы институциональной поддержки подобных инициатив. В статье раскрываются теоретические основы понятия «стартап» с акцентом на особенности студенческих проектов. Особое внимание уделено применению технологий искусственного интеллекта для повышения эффективности стартапов. Проанализированы успешные кейсы студентов КарТУ имени Абылкаса Сагинова, включая проекты Linker.kz, Tór, Nomad Smart и CargoTrack. Рассмотрены формы институциональной поддержки – гранты, бизнес-инкубаторы, акселераторы. Авторы подчеркивают важность интеграции стартап-практик в образовательные программы вузов.*

Ключевые слова: *студенческие стартапы, предпринимательская активность, цифровая экономика, искусственный интеллект, инновации, профессиональные компетенции, образовательная среда, вуз, молодёжное предпринимательство, бизнес-инкубатор.*

Введение

В условиях глобальных экономических изменений и ускоренной цифровизации возрастает потребность в подготовке студентов, способных не только адаптироваться к требованиям рынка труда, но и выступать инициаторами инновационных идей, направленных на решение актуальных социально-экономических проблем.

Одним из наиболее эффективных способов развития предпринимательских навыков среди молодежи, на наш взгляд, является создание студенческих стартапов, которые способствуют формированию у студентов не только предпринимательского духа, но и критических, аналитических и организационных навыков, необходимых для ведения бизнеса.

В последние десятилетия студенческое предпринимательство становится важным компонентом современной образовательной и экономической системы. Стартапы, как бизнес-инициативы с высоким потенциалом роста и внедрения инновационных технологий, становятся не только инструментом для достижения экономического успеха, но и важным элементом образовательного процесса, способствующим развитию профессиональных компетенций и навыков, востребованных на рынке труда. Преобразования, происходящие в глобальной экономике, технологическом ландшафте и сфере образования, оказывают влияние на формирование стартап-культуры в студенческой среде, что требует более глубокого анализа особенностей и факторов, влияющих на успех студенческих предприятий.

Интеграция новых технологий, включая искусственный интеллект и цифровые решения, в стартап-проекты способствует их быстрому росту и конкурентоспособности. В этом контексте рассмотрение студенче-

ских стартапов как ключевых элементов цифровой трансформации образовательной и экономической среды приобретает особую актуальность. Несмотря на значительное количество теоретических и практических исследований в области стартапов и предпринимательства, вопросы, связанные с особенностями реализации студенческих стартапов, поддержкой их развития и интеграцией в образовательные программы вузов, остаются недостаточно раскрытыми.

Методы исследования

Для обеспечения научной обоснованности и достоверности полученных результатов в рамках данного исследования была применена совокупность эмпирических и теоретических методов, направленных на всесторонний анализ студенческих стартапов как инструмента формирования предпринимательской активности молодежи. Учитывая междисциплинарный характер рассматриваемой проблематики, включающей аспекты экономики, образования, социологии и информационных технологий, выбор методов был обусловлен необходимостью охвата как качественных, так и количественных характеристик исследуемого явления.

Первоначально был использован анализ научной литературы, который позволил определить теоретико-методологические основы исследования, выделить ключевые концепции и подходы к изучению студенческой предпринимательской активности, а также сформировать гипотезы и направления дальнейшего эмпирического анализа. На его базе были сформированы критерии для отбора кейсов и оценки институциональных механизмов поддержки стартапов.

Кейс-метод стал инструментом детального изучения конкретных примеров успешных студенческих стартапов, реализованных в КарТУ имени Абылкаса. Сагинова. Этот метод позволил раскрыть особенности функционирования проектов, применяемые управленческие практики, а также определить ключевые факторы их устойчивости и роста.

Для сбора первичной информации и получения взглядов непосредственных участников стартап-деятельности были использованы методы опроса и интервью, направленные на выявление мотивационных установок студентов, барьеров, с которыми они сталкиваются, и их восприятия механизмов поддержки. Эмпирические данные позволили подтвердить, дополнить и в отдельных случаях скорректировать выводы, полученные на предыдущих этапах исследования.

Применение данных методов позволило выявить ключевые тенденции, проблемы и перспективы развития стартап-движения в студенческой среде, а также оценить эффективность существующих механизмов поддержки и интеграции предпринимательства в образовательный процесс.

Научные результаты

В настоящее время студенческая предпринимательская активность активно развивается, что связано с растущим интересом студентов к реализации своих идей в инновационные и масштабируемые проекты. Это объясняется повышенным спросом на возможность реализации стартапов в рамках высших учебных заведений, которые предоставляют благоприятные условия для быстрого и эффективного воплощения предпринимательских замыслов. В университетах создаются разнообразные инкубаторы, акселераторы и стартап-платформы, способствующие реализации идей молодых людей и их интеграции в предпринимательскую среду.

Для понимания сути этого процесса полезно обратиться к определению термина «стартап». В дословном переводе с английского языка слово «стартап» может быть интерпретировано как «запуск» или «начало движения вверх». Эта трактовка отражает суть явления, подчеркивая, что стартап представляет собой старт инициативы, целью которой является не только создание инновационного продукта, но и достижение дальнейшего развития, будь то карьерный рост или другие формы социальной мобильности.

Тем не менее, подобное понимание термина «стартап» требует уточнения. Стартап – это, прежде всего, реализация инновационной идеи, которая находится на начальной стадии своего развития, когда проект лишь формируется и часто не располагает значительными финансовыми ресурсами. Основной характеристикой стартапа является стремление протестировать и развить уникальную концепцию с минимальными вложениями. Это особенно актуально для студенческой аудитории, которая сталкивается с ограниченными ресурсами, но имеет высокий потенциал для генерации креативных и инновационных идей [1].

В последние годы технологии искусственного интеллекта прочно вошли в бизнес-среду и оказали значительное влияние на все секторы экономики. Особенно это актуально для IT-стартапов, которые работают в условиях высокой конкуренции и быстро меняющихся рыночных реалий. Искусственный интеллект предоставляет таким компаниям уникальные возможности для автоматизации процессов, повышения эффективности и создания инновационных решений. В частности, ИИ помогает стартапам улучшать пользовательский опыт, оптимизировать бизнес-процессы и предсказывать

изменения на рынке, что значительно повышает их конкурентоспособность [2].

На этом фоне возрастает значимость университетской инфраструктуры как среды, способной не только поддержать предпринимательские инициативы студентов, но и интегрировать передовые технологии в образовательный процесс. Одним из ярких примеров такой поддержки являются университетские конкурсы стартапов, которые формируют мост между академическими знаниями и практической реализацией бизнес-идей. Среди высших учебных заведений особой популярностью пользуются конкурсы и мероприятия, победа в которых сопровождается предоставлением грантов на развитие проекта. Они позволяют превратить идею не только в концептуально оформленный проект, но и в продукт, имеющий конкретное воплощение, пригодное для коммерциализации.

Так, ежегодный конкурс «StarTUp», проводимый в Карагандинском техническом университете имени Абалкаса Сагинова, предоставляет студентам возможность представить бизнес-идею и при успешном прохождении всех этапов – получить грант на её реализацию. В 2024 году грантовую поддержку стартапов «StarTUp – 2024» получили 10 студентов. Студенты факультета инновационных технологий КарТУ имени Абылкаса Сагинова представили проект *Linker.kz* (см. *https://linker.kz/*). *Linker.kz* – это инновационный сервис автоматизации заказов для Instagram-бизнеса. Он помогает предпринимателям оптимизировать процесс обработки заказов, экономить время и повышать эффективность продаж. Сервис предоставляет пользователям удобный инструмент для автоматизации рутинных операций, таких как прием и обработка заказов, что позволяет сосредоточиться на масштабировании бизнеса и улучшении качества обслуживания клиентов.

Разработанный следующей командой проект Tór представляет собой современную платформу для бронирования столиков и предзаказа блюд, которая интегрируется с цифровыми системами управления заведений, обеспечивая удобство для пользователей и эффективность для бизнеса. Основными задачами при разработке стали создание интуитивно понятного интерфейса и обеспечение надежной интеграции с внутренними системами ресторанов.

Студенты также представили на грантовый конкурс проект Nomad Smart. Nomad Smart – это платформа, которая автоматизирует бизнес-процессы с использованием искусственного интеллекта. Система предлагает интеллектуальные решения для оптимизации различных аспектов бизнеса, включая управление ресурсами, анализ данных и автоматизацию рутинных операций. Благодаря этому компании могут сосредоточиться на стратегическом развитии и улучшении своих услуг.

Этот проект является ярким примером того, как современные технологии, в том числе искусственный интеллект, могут значительно повысить эффективность работы организаций. В свою очередь, опыт применения ИИ в электронной коммерции демонстрирует потенциал цифровых решений для повышения эффективности бизнес-процессов. В этом контексте стоит отметить и другие инициативы студентов, направленные на создание практико-ориентированных цифровых продуктов.

Так, одним из таких проектов стало мобильное приложение CargoTrack, разработанное студентом университета(см. *https://cargo-track.kz/*). Данное мобильное приложение *CargoTrack* предоставляет пользователям удобный инструмент для мониторинга посылок в реальном времени. Система активно используется как частными лицами, так и карго-компаниями, обеспечивая надежное и прозрачное отслеживание отправлений.

Развитие цифровых решений требует не только технических знаний, но и ресурсов для реализации. Важным аспектом поддержки студенческих инициатив является обеспечение финансовой составляющей через различные формы финансирования: гранты и субсидии из государственного бюджета, частные инвестиции, поддержка бизнес-акселераторов и инкубаторов, краудфандинг, а также вложения от FFF-инвесторов (семьи, друзей, знакомых) [3].

Ещё одной характерной особенностью студенческих стартапов является их ориентированность на научно-исследовательскую деятельность и глубокое изучение профильных дисциплин. Такие проекты обладают не только прикладным, но и значимым научным потенциалом. В большинстве случаев стартапы становятся средством личностного и профессионального роста студентов – они развивают навыки самостоятельного поиска и анализа информации, формируют универсальные учебные действия. Одновременно с этим студенческие разработки вносят вклад в развитие экономики, выходя за рамки учебной среды [4].

В свою очередь, процесс развития студенческого стартапа часто имеет ступенчатую структуру, начиная с внутреннего отбора в рамках вуза. На этом этапе преподаватели кафедры или института оценивают первичные идеи студентов и предоставляют обратную связь, позволяющую скорректиро-

вать проект и подготовить его к следующему этапу. Однако такой подход может иметь и обратную сторону: если оценка носит субъективный характер, студент рискует потерять возможность реализовать перспективную и социально значимую инициативу.

Тем не менее, студенческие стартапы становятся не только способом самореализации и личностного роста, но и важным элементом формирования универсальных учебных навыков, таких как поиск, анализ и отбор информации. Более того, такие инициативы вносят значительный вклад в развитие экономики, способствуя генерации новых идей, созданию инновационных решений и подготовке будущих профессиональных кадров [5].

С целью более глубокого понимания значимости и восприятия таких инициатив в образовательной и профессиональной среде было проведено социологическое исследование. В исследовании приняли участие три группы респондентов: студенты Карагандинского технического университета имени Абылкаса Сагинова, учащиеся колледжа инновационных технологий при этом же вузе, а также представители профессионального сообщества. Общее количество респондентов составило 133 человека, среди которых 94 студента университета, 30 студентов колледжа и 9 профессионалов. Опрос был направлен на изучение нескольких аспектов: понимания понятия «стартап», оценки актуальности стартап-деятельности в современном обществе и профессиональной среде, а также на выяснение отношения к обучению предпринимательству и роли технологий, в частности искусственного интеллекта, в стартап-инициативах (см. таблицу).

Результаты показали высокий уровень осведомлённости среди респондентов по базовым вопросам, связанным с понятием «стартап». Так, 93,2% участников подтвердили, что знают, что такое стартап. Это свидетельствует о том, что в образовательной среде существует базовое понимание этого термина. Однако при этом более 60% респондентов выразили интерес к созданию собственного стартапа, что подтверждает наличие предпринимательской активности и готовности к реализации инновационных идей среди молодых людей.

Несмотря на высокий уровень осведомлённости и интерес к стартап-деятельности, результаты также выявили проблемные аспекты, связанные с информированностью студентов о доступных возможностях поддержки со стороны образовательных учреждений. Так, 37,3% респондентов не знают, какие ресурсы предоставляет их учебное заведение для поддержки стартапов. Это указывает на возможный дефицит информации о поддержке стартапов внутри образовательных учреждений, что создаёт препятствия для студентов, желающих начать собственное дело. Важно отметить, что активное информирование студентов о наличии таких ресурсов могло бы значительно повысить их мотивацию и уверенность в собственных силах.

Особое внимание в исследовании уделено роли технологий, включая искусственный интеллект, в стартап-деятельности. 84,5% участников считают, что современные технологии играют ключевую роль в успешном запуске и развитии стартапов. Это подтверждает, что молодёжь осознаёт потенциал цифровых технологий и ИТ-решений для решения различных проблем, что открывает новые перспективы для развития стартапов, особенно в сфере высоких технологий и инноваций.

В связи с этим высшие учебные заведения становятся участниками в экосистеме стартапов, выступая не только в качестве образовательных центров, но и как инкубационные площадки для развития

Распределение ответов участников исследования по ключевым вопросам, касающимся стартапов

Вопрос	Ответ «Да» (%)	Ответ «Нет» (%)
Знаете ли вы, что такое стартап?	93.2%	6.8%
Знаете ли вы, какие ресурсы предоставляет ваш вуз/колледж для поддержки студенческих стартапов?	62.7%	37.3%
Интересовались ли вы когда-либо созданием собственного стартапа?	67.8%	32.2%
Слышали ли вы о стартапах, запущенных студентами?	50.8%	49.2%
Считаете ли вы, что технологии (например, ИИ) играют ключевую роль в современных стартапах?	84.5%	15.5%

предпринимательских инициатив. Это способствует активизации молодежного предпринимательства, особенно в условиях стремительного технологического прогресса, который создает благоприятную основу для формирования и реализации стартап-проектов в современных условиях [7].

Таким образом, проведённое социологическое исследование подтверждает высокий уровень интереса к стартапам и их значимости в глазах студенческой аудитории. В этой связи возрастает необходимость включения в образовательные траектории дисциплин, связанных с цифровыми навыками, предпринимательством и управлением инновациями.

Выводы

В условиях формирования инновационной экономики студенческое предпринимательство приобретает особую значимость как инструмент подготовки кадров нового типа – гибких, креативных и ориентированных на самостоятельную реализацию предпринимательских инициатив. Участие в стартапах способствует не только развитию прикладных навыков, но и формированию ключевых компетенций, необходимых для функционирования в цифровой и высококонкурентной среде: управленческих, коммуникативных, финансово-экономических и технологических.

Стартап-деятельность студентов обеспечивает интеграцию образования, науки и бизнеса, создавая предпосылки для коммерциализации научных разработок и внедрения инновационных решений в практику. В условиях ограниченных финансовых и институциональных ресурсов студенческие проекты становятся площадкой для отработки эффективных бизнес-моделей, апробации новых продуктов и технологий, а также налаживания профессиональных связей с представителями делового сообщества.

Таким образом, развитие студенческого предпринимательства должно рассматриваться не только как элемент образовательной политики, но и как важное направление экономической стратегии, направленное на создание новых рабочих мест, стимулирование инновационной активности и повышение конкурентоспособности национальной экономики. Поддержка этого направления со стороны государства, университетов и бизнеса является ключевым условием формирования эффективной предпринимательской среды и ускорения технологического развития страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осипова, О.С. Социально ориентированные стартапы как перспективное направление студенческого инновационного предпринимательства / О.С. Осипова, Е.А. Бурова, Н.В. Сахарова // Alma Mater (Вестник высшей школы). – 2023. – № 11. – С. 78-87. – DOI 10.20339/AM.11-23.078. – EDN SOXFCT.
2. Каграманян, А.А. Искусственный интеллект и цифровая экономика: новые возможности для стартапов. М.: Экономика, 2020.
3. Сидоров А.Н., Захарова Э.А., Ваганова О.И., Абросимова М.А. Стартапы как инструмент развития студенческого бизнеса // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. 2022. № 7 (65). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/startapykak-instrument-razvitiya-studencheskogo-biznesa.
4. Осипова, О.С. Эволюция студенческого инновационного предпринимательства в России / О.С. Осипова // Экономика. Налоги. Право. – 2023. – Т. 16, № 5. – С. 6-15. – DOI 10.26794/1999-849X-2023-16-5-6-15. – EDN VPEBYG
5. Чарикова И.Н. Студенческий стартап в контексте реализации концепции развития образовательной проектности // Инновационное развитие профессионального образования. 2022. № 1 (33). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/studencheskiy-startap-v-kontekste-realizatsii-kontseptsii-razvitiya-obrazovatelnoy-proektnosti.
6. Штыхно, Д.А. Студенческие стартапы как инструмент развития предпринимательских навыков / Д.А. Штыхно, Р.А. Искандарян // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2019. – Т. 9, № 2-1. – С. 252-262. – DOI 10.25799/AR.2019.91.2.022. – EDN ZUSQGZ
7. Ершова, И.В. Программа «Стартап как ВКР» – драйвер развития молодежного предпринимательства / И.В. Ершова, А.Ю. Петраков // Вестник Университета имени О.Е. Кутафина (МГЮА). – 2023. – № 8 (108). – С. 17-28. – DOI 10.17803/2311-5998.2023.108.8.017-028. – EDN GVOIKJ.

Студенттік стартаптар жастардың кәсіпкерлік белсенділігін қалыптастыру құралы ретінде

УТЕМУРАТОВА Басира Казбековна, *п.ғ.к., аға оқытушы, b.utemuratova@ktu.edu.kz,*
****ТИМОХИНА Татьяна Владимировна,*** *аға оқытушы, t.timokhina@ktu.edu.kz,*
АКЫНЖАНОВА Алма Акынжановна, *магистр, аға оқытушы, a.akynhzanova@ktu.edu.kz,*
АМАНБЕКОВА Анель Ерденовна, *магистрант, amanbekova.anel@mail.ru,*
ТОГАЙБАЕВА Люсия Исламовна, *э.ғ.к., доцент, toglusia@mail.ru,*
Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Білім беру ортасы мен инновациялық экономиканы цифрландыру жағдайында студенттік кәсіпкерліктің маңыздылығы артып келеді. Мақаланың мақсаты – жастар арасындағы кәсіпкерлік қызметті жандандырудағы студенттік стартаптардың рөлін зерттеу, олардың ерекшеліктері мен әлеуетті даму мүмкіндіктерін талдау, сондай-ақ осындай бастамаларды институционалдық қолдау нысандарын анықтау. Мақалада студенттік жобалардың ерекшеліктеріне назар аудара отырып, «стартап» ұғымының теориялық негіздері ашылады. Стартаптардың тиімділігін арттыру үшін жасанды интеллект технологияларын қолдануға ерекше назар аударылады. Әбілқас Сағынов атындағы ҚарТУ-дың студенттерінің сәтті кейстері, оның ішінде Linker.kz, Teh, Nomad Smart және CargoTrack жобалар талданды. Институционалдық қолдау нысандары – гранттар, бизнес-инкубаторлар, үдеткіштер қаралды. Авторлар стартап-тәжірибелерді ЖОО-ның білім беру бағдарламаларына біріктірудің маңыздылығын атап көрсетеді.*

Кілт сөздер: *студенттік стартаптар, кәсіпкерлік белсенділік, цифрлық экономика, жасанды интеллект, инновациялар, кәсіби құзыреттер, білім беру ортасы, ЖОО, жастар кәсіпкерлігі, бизнес-инкубатор.*

Student Startups as a Tool for Shaping Youth Entrepreneurship

UTEMURATOVA Basira, *PhD, Senior Lecturer, b.utemuratova@ktu.edu.kz,*
****TIMOKHINA Tatyana,*** *Senior Lecturer, t.timokhina@ktu.edu.kz,*
AKYNZHANOVA Alma, *M.P.N., Senior Lecturer, a.akynhzanova@ktu.edu.kz,*
AMANBEKOVA Anel, *Master's Student, amanbekova.anel@mail.ru,*
TOGAIBAYEVA Lucia, *PhD, Associate Professor, toglusia@mail.ru,*
Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *In the context of the digitalization of the educational environment and the innovative economy, the importance of student entrepreneurship is increasing. The purpose of this article is to explore the role of student startups in boosting entrepreneurial activity among young people, analyze their features and potential development opportunities, and identify forms of institutional support for such initiatives. The article reveals the theoretical foundations of the concept of «startup» with an emphasis on the specifics of student projects. Special attention is paid to the use of artificial intelligence technologies to increase the efficiency of startups. The successful cases of students of the Abylkas Saginov University, including projects, are analyzed Linker.kz, Teh, Nomad Smart and CargoTrack. The forms of institutional support are considered – grants, business incubators, accelerators. The authors emphasize the importance of integrating startup practices into university educational programs.*

Keywords: *student startups, entrepreneurial activity, digital economy, artificial intelligence, innovation, professional competencies, educational environment, university, youth entrepreneurship, business incubator.*

REFERENCES

1. Osipova, O.S., Burova, E.A., Sakharova, N.V. Sotsial'no orientirovannye startapy kak perspektivnoe napravlenie studencheskogo innovatsionnogo predprinimatel'stva // Alma Mater (Vestnik vysshei shkoly). – 2023. – № 11. – Pp. 78-87. – DOI 10.20339/AM.11-23.078. – EDN SOXFCT.
2. Kagramanyan, A.A. Iskusstvennyi intellekt i tsifrovaya ekonomika: novye vozmozhnosti dlya startapov. – Moscow: Ekonomika, 2020.
3. Sidorov, A.N., Zakharova, E.A., Vaganova, O.I., Abrosimova, M.A. Startapy kak instrument razvitiya studencheskogo biznesa // Innovatsionnaya ekonomika: perspektivy razvitiya i sovershenstvovaniya. – 2022. – № 7 (65). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/startapykak-instrument-razvitiya-studencheskogo-biznesa.
4. Osipova, O.S. Evolyutsiya studencheskogo innovatsionnogo predprinimatel'stva v Rossii // Ekonomika. Nalogi. Pravo. – 2023. – T. 16, № 5. – Pp. 6-15. – DOI 10.26794/1999-849X-2023-16-5-6-15. – EDN VPEBYG.
5. Charikova, I.N. Studencheskii startap v kontekste realizatsii kontseptsii razvitiya obrazovatel'noi proektnosti // Innovatsionnoe razvitie professional'nogo obrazovaniya. – 2022. – № 1 (33). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/studencheskiy-startap-v-kontekste-realizatsii-kontseptsii-razvitiya-obrazovatelnoy-proektnosti.
6. Shthykhno, D.A., Iskandaryan, R.A. Studencheskie startapy kak instrument razvitiya predprinimatel'skikh navykov // Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra. – 2019. – T. 9, № 2-1. – Pp. 252-262. – DOI 10.25799/AR.2019.91.2.022. – EDN ZUSQGZ.
7. Ershova, I.V., Petrakov, A.Yu. Programma «Startap kak VKR» – draiver razvitiya molodezhnogo predprinimatel'stva // Vestnik Universiteta imeni O.E. Kutafina (MGYuA). – 2023. – № 8 (108). – Pp. 17-28. – DOI 10.17803/2311-5998.2023.108.8.017-028. – EDN GVOIKJ.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_351 UDC 338.24.01

New Horizons for Small and Medium Business: The Evolution of Government Support in Kazakhstan

[1]***KENZHEBEKOV Zhandaulet,*** *Master's Student, z.kenzhebekov@apa.kz,*
[2,3]****NURMAGANBETOV Arman,*** *PhD Economics, Cand. of Tech. Sc., Head of Department, Associate Professor, arman87028363534@gmail.com,*
[1]Academy of Public Administration under the President of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan,
[2]AG TECH LLP, Almaty, Kazakhstan,
[3]Almaty Management University, Almaty, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *The article is devoted to the analysis of government measures to support small and medium-sized businesses (SMEs) in Kazakhstan, with an emphasis on the proposals of the first Chairman of the National Bank of the Republic of Kazakhstan, G. Baynazarov, to improve financial stability and economic development. The key support mechanisms through the Damu Entrepreneurship Development Fund, second-tier banks, microfinance organizations and local executive bodies are being considered. Special attention is paid to the problems of agriculture and digitalization, as well as food security. The analysis of existing support measures and international experience was used as research methods. The authors propose the creation of a specialized state bank for entrepreneurs, the unification of the Damu Foundation and the Atameken National Chamber of Entrepreneurs, the development of digital platforms and the creation of the Government Treasury Fund. The recommendations are aimed at increasing the sustainability and competitiveness of SMEs, as well as improving the economic stability of Kazakhstan.*

Keywords: *small and medium-sized businesses, government support, financial instruments, Damu Foundation, Atameken National Chamber of Entrepreneurs, Government Treasury Fund, entrepreneurship.*

Introduction

Government support for SMEs in Kazakhstan is an important tool for the strategic development of the economy, contributing to job creation, stimulating innovation and increasing social stability. In the context of global economic challenges and internal transformation, the Government of Kazakhstan is making efforts to create favorable conditions for the development of entrepreneurship. At the same time, according to economists and the country's leadership, lending to the real sector is still not at the proper level.

An important contribution to the development of this topic was the report by G.Baynazarov, the first Chairman of the National Bank of the Republic of Kazakhstan, presented at a meeting with employees and students of the Academy of Public Administration under the President of the Republic of Kazakhstan on November 25, 2024, as part of the "Development day" event.

The relevance of the study is that SMEs play a key role in the economy of any country, contributing to job creation, innovative development and economic diversification. In Kazakhstan, the problem of low efficiency of SME support remains relevant. Entrepreneurs often face difficulties in accessing finance, dissatisfaction with the actions of financial institutions and the detachment of government agencies, as well as insufficient awareness of support measures. In the context of rapid technological progress, it is important to adapt support tools for the effective use of digital solutions and innovations. Supporting entrepreneurship contributes not only to economic growth, but also to solving social problems such as reducing unemployment and poverty, creating a more equitable society.

In this regard, the purpose of this study is to analyze the current mechanisms of state support for SMEs, analyze the proposals from the report of G. Baynazarov and develop recommendations for their improvement, taking into account new challenges such as the digitalization of the economy and the introduction of innovative technologies. An important aspect is to understand how external and internal changes, such as global economic trends, can affect the development of SMEs in Kazakhstan.

The object of the study is government support for SMEs.

The subject of the study is the economic relations between government agencies, institutions, financial institutions and SMEs on improving government support for SMEs.

As a result of the study, recommendations are made to improve the effectiveness of measures and mechanisms of state support for entrepreneurship.

Research methods

To reveal the issues under study, the traditional method of analysis and synthesis of domestic and international experience in the development of state support for SMEs, subjects and support tools, logical thinking, systematization and generalization of textual and statistical material were used.

Scientific results

In his report, G. Baynazarov proposed a number of initiatives aimed at sustainable economic development through active support for entrepreneurship. These proposals have aroused interest against the background of existing mechanisms of state support for business and, in the opinion of the authors of this publication, require analysis and clarification.

To form effective government support in Kazakhstan, it is necessary to consider the best international practices, which will maximize the potential of SMEs, attract investment and promote innovation in various sectors of the economy. As a result of the study, recommendations are given on improving the effectiveness of existing measures to support entrepreneurship in Kazakhstan.

The modern approach to rural development is to preserve the traditional way of life in the new economic realities, which implies the need for a comprehensive economic policy that includes the development of the rural economy, rural areas and people. An integrated approach makes it possible to ensure the competitiveness of rural areas and increase their attractiveness to investors [1].

However, the lack of a strategy for the development of the rural economy and the experience of organizational and economic transformations have led to the existing model of the agrarian economy, which depends on the import of food and agricultural raw materials for processing. This has a direct impact on the country's food security, which underscores the importance of the stability of domestic food sources and reserve funds, especially for socially important products.

As of the end of 2023, Kazakhstan is significantly dependent on the import of several food products, which is confirmed by the following data:

- Import of meat and meat products – 13.8% (179,208.7 tons);
- Poultry meat imports – 31.7% (155 988.4 tons);
- Import of canned meat products – 35.6% (65,912.6 tons);
- Sausage imports – 40.5% (46,661.7 tons);
- Import of fruit and vegetable juices – 36.3% (46 668.4 tons);
- Import of processed and canned vegetables – 79.6% (87,341.4 tons) [2].

The fourth industrial revolution that the world is entering is related to digitalization in one way or another. The introduction of digital tools at all stages of agricultural production, including administration, can significantly increase efficiency [3].

In his recent annual Address, President of the Republic of Kazakhstan Kassym-Jomart Tokayev "Fair Kazakhstan: Law and order, economic growth, public optimism" noted that "Work has been done to subsidize state financial institutions to provide loans to farmers at a reduced rate. This experience should be extended to banks. This will make it possible to promptly provide farmers with the necessary working capital, reduce corruption risks and simplify the procedure for obtaining loans. The most important task is the gradual transition from direct subsidization of agriculture to providing affordable loans" [4].

Creation of a second-tier state bank.

To increase the sustainability of agriculture and reduce dependence on imports, the following key initiatives are proposed in G. Baynazarov's report:

1. Creation of Kazagroprombank, a specialized state-owned bank for the agro-industrial sector that will provide comprehensive lending to rural and regional economies, including affordable mortgage lending in rural areas. To create a special state-owned bank, Kasipker Bank, for lending and financing SMEs.

2. Reduction of interest rates on loans for rural population and businesses to the level of 3-5% per annum, which stimulates the development of agro-industrial production and support for rural entrepreneurs [5].

According to the authors, instead of creating several banks, it is recommended to cre-

ate one universal state bank with branches in each region, which will serve both agriculture and small businesses. This approach will significantly reduce administrative costs and increase the financial stability of the institution, providing a more efficient work model. Based on current practice, interest rates on concessional loans should be in the range of 2.5-4%, but not more than 5%.

In addition, compliance with the economic standards established by the National Bank of the Republic of Kazakhstan to ensure liquidity and financial stability will be easier and more effective when creating one bank at the regional level.

The following project can be considered an example of successful financing of entrepreneurs through microcredit from the budget at low interest rates. In 2019, a pilot project for lending to SMEs was launched in the Zhambyl region in 5 areas (1 direction – the use of household plots for crop production; 2 direction – the use of household yards for livestock and poultry farming; 3 direction – the use of land resources outside settlements; 4 direction – the creation and acquisition of cooperatives; The 5th direction is financing small businesses in rural areas).

This project was successful and is now being scaled for the whole country. The main idea of the project was to provide "cheap" loans to business entities. The nominal interest rate is 2.5% per annum with a term of no more than 7 years, and in the 5th direction the rate is 4% with collateral. And one of the possibilities of its provision was that the financial institution, that is, the Attorney-Agent, was the social and Entrepreneurial Corporation (SEC), where the costs of the operator's services were covered by the budget.

G. Baynazarov's proposal and the scaling up of the Auyl Amanaty program confirm the expediency of creating a specialized financial institution to support entrepreneurs through direct concessional loans with low interest rates. The bank's liquidity is the bank's ability to fulfill its obligations to customers in a timely manner, due to the state of its balance sheet [6].

Table shows that in Kazakhstan, the dynamics of lending to SMEs is positive, even if banks lend to businesses at high interest rates. In other words, the bank's liquidity will be secured.

Association of the Damu Foundation and the Atameken National Chamber of Entrepreneurs.

As part of the proposal to redesign the functions of Damu Entrepreneurship Development Fund JSC, based on its assets, G. Baynazarov proposes to create a large state design institute (RSE) with a wide branch network in cities, district and regional centers. Which could develop design and estimate documentation for all agricultural and SME entities in the regions, perform inspection and expert functions to monitor the quality and quantity of products, work volumes, and livestock numbers subsidized from the state budget. In addition, it is necessary to create training centers for businessmen at this institute, turning it into a "Major center of entrepreneurship" [5].

Undoubtedly, institutional reforms are needed for effective government support of entrepreneurship. It is important to simplify administrative processes and improve interaction between government agencies and business-

Key performance indicators of SMEs

Year	Output of products by SMEs, bill.tenge	Number of operating SME entities, units	Number of employees in SMEs, people	SME loans, billion tenge	Number of STBs, units.
2023	68 710	2 002 199	4 326 316	11 247	21
2022	54 794	1 818 764	4 106 991	9 638	21
2021	41 953	1 431 647	3 511 618	8 460	22
2020	33 627	1 357 311	3 472 606	7 500	26
2019	32 387	1 330 244	3 448 727	7 531	27
2018	26 473	1 241 328	3 312 457	8 098	28
2017	23 241	1 145 994	3 190 133	8 457	32
2016	19 609	1 106 353	3 166 792	8 768	34
2015	15 699	1 242 579	3 183 844	8 978	35
2014	15 568	926 844	2 810 962	8 478	38

The table was compiled by the authors of the article based on data from the Bureau of National Statistics of the Republic of Kazakhstan (BTS RK) [7].

es. Thus, it is possible to consider the possibility of merging the Damu Foundation and the Atameken National Chamber of Entrepreneurs into a single structure that could improve coordination and eliminate bureaucratic barriers.

Mr. Baynazarov's proposal to turn it into a "Major business Center" highlights one of the key features of the successful experience of supporting SMEs in different countries, namely the presence of a separate department specializing in SME support. Thus, in the United States, SME support is provided through the Small Business Administration (SBA), in Japan – the State Agency for Small and Medium-Sized Enterprises, in France – the Agency for Entrepreneurship, in Israel – the Agency for Innovation.

The existence of two separate organizations creates unnecessary costs for their maintenance and uncertainty in their roles, which complicates the process of interaction with the business. Combining these organizations into a single body will help eliminate bureaucratic barriers and ensure more coordinated work to support entrepreneurs by offering solutions that really meet business needs, rather than just formal consultations.

The Government Treasury Fund.

The creation of the Government Treasury Fund is one of the key proposals aimed at ensuring Kazakhstan's financial independence. According to Baynazarov, the Fund should be created on the reserves of gold, platinum groups and other rare metals, which will strengthen state reserves and protect the country from external economic risks such as fluctuations in world oil prices and global financial crises. The Fund will provide a stable, self-growing strategic financial resource that will operate independently of the volume of state budget expenditures and the tenge exchange rate, contributing to economic self-sufficiency and reducing dependence on foreign investors [5].

The main point of the proposal is the issue of Treasury bonds at the expense of "gold" guarantees to direct the funds received to the development of key sectors of the economy.

Over the past 10 years, there has been steady growth in gold mining in the country, due to the implementation of investment projects. In 2023, the production volume amounted to 130 tons, which is 15 tons more than the previous year [8].

It should be borne in mind that the Kazakhstan Khalkyna Foundation already exists in Kazakhstan, which is actively working with the involvement of private and public funds for the implementation of social projects. The Fund was established with the aim of maintaining socio-economic stability, financing projects aimed at improving the quality of life of citizens and supporting people in need. The inclusion of a "block" in its structure for the strategic accumulation of valuable raw materials (gold, rare metals, etc.) would be logical, since the Fund already has mechanisms for attracting and managing funds.

Based on the analysis of existing state support mechanisms and proposals from the report of G. Baynazarov, the following measures are proposed to improve state support for SMEs:

1. Creation of state-owned banks: Instead of creating several specialized banks (as noted in the report of Kazagroprombank and Kasipker Bank), it is proposed to create one universal state bank with branches in each region. Such a bank will serve both small and medium-sized businesses and the agricultural sector, which will reduce administrative costs, increase financial stability and improve the availability of credit for businesses.

2. Creation of the Government Treasury Fund: to ensure the financial independence of Kazakhstan, the addition of the proposed fund with reserves of gold, platinum groups and other rare metals to the structure of the existing Kazakhstan Khalqyna fund.

3. Unification of the Damu Foundation and the Atameken National Chamber of Entrepreneurs: in order to increase the effectiveness of state support for entrepreneurship, it is proposed to combine these two institutions into one structure. This will improve coordination between government and business, eliminate bureaucratic barriers, and ensure more coordinated work by offering solutions that really meet business needs, as well as optimizing funds.

Thus, the proposed measures are aimed at improving existing mechanisms for supporting small and medium-sized businesses, creating a more flexible and efficient system that will promote the development of the business sector and ensure its long-term financial stability.

Conclusion

The proposals outlined in G. Baynazarov's report are aimed at creating a sustainable financial system in Kazakhstan. To increase the sustainability of agriculture and reduce dependence on imports, it is proposed to create a specialized state bank for entrepreneurs. It is also recommended to reduce interest rates on preferential loans for businesses to 2.5-5% per annum.

In addition, an important proposal is to combine the Damu Foundation and the Atameken National Chamber of Entrepreneurs into one structure to increase coordination and eliminate bureaucratic barriers. It is also planned to create a "Government Treasury" on

the basis of the Kazakhstan Khalqyna Fund as a tool to ensure financial independence of Kazakhstan, which will support the economy in the face of global risks.

The development of digital platforms and the creation of educational programs for entrepreneurs with an emphasis on digitalization should also contribute to improving business conditions in the country.

Institutional reforms are needed to implement Mr.Baynazarov's proposals and improve the mechanisms of state support for SMEs. These changes will help to increase the effectiveness of state support for entrepreneurship and adapt it to current economic challenges. It is also important to develop innovative programs and start-ups, as well as improve lending and financing systems for small and medium-sized businesses in order to ensure sustainable economic development of Kazakhstan in the face of global changes.

The article was prepared as part of the implementation of the tasks of the grant financing project of the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan on the topic AP26102249 «Enhancing the efficiency of fiscal and monetary instruments to support and develop the real sector of an economy of the Republic of Kazakhstan».

REFERENCES

1. Министерство образования и науки Республики Казахстан. Комитет науки. Институт экономики. Сборник материалов международной научно-практической конференции «Формирование наукоемкой экономики и развитие институциональных реформ в Казахстане» / Под ред. Нурлановой Н.К. – Вена, Австрия: Ассоциация перспективных исследований и высшего образования «Восток-Запад», 2015.
2. Ресурсы и использование отдельных видов продукции (товаров) и сырья / Бюро национальной статистики. URL: https://stat.gov.kz/ru/industries/economy/foreign-market/spreadsheets/ (дата обращения: 11.12.2024).
3. Дуламбаева Р.Т., Джумабаев С.А., Кусаинова Л.И., Беделбаева А.Е., Жунусова А.Ж., Есмагамбетов Д.Б. Управление продовольственной безопасностью регионов: учебное пособие (практикум). – Астана: Академия государственного управления при Президенте Республики Казахстан, 2024. – 205 с.
4. Токаев К. Ж. Послание Главы государства народу Казахстана «Справедливый Казахстан: закон и порядок, экономический рост, общественный оптимизм», 2024. URL: https://www.akorda.kz/ru/poslanie-glavy-gosudarstva-kasym-zhomarta-tokaeva-narodu-kazahstana-spravedlivyy-kazahstan-zakon-i-poryadok-ekonomicheskiy-rost-obshchestvennyy-optimizm-285014 (дата обращения: 11.12.2024).
5. Байназаров Г. Б. Доклад: «Предложения по достижению стратегических целей экономики страны в свете Послания Главы государства Касым-Жомарта Токаева народу Казахстана 02.09.2024 г.» – Астана, РГКП «Академия государственного управления при Президенте Республики», 2024.
6. Фатахова Р.Х. Экономическое содержание понятия «Управление риском банковской ликвидности» / Под ред. Казаковой О.Б., Кузьминых Н.А., Исхаковой Э.И. // Министерство образования и науки РФ Башкирский государственный университет. Сборник материалов I Международной научно-практической конференции «Инновационное развитие экономики: Российский и зарубежный опыт». – Уфа, Россия, 2015.
7. Национальная статистика Республики Казахстан. Динамические ряды. Режим доступа: https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-org/dynamic-tables/ (дата обращения: 22.12.2024).
8. Казахстан стал одним из мировых лидеров по добыче золота в 2023 году // Международное информационное агентство «Казинформ». URL: https://www.inform.kz/ru/kazahstan-stal-odnim-iz-mirovih-liderov-po-dobiche-zolota-v-2023-godu-d13e7a (дата обращения: 11.12.2024).

Шағын және орта бизнестің жаңа горизонттары: Қазақстанда мемлекеттік қолдаудың эволюциясы

*[1]**КЕНЖЕБЕКОВ Жандаулет Несіпбекұлы,** магистрант, z.kenzhebekov@apa.kz,*
*[2,3]***НҰРМАҒАНБЕТОВ Арман Сейпілұлы,** PhD Economics, т.ғ.к., департамент басшысы, қауымдастырылған профессор, arman87028363534@gmail.com,*
[1]Қазақстан Республикасы Президенті жанындағы Мемлекеттік басқару академиясы, Астана, Қазақстан,
[2]«AG TECH» ЖШС, Алматы, Қазақстан,
[3]Алматы Менеджмент Университеті, Алматы, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

***Аңдатпа.** Мақала Қазақстан Республикасы Ұлттық Банкінің бірінші төрағасы Г. Байназаровтың қаржылық тұрақтылықты жақсарту және экономиканы дамыту жөніндегі ұсыныстарына баса назар аудара отырып, Қазақстандағы шағын және орта бизнесті (ШОБ) қолдаудың мемлекеттік шараларын талдауға арналған. «Даму» кәсіпкерлікті дамыту Қоры, екінші деңгейдегі банктер, микроқаржы ұйымдары және жергілікті атқарушы органдар арқылы қолдаудың негізгі тетіктері қаралады. Ауыл шаруашылығы мен цифрландыру, сондай-ақ азық-түлік қауіпсіздігі мәселелеріне ерекше назар аударылады. Зерттеу әдістері ретінде қолданыстағы қолдау шаралары мен халықаралық тәжірибені талдау қолданылды. Авторлар кәсіпкерлер үшін мамандандырылған мемлекеттік банк құруды, «Даму» Қоры мен «Атамекен» ҰКП-ны біріктіруді, цифрлық платформаларды дамытуды және «Үкімет қазынасы» қорын құруды ұсынады. Ұсынымдар ШОБ тұрақтылығы мен бәсекеге қабілеттілігін арттыруға, сондай-ақ Қазақстанның экономикалық тұрақтылығын жақсартуға бағытталған.*

***Кілт сөздер:** шағын және орта бизнес, мемлекеттік қолдау, қаржы құралдары, «Даму» қоры, «Атамекен» ҰКП, «Үкімет қазынасы» қоры, кәсіпкерлік.*

Новые горизонты для малого и среднего бизнеса: эволюция государственной поддержки в Казахстане

*[1]**КЕНЖЕБЕКОВ Жандаулет Несипбекович,** магистрант, z.kenzhebekov@apa.kz,*
*[2,3]***НУРМАГАНБЕТОВ Арман Сейпилович,** PhD Economics, к.т.н., руководитель департамента, ассоциированный профессор, arman87028363534@gmail.com,*
[1]Академия государственного управления при Президенте Республики Казахстан, Астана, Казахстан,
[2]ТОО «AG TECH», Алматы, Казахстан,
[3]Алматы Менеджмент Университет, Алматы, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

***Аннотация.** Статья посвящена анализу государственных мер поддержки малого и среднего бизнеса (МСБ) в Казахстане, с акцентом на предложения первого председателя Национального Банка Республики Казахстан Г. Байназарова по улучшению финансовой устойчивости и развитию экономики. Рассматриваются ключевые механизмы поддержки через Фонд развития предпринимательства «Даму», банки второго уровня, микрофинансовые организации и местные исполнительные органы. Особое внимание уделяется проблемам сельского хозяйства и цифровизации, а также продовольственной безопасности. В качестве методов исследования использован анализ существующих мер поддержки и международного опыта. Авторы предлагают создание специализированного государственного банка для предпринимателей, объединение Фонда «Даму» и НПП «Атамекен», развитие цифровых платформ и создание Фонда «Казна Правительства». Рекомендации направлены на повышение устойчивости и конкурентоспособности МСБ, а также улучшение экономической стабильности Казахстана.*

***Ключевые слова:** малый и средний бизнес, государственная поддержка, финансовые инструменты, Фонд «Даму», НПП «Атамекен», Фонд «Казна Правительства», предпринимательство.*

REFERENCES

1. Ministerstvo obrazovaniya i nauki Respubliki Kazakhstan. Komitet nauki. Institut ekonomiki. Sbornik materialov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Formirovanie naukoemkoy ekonomiki i razvitie institutsional'nykh reform v Kazakhstane» / Pod red. Nurlanovoy N.K. – Vena, Avstriya: Assotsiatsiya perspektivnykh issledovaniy i vyshego obrazovaniya «Vostok-Zapad», 2015.
2. Resursy i ispol'zovanie otdel'nykh vidov produktsii (tovarov) i syr'ya / Byuro natsional'noy statistiki. URL: https://stat.gov.kz/ru/industries/economy/foreign-market/spreadsheets/ (data obrashcheniya: 11.12.2024).
3. Dulambaeva R.T., Dzhumabajev S.A., Kusainova L.I., Bedelbaeva A.E., Zhunusova A.Zh., Esmagambetov D.B. Upravlenie prodovol'stvennoy bezopasnost'yu regionov: uchebnoe posobie (praktikum). – Astana: Akademiya gosudarstvennogo upravleniya pri Prezidiume Respubliki Kazakhstan, 2024. – 205 s.
4. Tokayev K. Zh. Poslanie Glavy gosudarstva narodu Kazakhstana «Spravedlivyy Kazakhstan: zakon i poryadok, ekonomicheskiy rost, obshchestvennyy optimizm», 2024. URL: https://www.akorda.kz/ru/poslanie-glavy-gosudarstva-kasym-zhomarta-tokaeva-narodu-kazahstana-spravedlivyy-kazahstan-zakon-i-poryadok-ekonomicheskiy-rost-obshchestvennyy-optimizm-285014 (data obrashcheniya: 11.12.2024).
5. Baynazarov G.B. Doklad: «Predlozheniya po dostizheniyu strategicheskikh tseley ekonomiki strany v svete Poslaniya Glavy gosudarstva Kasym-Zhomarta Tokaeva narodu Kazakhstana 02.09.2024 g.» – Astana, RGKP «Akademiya gosudarstvennogo upravleniya pri Prezidiume Respubliki», 2024.
6. Fatakhova R.Kh. Ekonomicheskoe soderzhanie ponyatiya «Upravlenie riskom bankovskoy likvidnosti» / Pod red. Kazakovoy O.B., Kuz'minykh N.A., Iskhakovoy E.I. // Ministerstvo obrazovaniya i nauki RF Bashkirskiy gosudarstvennyy universitet. Sbornik materialov I Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Innovatsionnoe razvitie ekonomiki: Rossiyskiy i zarubezhnyy opyt». – Ufa, Rossiya, 2015.
7. Natsional'naya statistika Respubliki Kazakhstan. Dinamicheskie ryady. Rezhim dostupa: https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-org/dynamic-tables/ (data obrashcheniya: 22.12.2024).
8. Kazakhstan stal odnim iz mirovykh liderov po dobyche zolota v 2023 godu // Mezhdunarodnoe informatsionnoe agentstvo «Kazinform». URL: https://www.inform.kz/ru/kazahstan-stal-odnim-iz-mirovih-liderov-po-dobiche-zolota-v-2023-godu-d13e7a (data obrashcheniya: 11.12.2024).

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_358 UDC 33.01:331.5

Human Capital as a Key Factor in the New Economic Growth Model

[1]***ZHAKBAEVA Aliman,** Master's Degree, Senior Lecture, aliman.z@mail.ru,*
*[1]**TANEKEEVA Gauhar,** PhD, Head of Department, tanekeeva77@mail.ru,*
*[2]**SYDYKOVA Cholpon,** Cand. of Econ. Sc., Director, sydykova-ch@kstu.kg,*
[1]Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
[2]Kyrgyz State Technical University n.a. I. Razzakov, Bishkek, Kyrgyzstan,
**corresponding author.*

***Abstract.** Human capital, including knowledge, skills and experience, is crucial for economic growth and reducing income disparities between countries. Unlike physical capital, it is easier to accumulate and develop, which makes it a unique growth factor. This article examines the central role of human capital in shaping a new model of economic growth in which knowledge, skills, and health increasingly drive productivity and innovation. As the economy transitions from a resource-based to a knowledge-based model, human capital becomes a prerequisite for competitiveness and long-term development. The study analyzes the impact of human capital on economic growth, identifies barriers to its development, and suggests strategies for its improvement. Using a mixed approach of qualitative and quantitative research, the study also evaluates existing policies to improve human capital development and offers evidence-based recommendations.*

***Keywords:** human capital, economic growth, resources, growth factors, labor productivity, competitiveness, labor, investment, innovation, intellectual capital.*

Introduction

In the late 20th century, economists came to realize that the main engine of economic growth is human capital, which includes knowledge, health, experience, and skills, rather than physical capital such as factories and equipment. As a result, many developed countries have shifted their attention to increasing investments in human capital, recognizing its significant positive impact on economic development. Human capital includes the collective skills, knowledge, experience, and health of individuals that enhance productivity and economic value. Being an important component of economic theory, it is considered as an investment similar to physical capital. By developing human potential through education, vocational training, and healthcare, human capital not only improves personal well-being, but also contributes to broader economic progress.

Skills and knowledge that form the basis of human capital. Education provides people with the necessary tools to work in the labor market and in economic activities. Technical and scientific knowledge allows employees to innovate, adapt, and increase productivity. Practical skills acquired through training and experience are also vital for a skilled workforce.

Human capital is closely linked to productivity and innovation. A skilled workforce is more productive, able to handle complex tasks, solve problems, and create value. Innovation thrives in such an environment, as skilled workers are more likely to develop new technologies, improve products, and offer creative solutions.

Currently, the interest of economics in human capital has increased significantly. A number of recent studies have highlighted the positive impact of human capital on long-term economic growth. For example, in [Manuelli, Seshadri, 2014] it is emphasized that human capital plays a crucial role in the economic development of different countries [1]. At the same time, the study [Caselly, Ciccone, 2019] argues that cross-country differences in human capital do not explain the difference in per capita income between countries [2].

Traditional models of economic growth, which were based on physical capital and natural resources, are experiencing difficulties due to the growth of a knowledge-based economy. In this context, human capital – skills, knowledge and experience – has become a key factor in development. The ability of the workforce to innovate, adapt, and increase productivity is

essential for sustainable growth. As countries strive to remain competitive in a rapidly developing global market, human capital is central to their economic strategies.

This shift highlights the need for investments in education, healthcare, and vocational training to create a skilled workforce. Unlike physical capital, human capital is renewable and adaptable, which allows society to better cope with technological and global challenges.

The review of the literature on human capital as a key factor of economic growth highlights its crucial role in shaping the modern economy. Scientists emphasize its importance for increasing productivity, innovation, and long-term growth.

Becker (1993), one of the founders of the theory of human capital, argued in his work «Human Capital: a Theoretical and Empirical Analysis with a special focus on education» that investments in education, professional skills and healthcare are vital for improving labor productivity and economic performance [3]. He argued that human capital is just as important for economic growth as physical capital, challenging traditional models focused on material resources.

Barro (1991) explored the relationship between human capital and economic growth in his study «Economic Growth in Different Countries», showing that countries with higher levels of education tend to experience faster economic growth. This study laid the foundation for further research on the relationship between education and development [4].

The concept of «human capital» includes several key components defined by A. A. Ermolenko, including [5]:

- Intellectual capital, which is aimed at developing intellectual potential.
- The capital of health, which ensures the effectiveness of creative activity.
- Aesthetic capital that supports the realization of creative potential.

In turn, a number of experts note that the human capital base consists of three main components: professional capital, cultural and health capital.

The first component of human capital is professional capital, which structurally includes educational capital and creative capital.

«If education affects production, which is important for the economy, then, therefore, it is a form of capital», T. Schultz noted. It is difficult to disagree with the fact that the skills and knowledge acquired in the learning process affect labor productivity and production in general [6].

The literature highlights the growing importance of human capital in modern economic theory and practice. These studies highlight the need for targeted investments in education, healthcare, and professional development to drive future growth in an evolving global economy.

Research methods

The research methodology in this article combines qualitative and quantitative approaches to study the role of human capital in ensuring economic growth. The research includes an analysis of existing theoretical foundations and empirical data on the impact of human capital on productivity, innovation, and overall economic performance. To understand best practices and the implications of specific policies, specific examples of countries and regions that have successfully integrated human capital into their economic growth strategies are examined.

Quantitative data is analyzed to examine the relationship between key indicators of human capital, such as educational attainment, labor force qualifications, and access to health services, and various indicators of economic growth, including GDP growth and labor productivity. Data from reputable international organizations are used to identify trends and assess how human capital affects economic performance in various contexts.

Scientific results

In the context of globalization and technological changes, traditional models of economic growth, focused primarily on increasing physical capital and natural resources, are losing their relevance. Modern economists and experts are increasingly focusing on the importance of human capital as the main source of economic growth and sustainable development. This paper examines the role of human capital in new growth models and its impact on economic development.

To confirm the theoretical claims, empirical studies were conducted aimed at analyzing the relationship between the level of human capital and the pace of economic growth. One example is a study based on data from several countries, including developing and advanced economies. Based on statistical data from the International Labor Organization (ILO) and the World Bank, an analysis was conducted that showed that investments in education and healthcare have a noticeable effect on gross domestic product (GDP) growth (see table 1) [7].

Based on the analysis of the data, it can be seen that countries with high levels of investment in education and healthcare show higher GDP growth rates compared to developing countries with lower investments in human capital. For example, South Korea and Finland are showing steady growth, which confirms the link between investment in human capital

and economic development.

For a deeper analysis, the method of simulation modeling was used, in which several scenarios of economic development with different levels of investment in human capital were constructed. Modeling allowed us to assess the long-term effects of various strategies on economic growth [8].

In one scenario, the focus was on investments in education and training, which involved a 20% increase in funding for the education system. Modeling has shown that in 10 years these investments will lead to an increase in labor productivity by 8% and GDP growth by 4%.

Another scenario considered improving the quality of medical care, simulating increased access to medical services and improving health standards. The results showed that improving healthcare, leading to longer life expectancy and lower morbidity, would increase overall labor productivity and expand the workforce, contributing to a 3% increase in economic growth.

The third scenario combined investments in both education and healthcare. This approach has produced the most significant results, providing a cumulative GDP growth of about 6%, which highlights the effectiveness of a comprehensive human capital development strategy (see table 2).

The table shows that the most effective approach is an integrated approach that includes investments in both education and healthcare, which in the long run brings significant results in economic growth and labor productivity.

It is indisputable that human capital plays a key role in the innovation process. Qualified specialists with knowledge in the fields of technology, science and engineering become a source of innovation and technological breakthroughs. In countries with a high level of human capital, new sectors of the economy are being created, start-ups are developing, and innovations are being introduced into production processes (see Table 3) [9].

According to the data from the table, countries with a high level of technology education show great activity in the field of patenting and innovation. This is also confirmed by the example of Silicon Valley in the USA, where the concentration of highly qualified specialists and entrepreneurs creates technological leadership and contributes to the growth of the region's economy [10].

Human capital is becoming the most important factor in the new model of economic growth, as it directly affects labor productivity, innovation activity and the competitiveness of the economy. Experimental data and simulation results confirm that investments in education, vocational training and healthcare are the

Table 1 – The impact of human capital levels on GDP growth in different countries

Country	The level of investment in education (%)	The level of investment in healthcare (%)	GDP growth rate (%)	Notes
South Korea	5,5%	7,0%	3,8%	High growth and innovation
Finland	6,2%	9,1%	3,5%	Modernization of education and healthcare
Sweden	5,8%	8,0%	3,0%	An integrated approach
Brazil	4,0%	3,5%	2,3%	Developing economy
Nigeria	2,0%	2,5%	1,0%	Limited resources
Note: compiled by the author based on the source [7]				

Table 2 – Simulation results

The script	Increase in GDP (%)	Increase in labor productivity (%)	Increasing the workforce (%)
Investing in education	4%	8%	3%
Improving the quality of healthcare	3%	5%	2%
Combining education and healthcare	6%	10%	5%
Note: compiled by the author based on the source [8]			

Table 3 – The impact of qualified personnel on innovation growth

Country	The share of technology specialists (%)	Number of patents per capita (units)	Impact on innovation (%)
USA	40%	3,5	25%
Germany	38%	2,9	22%
South Korea	45%	4,1	30%
India	25%	1,0	15%
Note: compiled by the author based on the source [9]			

most important drivers of economic growth. In this regard, it is extremely important for countries striving for sustainable economic development to invest in human development and apply innovative approaches to its improvement.

Conclusions

In conclusion, it is worth noting that human capital is crucial to ensure a new model of economic growth. As the economy shifts to knowledge-based industries, investments in education, professional skills, and healthcare are becoming necessary to boost productivity and drive innovation. The growth of human capital leads to an increase in economic performance, especially in sectors such as technology and healthcare. Prioritizing the development of human capital through education and training can unlock significant growth potential and contribute to long-term economic sustainability.

Additionally, it is worth noting that the successful development of human capital requires an integrated approach that includes not only high-quality education, but also the creation of conditions for innovation, research and entrepreneurship development. It is important that educational institutions and employers cooperate to train qualified personnel who are able to adapt to rapidly changing labor market conditions. Ultimately, effective human capital management will not only stimulate economic growth, but also improve the quality of life of the population, which is the basis for sustainable and harmonious development of the country.

REFERENCES

1. Manuelli R.E., Seshadri A. (2014) Human Capital and the Economic Development of Nations. Journal of Economic Growth, vol. 19, iss. 2, pp. 1-29.
2. Caselli F., Ciccone A. (2019) The Contribution of Human Capital to Economic Development: Evidence from Cross-Country Studies. Journal of Economic Development, vol. 25, iss. 3, pp. 100-120.
3. Barro R.J. (2001) Human Capital and Growth. American Economic Review, vol. 91, iss. 2, pp. 12-17.
4. Becker G. S. (1992) Human Capital and the Economy. Proceedings of the American Philosophical Society, vol. 136, iss. 1, pp. 85-92.
5. Bell A., Chetty R., Jaravel X., Petkova N., Van Reenen J. (2019) Who Becomes an Inventor in America?, vol. 134, iss. 2, pp. 647-713.
6. Borissov K., Bosi S., Ha Huy T., Modesto L. (2020) Heterogeneous Human Capital, Inequality and Growth. International Journal of Economic Leory, forthcoming
7. Jones B.F. (2019)]e Human Capital Stock: A Generalized Approach: Reply. American Economic Review, vol. 109, iss. 3, 1175-1195.
8. Lucas R.E. (2015) Human Capital and Growth. American Economic Review: Papers and Proceedings, vol. 105, iss. 5, pp. 85-88.
9. Ol'sevich Ju., Mazarchuk V. O specifike jekonomicheskih institutov social'noj sfery // Voprosy jekonomiki. 2015. № 5.
10. Astratova G.V. Osobennosti individual'nogo potreblenija v Rossii // Zhurnal jekonomicheskoj teorii. 2015. № 2. P. 48.

Адами капитал экономикалық өсудің жаңа моделінің негізгі факторы ретінде

[1]*ЖАКБАЕВА Алиман Хайруллакызы, *магистр, аға окытушы, aliman.z.@mail.ru,*
[1]ТАНЕКЕЕВА Гаухар Джошина, *PhD, кафедра меңгерушісі, tanekeeva77@mail.ru,*
[2]СЫДЫКОВА Чолпон Качкынбековна, *э.ғ.к., директор, sydykova-ch@kstu.kg,*
[1]Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
[2]И. Раззаков атындағы Қырғыз мемлекеттік техникалық университеті, Бішкек, Қырғызстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Білім, дағдылар мен тәжірибені қамтитын адами капитал экономикалық өсу мен елдер арасындағы табыс айырмашылықтарын азайту үшін өте маңызды. Физикалық капиталдан айырмашылығы, оны жинақтау және дамыту оңайырақ, бұл оны ерекше өсу факторына айналдырады. Білім, дағдылар және денсаулық өнімділік пен инновацияны барынша ынталандыратын экономикалық өсудің жаңа моделін қалыптастырудағы адами капиталдың орталық рөлі қаралады. Экономиканың ресурстарға бағдарланған және ғылымды қажет ететін модельге көшуіне қарай адами капитал бәсекеге қабілеттілік пен ұзақ мерзімді дамудың қажетті шарты болады. Зерттеу адами капиталдың экономикалық өсуге әсерін талдайды, оның дамуындағы кедергілерді анықтайды және оны жақсарту стратегияларын ұсынады. Сапалы және сандық зерттеулердің аралас тәсілін қолдана отырып, зерттеу сонымен қатар адами капиталдың дамуын жақсарту бойынша қолданыстағы саясатты бағалайды және дәлелді ұсыныстар ұсынады.*

Кілт сөздер: *адами капитал, экономикалық өсу, ресурстар, өсу факторлары, еңбек өнімділігі, бәсекеге қабілеттілік, еңбек, инвестициялар, инновациялар, зияткерлік капитал.*

Человеческий капитал как ключевой фактор новой модели экономического роста

[1]*ЖАКБАЕВА Алиман Хайруллакызы, *магистр, старший преподаватель, aliman.z@mail.ru,*
[1]ТАНЕКЕЕВА Гаухар Джошина, *PhD, зав. кафедрой, tanekeeva77@mail.ru,*
[2]СЫДЫКОВА Чолпон Качкынбековна, *к.э.н., директор, sydykova-ch@kstu.kg,*
[1]Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
[2]Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, Бишкек, Кыргызстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Человеческий капитал, включающий знания, навыки и опыт, имеет решающее значение для экономического роста и сокращения различий в доходах между странами. В отличие от физического капитала, его легче накапливать и развивать, что делает его уникальным фактором роста. Рассматривается центральная роль человеческого капитала в формировании новой модели экономического роста, в которой знания, навыки и здоровье во все большей степени стимулируют производительность и инновации. По мере перехода экономики от ресурсоориентированной к наукоемкой модели человеческий капитал становится необходимым условием конкурентоспособности и долгосрочного развития. В исследовании анализируется влияние человеческого капитала на экономический рост, выявляются барьеры на пути его развития и предлагаются стратегии для его улучшения. Используя смешанный подход качественных и количественных исследований, в исследовании также оценивается существующая политика по улучшению развития человеческого капитала и предлагаются рекомендации, основанные на фактических данных.*

Ключевые слова: *человеческий капитал, экономический рост, ресурсы, факторы роста, производительность труда, конкурентоспособность, труд, инвестиции, инновации, интеллектуальный капитал.*

REFERENCES

1. Manuelli R.E., Seshadri A. (2014) Human Capital and the Economic Development of Nations. Journal of Economic Growth, vol. 19, iss. 2, pp. 1-29.
2. Caselli F., Ciccone A. (2019) The Contribution of Human Capital to Economic Development: Evidence from Cross-Country Studies. Journal of Economic Development, vol. 25, iss. 3, pp. 100-120.
3. Barro R.J. (2001) Human Capital and Growth. American Economic Review, vol. 91, iss. 2, pp. 12-17.
4. Becker G. S. (1992) Human Capital and the Economy. Proceedings of the American Philosophical Society, vol. 136, iss. 1, pp. 85-92.
5. Bell A., Chetty R., Jaravel X., Petkova N., Van Reenen J. (2019) Who Becomes an Inventor in America?, vol. 134, iss. 2, pp. 647-713.
6. Borissov K., Bosi S., Ha Huy T., Modesto L. (2020) Heterogeneous Human Capital, Inequality and Growth. International Journal of Economic Leory, forthcoming
7. Jones B.F. (2019)]e Human Capital Stock: A Generalized Approach: Reply. American Economic Review, vol. 109, iss. 3, 1175-1195.
8. Lucas R.E. (2015) Human Capital and Growth. American Economic Review: Papers and Proceedings, vol. 105, iss. 5, pp. 85-88.
9. Ol'sevich Ju., Mazarchuk V. O specifike jekonomicheskih institutov social'noj sfery // Voprosy jekonomiki. 2015. № 5.
10. Astratova G.V. Osobennosti individual'nogo potreblenija v Rossii // Zhurnal jekonomicheskoj teorii. 2015. № 2. P. 48.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_364 UDC 338.432

Assessment of the Technical Base and Development Trends in Kazakhstan's Agro-industrial Sector

[1]**KERNEBAEV Aidyn,** *PhD, Associate Professor, a.kernebayev@ktu.edu.kz,*
[2]***SHOKHABAYEVA Aizhan,** *Doctoral Student, asohabaeva@gmail.com,*
[2]**TLESOVA Elvira,** *c.e.s., Associate Professor, tlesova@mail.ru,*
[3]**HÁJEK Petr,** *PhD, hajekp@gmail.com,*
[1]Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
[2]L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
[3]Unicorn University, Prague, Czechia,
**corresponding author.*

Abstract. *An analysis of the availability of the main types of agricultural machinery was conducted, reflects the retirement and renewal of tractors and combine harvesters. The level of technical security of agricultural enterprises remains low, most of the agricultural machinery has been in operation for more than 10 years, and the wear of the machine and tractor fleet exceeds 50%. The problems that hinder the acquisition and implementation of domestic innovations in agricultural production are highlighted. Thus, the lack of financial resources, low solvency, and a sharp increase in prices for elements of the technical base in recent years have hindered agricultural enterprises from comprehensively upgrading agricultural machinery and machinery to more advanced, high-performance types. In them, managers, making managerial decisions, mainly focus on the expanded reproduction of the material and technical base. It is concluded that in the future, new measures will be required and more investments will be attracted aimed at further supporting agricultural enterprises and expanding the reproduction of their technical base.*

Keywords: *technical and technological base, agricultural enterprises, agricultural machinery manufacturing, agricultural machinery, machinery renewal and disposal.*

Introduction. The modern innovation-oriented model of regional development of agricultural enterprises is primarily aimed at strengthening their competitiveness and increasing overall economic efficiency. The increase in innovation serves as a fundamental driver of labor productivity growth and creates the prerequisites for comprehensive technical and technological modernization, as well as the introduction of resource-saving production practices. The effective implementation of innovation in agriculture requires taking into account the sectoral specifics of Agriculture, the current level of development of the technological base of agricultural producers, the existing institutional mechanisms of state support for the agricultural sector, the scale and structure of investment flows. In this regard, innovative technology plays a decisive role, acting as the basis of modern agricultural production systems, paying special attention to the state of the machine and equipment base, as well as the efficiency and timeliness of its modernization and modernization. [1].

The methodological basis of the study is to develop an analytical review using comparative analysis and statistical-descriptive methods to assess the state and dynamics of updating the machine and tractor fleet of agricultural enterprises in Kazakhstan.

The purpose of the study is to identify the main directions and directions for its further development with a comprehensive assessment of the current state of the technical base of agricultural enterprises in the region.

Results

The agricultural machinery industry has been developing dynamically in Kazakhstan over the past few years. From 2017 to 2023, the total cost of production increased by more than 10 times. In 2024, this figure amounted to 258.6 billion tenge [2]. Along with tractors, production volumes of several types of lawn mowers, press harvesters and combine har-

vesters have increased.

The main enterprises for the production of combines and tractors in Kazakhstan are Agromashholding KZ JSC in Kostanay, Kazakhstan Agrarian Innovation Corporation LLP in Kokshetau, SemAZ LLP in Semey, as well as Kostanay Kostanay Tractor Plant and MTZ-Kazakhstan Machine-Building Plant LLP. In addition, the private company Kazrost Engineering ltd in Kokshetau, Kaz Kioti LLP in Turkestan region and ST Esembli LLP in Petropavlovsk are engaged in the production of agricultural machinery [3].

Suspended tillage machinery is manufactured by several plants in different regions of the country. In particular, "Kazakhstan Agro-Innovation Corporation" in Kostanay, "Kaztechmash Machine-building Plant" and "TT Engineering" in Petropavlovsk, "DAFA" in Pavlodar, "Don Mar" in Lisakovsk, "Tselinagro" in Astana, machine-building plant in Stepnogorsk, as well as "KazTechSelmash" and "Kazagromash plant" in Kokshetau is working in this direction [3]. In addition, there are other businesses that are listed in table 1.

In addition, Kazakhstan's agricultural machinery industry is still dependent on the import of components. Many domestic enterprises are creating foreign-made units. The geography of their origin is extensive: These are the EAEU countries, as well as the states of Western Europe and Asia. The final products of our manufacturers are mainly represented by various types of self-propelled, mounted and trailed agricultural machinery.

The wear and tear of agricultural machinery is one of the most important problems at the moment. Over the past 20-30 years, about 80% of this fleet of vehicles has become obsolete, and the rate of renewal is only 1-1.5% annually. In 2023, this figure reached only 4.5% in the republic, however, according to experts, for the effective renewal of the fleet, this figure should be at least 6-8%. For this reason, enterprises producing domestic agricultural machinery often work to cover the domestic market, and export volumes are very small.

There is a shortage of research and development activities (R&D) in this area and a weak technical base of enterprises. More recently, R&D expenditures in the field of mechanical engineering accounted for only 22% of total expenditures in the manufacturing industry. For comparison, in the metallurgical industry, this figure was 56%. In general, in the period from 2017 to 2023, funds spent on technological innovations in the manufacturing industry accounted for only 0.1% of GDP.

Thus, one of the most pressing problems of the agro-industrial complex is the lack of qualified personnel and the lack of new innovations. In many cases, the existing level of personnel qualification does not fully correspond to the current technological and operational requirements of the industry. In particular, there is an evident deficit of specialists across a wide range of occupations, including skilled manual professions such as turning and welding, as well as operators capable of working with sophisticated technological and electronic equipment.

In terms of technical production dynamics, the output of tractors for agriculture and for-

Table 1 – Main agricultural machinery manufacturers in Kazakhstan (2024)

№	Company	Main products	Website
1	Kazakhstan Agro Innovation Corporation LLP	Combines, harvesters, tractors, mounted and trailed machinery	kaik.kz
2	JSC "Agromashholding KZ"	Combines, harvesters, tractors, mounted and trailed machinery	amh.kz
3	CHK "Kazrost Engineering Ltd."	Combines, harvesters, tractors	kazrost.kz
4	LLP "SemAZ"	Tractors	semaz.kz
5	Kostanay Tractor Plant LLP	Tractors (Kirovets)	kirovets-ktz.kz
6	Kaz Kioti LLP	Tractors	kazkioti.kz
7	MTZ-Kazakhstan Machine-building Plant LLP	Tractors (Belarus)	tractor-belarus.kz
8	"ST ESEMBLY"	Tractors, combines, harvesters, sowing complexes	ctassembly.kz
9	LLP "KAZTECHMASH" LLP	Combine harvesters	mzktm.kz
10	Don Mar LLP	Harvesters	donmar.kz
11	AVAGRO LLP	Sprayers and spraying equipment	avagro.kz
12	KazTechSelmash LLP	Tillage machinery	kaztechselmash.kz
13	Kazagromash LLP	Tillage machinery	kazagromash.kz
14	IP Agrostroy	Tillage machinery	agrostroi03.kz

estry demonstrated a significant upward trend during the analyzed period. While approximately 2.3 thousand units were manufactured in 2020, tractor production more than doubled in the following years. Specifically, output reached around 5.5 thousand units in 2023 and increased further to 6,421 units in 2024, as illustrated in Table 2 [4].

An analysis of the structure of combine harvester production in the most recent year indicates a clear differentiation by brand. Acros accounted for 447 units, representing 34.8% of total production, followed by ESSIL with 406 units (31.6%) and Vector with 282 units (22%). Smaller shares were attributed to Tucano with 92 units (7.2%) and Torum with 17 units (1.3%), among others. Overall, recent years have been characterized by a sustained positive growth trend in the production of combine harvesters, reflecting the gradual strengthening of the domestic agricultural machinery manufacturing sector.

In recent years, three new production facilities in the agricultural machinery sector have been launched in Kazakhstan. Their total cost is 5.7 billion tenge. The projects have created 172 permanent jobs. This was announced by the Directorate of monitoring and analysis of the implementation of projects of the KCE "QazIndustry". "Enterprises have started to produce self-propelled agricultural machines, trailed and mounted machinery, sprinkler equipment, deep-wells and other equipment. Most of the products are aimed at the domestic needs of the country", the report says. When the projects launched this year reach their design capacity, the volume of products produced is projected to reach 107.3 billion tenge. As the directorate added, the total investment portfolio of agricultural machinery includes 10 projects worth about 26 billion tenge. Their implementation implies the creation of more than 700 jobs. Five projects worth 18.4 billion tenge with provision of more than 510 jobs are under implementation[3]. Thus, it is planned to produce combine harvesters, tractors, heavy harrows, grain carriers, and so on. Most of the products will be directed to the domestic market. "In the future, two more projects worth about 2 billion tenge are being worked out. Together with domestic investors, it is planned to launch the production of various types of agricultural machinery, as well as a repair and maintenance service center", the directorate said. In addition, support is provided at the national and local levels to attract investment in the industry in the form of investment preferences, preferential credit conditions, and tax breaks within special economic zones.

In order to analyze the coefficients of renewal and disposal of agricultural machinery by category (tractors, grain combine harvesters, forage harvesters, seeding machines, and beet harvesters), it is essential to consider both the dynamic changes and the category-specific characteristics reflected in the data presented in Table 3. The assessment of these indicators makes it possible to identify structural differences in the processes of technical renewal and decommissioning across various types of machinery [1]. Table 3 provides an illustrative distribution of the renewal and disposal coefficients for agricultural machinery in 2023, based on conditional (model) data.

Table 2 – Production of tractors and combines (2018-2024)

Year	Tractors (pcs.)	Combines (pcs.)
2018	350	-
2019	1 047	395
2020	2 398	924
2021	5 160	1 340
2022	4 422	838
2023	~5 418	~1 032
2024	6 421	1 088

1. Tractors:

The highest renewal rate (6.0%), which indicates the need to keep the main fleet up to date.

The elimination of tractors is also high (4.5%), which is associated with intensive wear and tear.

2. Combine harvesters:

Moderate rates of renewal (4.8%) and elimination (3.2%), which indicates the systematic replacement of obsolete units.

3. Forage harvesters:

Low renewal and elimination coefficients (3.5% and 2.0%), which may be due to the limited use of this technique.

4. Seeding machines:

A high refresh rate (5.5%), which is associated with increased requirements for precision and efficiency of sowing.

The liquidation is also significant (3.8%), probably due to the modernization of the sowing equipment.

5. Beet harvesting machines:

The lowest renewal and liquidation coefficients (2.5% and 1.7%), which is associated with limited use in Kazakhstan[4].

These indicators emphasize the need for targeted modernization of equipment, depending on its category and intensity of use.

If we analyze the agro-industrial complex of Kazakhstan, ensuring the food security of the region and the country as a whole. The period from 2018 to 2024 is characterized by signif-

Table 3 – Coefficients of renewal and disposal of agricultural machinery in 2023(%)

Category of equipment	Refresh rate (%)	Liquidation rate (%)
Tractors	6.0	4.5
Combine harvesters	4.8	3.2
Forage harvesters	3.5	2.0
Seeding machines	5.5	3.8
Beet harvesting machines	2.5	1.7

icant changes in the technological, economic and environmental components of the agro-industrial sector. To analyze the trends in the development of the technological base of agriculture in Kazakhstan, it is proposed to build a mathematical model that evaluates the efficiency of using technical resources depending on the introduction of innovative technologies.

Let:

- Y – volume of agricultural products (million tons);
- X_1 – equipment upgrade costs (million tenge);
- X_2 – the cost of implementing digital technologies (million tenge);
- X_3 is the area of cultivated land (thousand hectares).

The model of multiple linear regression has the form:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_2 + \beta_2 \cdot X_2 + \beta_3 \cdot X_3 + \varepsilon,$$

where β_0 is the free term, β_1, β_2, β_3 are the coefficients of influence of factors, ε is a random error.

Calculation of the coefficients of the model

To determine the coefficients β_1, β_2, β_3, we use the least squares method. Calculations are performed using specialized software. The results are shown below:

$$Y = 0.8 + 0.0025X_1 + 0.004X_2 + 0.01X_3.$$

Interpretation of results

1. Coefficients of the model:

- $\beta_1 = 0.0025$: An increase in the cost of updating equipment by 1 million tenge leads to an increase in production volume by 0.0025 million tons.
- $\beta_2 = 0.004$: An increase in digitalization costs by 1 million tenge increases production by 0.004 million tons.
- $\beta_3 = 0.01$: The expansion of the area of cultivated land by 1 thousand hectares gives an increase in production by 0.01 million tons.

2. Forecast for 2026:

Let's assume that in 2026 the costs will be: $X_1 = 2000$ million tenge, $X_2 = 1000$ million tenge, $X_3 = 930$ thousand hectares.

Substituting the values into the equation, we get:

$$Y = 0.8 + 0.0025 \cdot 2000 + 0.004 \cdot 1000 + 0.01 \cdot 930 = 7.8 \text{ million tons.}$$

The expected volume of production in 2026 will be 7.8 million tons.

Conclusions

Summing up this article, it was found that the general mathematical model allows us to identify the main factors affecting the growth of agricultural production. Obviously, the expansion and digitization of arable land will have a big impact. To achieve sustainable growth of the modern technological base, it is necessary to increase investments in agricultural machinery and innovation, as well as the development of infrastructure for cultivating large areas.

Therefore, the development of the agro-industrial complex in central Kazakhstan requires an integrated approach that combines innovation, investment and resource management.

Based on the conclusions of a number of researchers and industry experts, it is reasonable to agree with them, it is better to radically improve the current situation and update the regional fleet of machines and tractors, avoiding further obsolescence. As a result of physical wear – requires a fairly high rate of replacement and modernization of its main components [1].

It is known that the shortage of tractors and combines in villages leads to a violation of optimal agrotechnical deadlines, increases the risk of a decrease in crop quality and yield, and negatively affects overall production efficiency. On the contrary, innovative modernization and modernization of agricultural machinery in Modern times contributes to maximizing economic incomes and creating sustainable competitive advantages for agricultural producers [6].

In this study, an analysis of the state of the main categories of agricultural machinery was carried out, paying special attention to the processes of decommissioning and updating old tractors and combine harvesters. In addition, the main restrictions that limit their purchase and effective use have been identified. The results show that the most intense dynamics of machine modernization is observed in integrated agro-industrial complexes, where managerial decision-making is mainly aimed

at replacing elements of a worn-out material and technical base.

An assessment of the specifics of the development of the technical base of agricultural organizations suggests that in the medium and long term, to ensure stable support for agricultural enterprises and the expansion of their technical and technological infrastructure, it will be necessary to implement additional political measures and attract an increased amount of investment.

The article was prepared within the framework of the scientific project under the grant AP25794943 "Development of an innovative system for managing agro-industrial complex facilities within the framework of the "Industry-5.0" concept through the introduction of artificial intelligence" (2025-2027) (Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan).

REFERENCES

1. Терновых К.С. Состояние и тенденции развития технической базы сельскохозяйственных предприятий // International agricultural journal. – 6/2022. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sostoyanie-i-tendentsii-razvitiya-tehnicheskoy-bazy-selskohozyaystvennyh-predpriyatiy
2. Zhanaltay, Z. Agricultural development of Kazakhstan // Eurasian Research Journal. – 2023. – No. 5 (4). – Pp. 45-58.
3. Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. URL: https://stat.gov.kz/
4. Казахстанский центр индустрии и экспорта. URL: https://qazindustry.gov.kz/ru/article/3612-tri-proekta-v-selkhozmashinostroenii-zapustili-v-etom-godu-v-kazakhstane
5. Министерство сельского хозяйства Республики Казахстан. URL: https://www.gov.kz/
6. Терновых К.С., Дубовской И.И., Четверова К.С. Особенности воспроизводства материально-технической базы в интегрированных агропромышленных формированиях: Монография. – Воронеж: ВГАУ, 2017. – С. 28-30.

Қазақстанның агроөнеркәсіптік секторының техникалық базасы мен даму үрдістерін бағалау

[1]КЕРНЕБАЕВ Айдын Сапарович, *PhD, қауымдастырылған профессор, a.kernebayev@ktu.edu.kz,*
[2]*ШОХАБАЕВА Айжан Сержановна, *докторант, asohabaeva@gmail.com,*
[2]ТЛЕСОВА Эльвира Булатовна, *э.ғ.к., қауымдастырылған профессор, tlesova@mail.ru,*
[3]ХАЙЕК Петр, *PhD, hajekp@gmail.com,*
[1]Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
[2]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,
[3]Юникорн университеті, Прага, Чехия,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Ауылшаруашылық техникасының негізгі түрлеріне талдау жасалып, тракторлар мен комбайндардың істен шығуы мен жаңаруы көрсетілген. Ауыл шаруашылығы кәсіпорындарының техникалық қамтамасыз етілу деңгейі төмен деңгейде қалып отыр, ауыл шаруашылығы техникасының басым бөлігі 10 жылдан астам жұмыс істеп келеді, машина-трактор паркінің тозуы 50%-дан асады. Ауыл шаруашылығы өндірісінде отандық инновацияларды алуға және енгізуге кедергі келтіретін проблемалар атап өтілді. Осылайша, соңғы жылдары қаржылық ресурстардың жетіспеушілігі, төлем қабілеттілігінің төмендігі, техникалық базаның элементтеріне бағаның күрт өсуі ауылшаруашылық кәсіпорындарына ауылшаруашылық техникалары мен техникаларын жан-жақты жетілдіруден қалып отыр. Осы құрылымдарда басшылар басқарушылық шешімдер қабылдау барысында негізінен материалдық-техникалық базаны кеңейтілген түрде қайта өндіруге басымдық береді. Болашақта ауыл шаруашылығы кәсіпорындарын одан әрі қолдауға және олардың*

техникалық базасын кеңейтілген қайта өндіруді қамтамасыз етуге бағытталған жаңа шараларды енгізу және инвестиция көлемін арттыру қажет деген қорытынды жасалды.

Кілт сөздер: *техникалық-технологиялық база, ауыл шаруашылық ұйым, ауыл шаруашылығы техникасын өндіруші, ауыл шаруашылық машина жасау, техниканы жаңарту.*

Оценка технической базы и тенденций развития агропромышленного сектора Казахстана

[1]КЕРНЕБАЕВ Айдын Сапарович, *PhD, ассоциированный профессор, a.kernebayev@ktu.edu.kz,*
[2]*ШОХАБАЕВА Айжан Сержановна, *докторант, asohabaeva@gmail.com,*
[2]ТЛЕСОВА Эльвира Булатовна, *к.э.н., ассоциированный профессор, tlesova@mail.ru,*
[3]ХАЙЕК Петр, *PhD, hajekp@gmail.com,*
[1]Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
[2]Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,
[3]Университет Юникорн, Прага, Чехия,
**автор-корреспондент.*

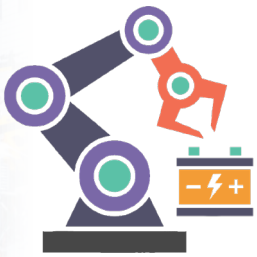
Аннотация. *Проведен анализ обеспеченности основными видами сельскохозяйственной техники, отражен вывод из эксплуатации и обновление тракторов и зерноуборочных комбайнов. Уровень технической обеспеченности сельскохозяйственных предприятий остается низким, большая часть сельскохозяйственной техники находится в эксплуатации более 10 лет, а износ машинно-тракторного парка превышает 50%. Выделены проблемы, препятствующие приобретению и внедрению отечественных инноваций в сельскохозяйственное производство. Таким образом, нехватка финансовых ресурсов, низкая платежеспособность и резкий рост цен на элементы технической базы в последние годы препятствовали сельскохозяйственным предприятиям в комплексном обновлении сельскохозяйственной техники и агрегатов на более совершенные, высокопроизводительные типы. В них руководители, принимая управленческие решения, в основном ориентируются на расширенное воспроизводство материально-технической базы. Сделан вывод о том, что в будущем потребуются новые меры и будет привлечено больше инвестиций, направленных на дальнейшую поддержку сельскохозяйственных предприятий и расширение воспроизводства их технической базы.*

Ключевые слова: *технико-технологическая база, сельскохозяйственные организации, производители сельхозтехники, сельскохозяйственное машиностроение, обновление и ликвидация техники.*

REFERENCES

1. Ternovyh K.S. Sostojanie i tendencii razvitija tehnicheskoj bazy sel'skohozjajstvennyh predprijatij // International agricultural journal. – 6/2022. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sostoyanie-i-tendentsii-razvitiya-tehnicheskoy-bazy-selskohozyaystvennyh-predpriyatiy
2. Zhanaltay, Z. Agricultural development of Kazakhstan // Eurasian Research Journal. – 2023. – No. 5 (4). – Pp. 45-58.
3. Bjuro nacional'noj statistiki Agentstva po strategicheskomu planirovaniju i reformam Respubliki Kazahstan. URL: https://stat.gov.kz/
4. Kazahstanskij centr industrii i jeksporta. URL: https://qazindustry.gov.kz/ru/article/3612-tri-proekta-v-selkhozmashinostroenii-zapustili-v-etom-godu-v-kazakhstane
5. Ministerstvo sel'skogo hozjajstva Respubliki Kazahstan. URL: https://www.gov.kz/
6. Ternovyh K.S., Dubovskoj I.I., Chetverova K.S. Osobennosti vosproizvodstva material'no-tehnicheskoj bazy v integrirovannyh agropromyshlennyh formirovanijah: Monografija. – Voronezh: VGAU, 2017. – Pp. 28-30.





DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_370 UDC 620.9:004.8

Energy Consumption Prediction in Commercial Buildings Using Machine Learning

***BAIMAGAMBETOV Adilet,** Master's Student, adiletreal03@mail.ru,
SAIMANOVA Zagira, PhD, Acting Associate Professor, zagira@mail.ru,
Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
corresponding author.

Abstract. *Energy consumption prediction plays a critical role in optimizing resource allocation, reducing costs, and promoting sustainability in various industries. The goal of this study is to predict energy consumption using three machine learning models: Linear Regression, LightGBM, and a Neural Network. After conducting comprehensive exploratory data analysis (EDA) to understand the dataset's structure and key features, the models were built and evaluated using metrics such as Mean Squared Error (MSE), Mean Absolute Error (MAE), and R^2 score. The results demonstrate that LightGBM outperforms the other models, achieving the highest prediction accuracy. These findings emphasize the importance of advanced machine learning methods in energy forecasting for improving predictive performance and decision-making.*

Keywords: *energy consumption prediction, machine learning, LightGBM, neural network, linear regression.*

Introduction

As global energy demand rises, improving energy efficiency in commercial buildings has become a critical concern for sustainability and cost management. Commercial buildings, which often house energy-intensive systems such as HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning), lighting, and electrical equipment, account for a significant portion of total energy consumption worldwide. In response, building managers and energy professionals are increasingly turning to data-driven solutions to better predict and manage energy usage, thus reducing waste and optimizing operational efficiency. [1]

Machine Learning offers a powerful ap-

proach for predicting energy consumption, leveraging historical energy usage patterns and external factors such as weather conditions, building characteristics, and occupancy levels. By improving the accuracy of energy predictions, Machine Learning models can play a pivotal role in enabling proactive energy management strategies, allowing building managers to make informed decisions on energy usage and system control. [2]

The ASHRAE Great Energy Predictor III dataset [3] provides a rich resource for exploring energy consumption prediction in commercial buildings. This dataset includes hourly energy consumption data from over 1,000 buildings, accompanied by weather conditions and building metadata, making it an ideal basis for developing predictive models.

The aim of the study is to develop Machine Learning model to predict energy consumption in commercial buildings using the ASHRAE Great Energy Predictor III dataset.

The study will involve several key objectives:

- Perform Exploratory Data Analysis (EDA) to investigate the dataset and identify patterns and trends influencing energy consumption in commercial buildings.

- Develop Machine Learning Models to predict energy usage. These models will be evaluated and compared to assess their effectiveness.

- Evaluate Model Performance by applying various metrics to determine which model performs best for energy consumption prediction.

- Analyze and Conclude Findings by examining the results, identifying factors that impact energy predictions, and summarizing the contribution of Machine Learning models to enhancing energy efficiency in commercial buildings.

Research methods

Dataset description

The ASHRAE Great Energy Predictor III dataset, sourced from Kaggle, provides detailed energy usage data for over 1,000 commercial buildings. The data aims to support models that predict energy consumption in buildings based on historical usage rates and local weather. This modeling approach allows researchers to estimate the impact of energy efficiency improvements by comparing actual energy use with counterfactual predictions, giving insight into potential savings from energy upgrades.

The dataset spans three years of hourly meter readings and covers four types of energy meters: electricity, chilled water, steam, and hot water. It includes metadata about each building's attributes, such as floor area and primary use, as well as relevant weather data from nearby meteorological stations.

The primary files in this dataset are:

1. train.csv

Contains hourly meter readings and associated data:

- building_id: Identifier for each building, linking to building_meta.csv.

- meter: Type of energy meter (0: electricity, 1: chilled water, 2: steam, 3: hot water).

- timestamp: Date and time of each reading.

- meter_reading: Target variable representing energy usage in kWh (or equivalent). Includes realistic data with measurement errors and gaps.

2. building_meta.csv

Metadata on each building:

- site_id: Links to weather data for the building's site.

- building_id: Identifier for each building.

- primary_use: Primary function of the building (e.g., education, office).

- square_feet: Gross area in square feet.

- year_built: Year the building was constructed.

- floor_count: Number of floors in the building.

3. weather_train.csv

Weather information for each site during the training period:

- site_id: Site associated with each building.

- air_temperature: Temperature in Celsius.

- cloud_coverage: Cloud cover (measured in oktas).

- dew_temperature: Dew point in Celsius.

- precip_depth_1_hr: Precipitation depth over one hour (millimeters).

- sea_level_pressure: Atmospheric pressure in millibars.

- wind_direction: Wind direction (0-360 degrees).

- wind_speed: Wind speed in meters per second.

Additional files include test.csv, weather_test.csv, and sample_submission.csv for organizing predictions, providing test-period weather data, and showing the required submission format, respectively.

Exploratory Data Analysis

Exploratory Data Analysis (EDA) is the process of examining and visualizing data to understand its structure, detect patterns, identify anomalies, and derive insights that can guide further analysis. In this study, EDA aims to uncover trends and relationships in energy consumption and weather data, detect outliers, and prepare the dataset for machine learning models.

Combining Datasets

To prepare the data for machine learning, three main tables – train.csv, building_meta.csv, and weather_train.csv – were combined into a single dataset. This integration enabled

effective analysis of the relationships between building properties, weather conditions, and energy consumption.

The combined dataset contains 20,216,100 rows and 16 columns. These columns can be grouped into:

- Numerical Features (10): These include meter_reading (our target variable), square_feet, air_temperature, and others, all represented as float64 types.

- Categorical Features (4): These include building_id, meter, site_id (all int64), and primary_use (object).

- Date/Time Feature (1): The timestamp column records when the energy consumption was measured, stored as an object type.

Data Type Conversion and Encoding

The 'timestamp' column was converted to a proper datetime format to facilitate efficient date and time operations. Following this conversion, features such as month, day, day of the week, and hour were extracted, which provide valuable temporal insights for the model. The 'primary_use' column, a categorical feature, was encoded using one-hot encoding, transforming the text labels into separate binary columns. This encoding method was selected because 'primary_use' represents distinct categories without any inherent order. One-hot encoding is ideal in this case, as it generates individual columns for each category, enabling the model to learn the relationships between the categories without assuming any ordinal relationship.

Handling Missing Values

Before proceeding with the analysis, it is essential to handle any missing values in the dataset. This involves visualizing the percentage of missing values in each column to better understand the extent of the data gaps.

The following graph shows the percentage of missing values in each column of the dataset:

The 'year_built' and 'floor_count' columns have more than 50% of their values missing, so these columns were dropped from the dataset to avoid introducing inaccuracies. For the remaining columns, particularly those related to weather data, missing values were imputed based on location and time-specific patterns. Weather conditions, such as temperature, can vary greatly depending on the site, time of day, and month, so we used site-wise average temperatures for each day of the month to fill the missing values. For features like 'cloud_coverage', 'precip_depth_1_hr', and 'sea_level_pressure', which had entirely missing values in some slices, the missing data was imputed using the median of the respective columns to maintain consistency and minimize bias in the dataset.

Identifying Outliers

To identify outliers in the meter readings, we used a boxplot. A boxplot is an effective way to visually highlight the spread and identify any extreme values that fall outside the typical range for each meter type.

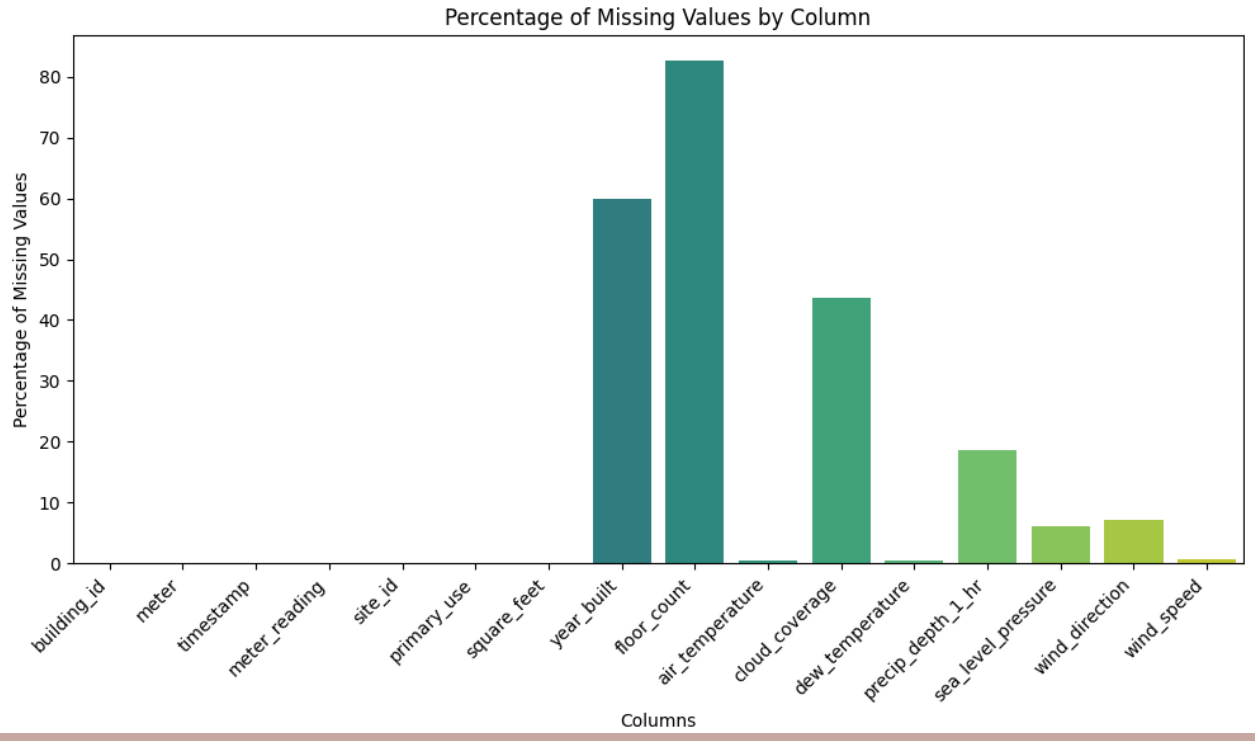


Figure 1 – Percentage of Missing Values in Each Column of the Dataset

Here is the boxplot showing the distribution of meter readings across different meter types:

By examining the boxplot, we observed significant outliers in the steam data. Upon further analysis, we discovered that the largest building (index 1099) accounted for 89.09% of the total steam usage. To address this, we decided to remove this building from the dataset to minimize the influence of these extreme outliers on the analysis.

After removing the largest building (index 1099), here is the updated boxplot showing the distribution of meter readings across different meter types.

After removing the largest building, the boxplot still shows some outliers, but the distribution is noticeably improved compared to before.

Checking for Multicollinearity

Before analyzing multicollinearity, it's important to first examine the relationships between the features. A correlation matrix helps us identify any strong correlations between variables, which could impact the performance of machine learning models.

The correlation matrix revealed no strong correlations between the features and the target variable, though some correlations were observed among the features themselves. To avoid potential issues with multicollinearity affecting the model's performance, the Variance Inflation Factor (VIF) was calculated for each feature. A high VIF value was identified for the "sea_level_pressure" feature, leading to its removal from the dataset. Despite the "air_temperature" feature having a VIF slightly above 5, it was retained due to its significance in predicting energy consumption.

Data Scaling and Transformation

For modeling preparation, log transformation and standardization were applied to specific columns in the dataset:

The 'meter_reading' and 'square_feet' columns were log-transformed using np.log1p(). These columns exhibited skewed distributions, and applying the log transformation helped in reducing skewness, making the distributions more normal. This transformation is beneficial as it compresses extreme values, improving the model's ability to identify patterns and better handle outliers.

The StandardScaler was used to standardize the 'air_temperature', 'cloud_coverage', 'dew_temperature', 'precip_depth_1_hr', 'wind_speed', and 'wind_direction' columns. These features are measured on different scales (e.g., temperature in degrees, wind speed in meters per second), so standardization ensures each feature has a mean of 0 and a standard deviation of 1. This step is crucial for models sensitive to input feature scales, such as linear models and neural networks, ensuring no single feature dominates due to its scale.

Feature Engineering

Feature engineering was applied to enhance the dataset by creating additional meaningful features that could improve the model's pre-

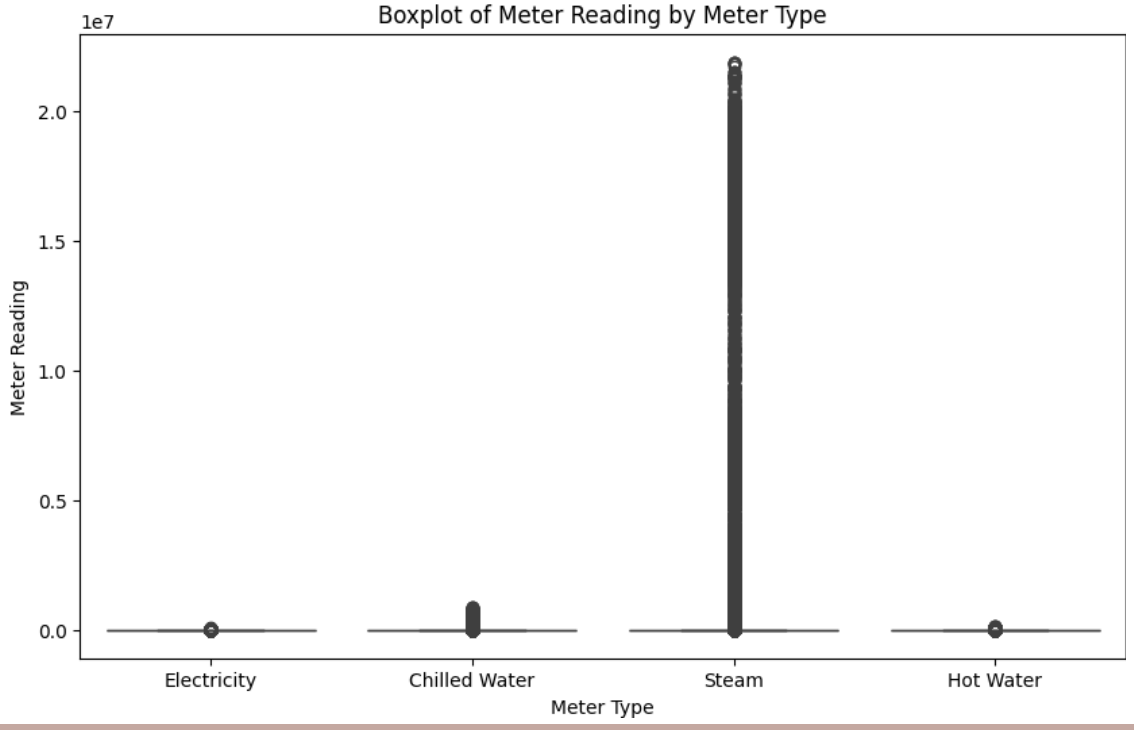


Figure 2 – Distribution of Meter Readings by Meter Type

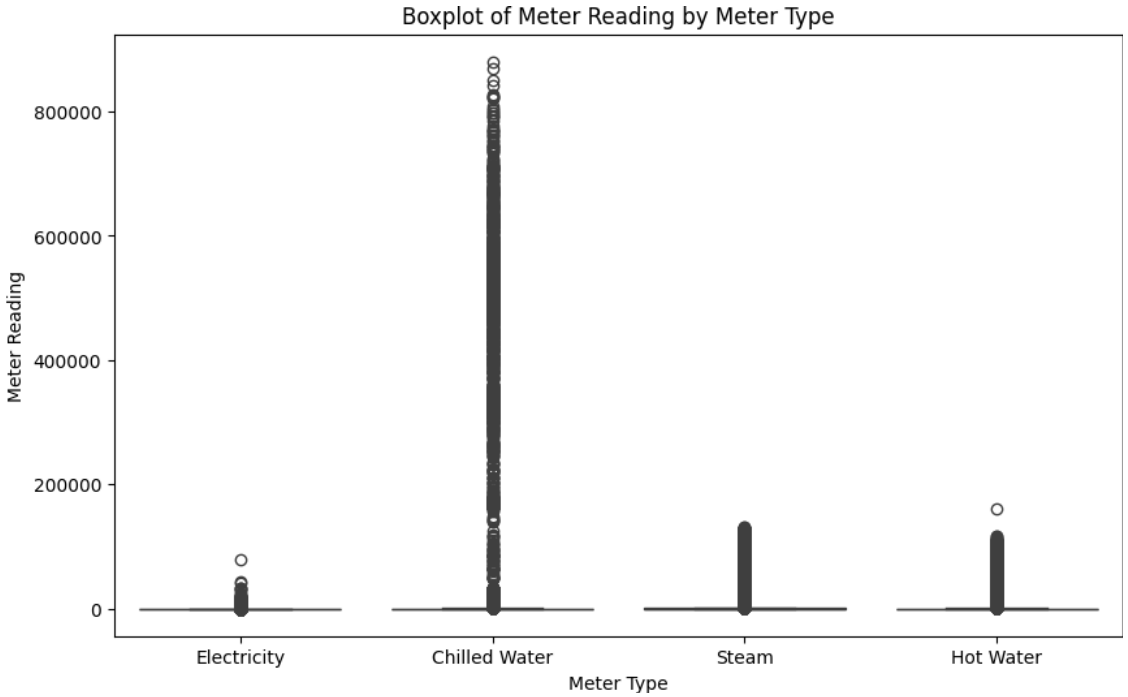


Figure 3 – Distribution of Meter Readings by Meter Type After Removing the Largest Building

dictive power. Temporal aspects of energy consumption were emphasized by transforming the month, day of the week, and hour features into more insightful categories. The month was used to determine the season, capturing the seasonal variation in energy use. A binary feature was created to mark weekends, as energy consumption patterns may differ significantly between weekdays and weekends. Additionally, the hour of the day was transformed into periods like morning, afternoon, evening, and night, which can influence energy demand due to different usage behaviors at various times.

These transformations aim to provide the model with better context about how time-related factors influence energy consumption. By encoding these temporal features effectively, the model can potentially learn more complex patterns in energy usage, improving its overall performance.

Proposed Methodology

The proposed research utilizes LightGBM (Light Gradient Boosting Machine) [4] as the primary model for energy consumption prediction [5]. LightGBM is an advanced gradient boosting framework developed by Microsoft in 2016. It is specifically designed for speed and efficiency, making it well-suited for large-scale machine learning tasks. Unlike traditional gradient boosting methods, LightGBM significantly reduces computational overhead, enabling faster training and lower memory consumption.

Key features that enhance LightGBM's performance include:

- Gradient-Based One-Sided Sampling (GOSS): This technique prioritizes data points with large gradients while reducing the number of low-gradient samples, ensuring high accuracy while improving efficiency.

- Exclusive Feature Bundling (EFB): This method groups sparse features into mutually exclusive sets, reducing memory usage and speeding up computations.

- Leaf-Wise Growth Strategy: Instead of growing trees level by level, LightGBM splits nodes based on the maximum loss reduction, allowing deeper and more efficient trees while mitigating overfitting by restricting tree depth.

LightGBM follows an iterative learning process where weak models are combined to form a robust predictive model. In each iteration, the algorithm minimizes the loss function by updating its predictions based on the residual errors from the previous step. This process allows LightGBM to optimize model performance efficiently.

Due to its ability to handle high-dimensional data, fast computation, and interpretability, LightGBM is particularly effective for energy consumption prediction. Its scalability and efficiency make it an ideal choice for analyzing large datasets while ensuring accurate forecasting.

Scientific results and discussion

In this study, three predictive models were evaluated for forecasting energy consumption: Linear Regression, LightGBM, and a Neural Network (NN). The evaluation was conducted

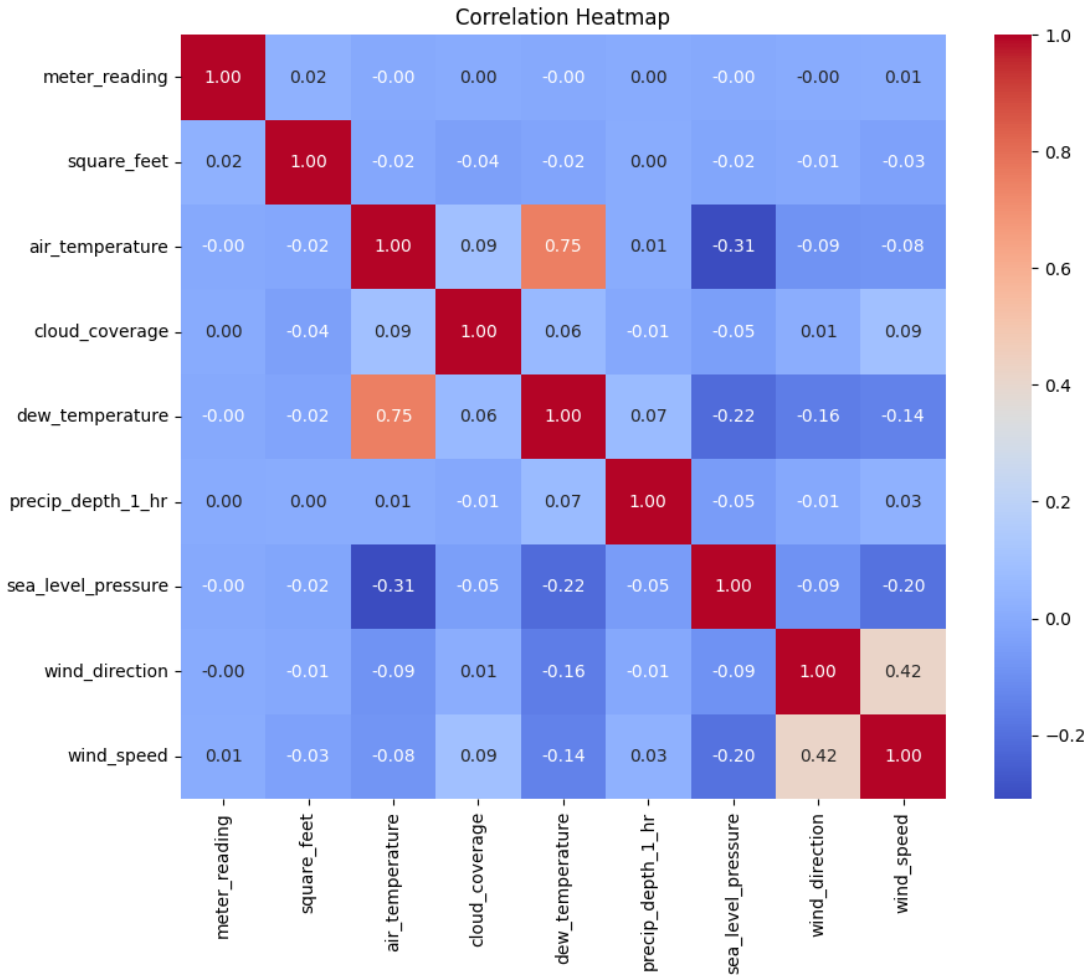


Figure 4 – Heatmap of the Correlation Matrix of Features

using three widely recognized regression metrics: Mean Squared Error (MSE), Mean Absolute Error (MAE), and the Coefficient of Determination (R^2).

Linear Regression is a simple linear model does not have many hyperparameters. It typically requires only the input features, and the objective is to minimize the residual sum of squares between the observed and predicted values.

The LightGBM model used in this study is optimized for regression tasks with parameters set for efficient training and high accuracy. Key parameters include objective as "regression" for predicting continuous values, and metric set to "RMSE" (Root Mean Squared Error) to measure prediction accuracy. The boosting type is set to "gbdt" (Gradient Boosting Decision Tree), which builds trees sequentially to correct errors made by previous ones. Additionally, the learning rate is set to 0.1 to control the contribution of each tree, and num_leaves is set to 31 to limit the number of leaf nodes in each tree, preventing overfitting. Other important parameters include max_depth, min_data_in_leaf, and feature_fraction, which control the model's complexity and its ability to generalize.

The NN model, a fully connected deep learning architecture, is configured with three layers. The first layer has 64 units with a ReLU activation function, followed by a dropout layer with a rate of 0.3 to prevent overfitting. The second layer has 32 units with ReLU activation, and another dropout layer is applied to further reduce overfitting risk. The output layer consists of a single unit, providing a continuous value for regression tasks. This architecture is trained over 12 epochs with a batch size of 32, optimized to capture non-linear relationships in the data.

MSE measures the average of the squared differences between predicted and actual values. It penalizes larger errors more heavily due to the squaring of the differences.

MAE calculates the average of the absolute differences between predicted and actual values, providing a linear score that treats all errors equally, regardless of their size.

R^2 measures the proportion of the variance in the dependent variable that is predictable from the independent variables. A value of 1

indicates perfect prediction, while 0 indicates that the model explains none of the variance.

The performance analysis of three machine learning models reveals nuanced insights into predictive capabilities across different algorithmic approaches. Linear Regression demonstrated the most limited performance, with the highest Mean Squared Error of 3.44 and an R-squared value of only 0.2, indicating substantial difficulty in capturing the underlying data patterns. In contrast, LightGBM emerged as the most effective model, presenting a significantly improved performance with the lowest Mean Squared Error of 1.99 and an R-squared value of 0.53, effectively explaining more than half of the variance in the dataset. The Neural Network occupied an intermediary position, with a Mean Squared Error of 2.52 and an R-squared value of 0.41, suggesting its potential to capture more complex relationships compared to the linear model while falling short of LightGBM's predictive power.

Overall, LightGBM demonstrated the best performance, effectively capturing the patterns in the data with lower prediction errors and a higher degree of explanatory power. This suggests that, for energy consumption prediction tasks, LightGBM is a more suitable choice compared to both Linear Regression and Neural Networks in this particular case.

Conclusion

Accurate energy consumption prediction is crucial for optimizing energy management, reducing operational costs, and supporting sustainable practices. Predicting energy usage enables more efficient resource allocation, improves load balancing, and aids in long-term planning for energy infrastructure. In this study, exploratory data analysis (EDA) was conducted to gain insights into the factors influencing energy consumption. Following this, three predictive models – Linear Regression, LightGBM, and a Neural Network – were developed and evaluated.

Among these models, LightGBM demonstrated the best performance. It outperformed both the Linear Regression and Neural Network models by achieving the lowest mean squared error (MSE) and mean absolute error (MAE), and the highest R^2 score. These results highlight LightGBM's ability to handle complex data patterns more effectively. This study emphasizes the importance of reliable energy prediction models and provides a foundation for further advancements in energy forecasting, which can assist policymakers and energy providers in making more informed decisions.

The performance metrics of the three machine learning models used for energy consumption prediction

Models/Metrics	MSE	MAE	R^2
Linear Regression	3.44	1.34	0.2
LightGBM	1.99	0.96	0.53
Neural Network	2.52	1.16	0.41

REFERENCES

1. Bibri S. E., Krogstie J. Environmentally data-driven smart sustainable cities: Applied innovative solutions for energy efficiency, pollution reduction, and urban metabolism //Energy Informatics. – 2020. – Т. 3. – № 1. – С. 29.
2. Sharma V. Exploring the Predictive Power of Machine Learning for Energy Consumption in Buildings // Journal of Technological Innovations. – 2022. – Т. 3. – № 1.
3. https://www.kaggle.com/competitions/ashrae-energy-prediction
4. https://lightgbm.readthedocs.io/en/stable/
5. Munir S. et al. Energy Consumption Prediction Based on LightGBM empowered with eXplainable Artificial Intelligence // IEEE Access. – 2024.

Машиналық оқытуды пайдалана отырып, коммерциялық ғимараттардағы энергия тұтынуды болжау

***БАЙМАГАМБЕТОВ Адилет Ермекулы,** магистрант, adiletreal03@mail.ru,*

САЙМАНОВА Загира Бекетаевна, *PhD, доцент м.а., zagira@mail.ru,*
Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Энергия тұтынуды болжау ресурстарды тиімді бөлуде, шығындарды азайтуда және әртүрлі салаларда тұрақты дамуды қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады. Бұл зерттеудің мақсаты – энергия тұтынуды болжау үшін үш машиналық оқыту моделін: сызықтық регрессия, LightGBM және нейрондық желіні пайдалану. Деректер жиынының құрылымы мен негізгі сипаттамаларын түсіну үшін жан-жақты зерттеу деректерін талдау (EDA) жүргізілгеннен кейін модельдер жасалып, орташа квадраттық қате (MSE), орташа абсолюттік қате (MAE) және детерминация коэффициенті (R^2) сияқты метрикалар арқылы бағаланды. Нәтижелер LightGBM моделі ең жоғары болжау дәлдігіне қол жеткізіп, басқа модельдерден асып түсетінін көрсетеді. Бұл нәтижелер энергия тұтынуын болжауда озық машиналық оқыту әдістерінің болжамдық дәлдікті және шешім қабылдауды жақсартудағы маңыздылығын көрсетеді.*

Кілт сөздер: *энергия тұтынуды болжау, машиналық оқыту, LightGBM, нейрондық желі, сызықтық регрессия.*

Прогнозирование энергопотребления в коммерческих зданиях с использованием машинного обучения

****БАЙМАГАМБЕТОВ Адилет Ермекулы,*** *магистрант, adiletreal03@mail.ru,*
САЙМАНОВА Загира Бекетаевна, *PhD, и.о. доцента, zagira@mail.ru,*
Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Прогнозирование энергопотребления играет ключевую роль в оптимизации распределения ресурсов, снижении затрат и продвижении устойчивого развития в различных отраслях. Цель данного исследования – прогнозирование энергопотребления с использованием трех моделей машинного обучения: линейной регрессии, LightGBM и нейронной сети. После проведения всестороннего исследовательского анализа данных (EDA) для изучения структуры и ключевых характеристик набора данных были построены модели и оценены по таким метрикам, как среднеквадратичная ошибка (MSE), средняя абсолютная ошибка (MAE) и коэффициент детерминации (R^2). Результаты показывают, что модель LightGBM превосходит остальные модели, достигая наивысшей точности предсказаний. Эти результаты подчеркивают важность передовых методов машинного обучения в прогнозировании энергопотребления для повышения точности предсказаний и принятия решений.*

Ключевые слова: *прогнозирование энергопотребления, машинное обучение, LightGBM, нейронная сеть, линейная регрессия.*

REFERENCES

1. Bibri S. E., Krogstie J. Environmentally data-driven smart sustainable cities: Applied innovative solutions for energy efficiency, pollution reduction, and urban metabolism //Energy Informatics. – 2020. – Т. 3. – № 1. – С. 29.
2. Sharma V. Exploring the Predictive Power of Machine Learning for Energy Consumption in Buildings // Journal of Technological Innovations. – 2022. – Т. 3. – № 1.
3. https://www.kaggle.com/competitions/ashrae-energy-prediction
4. https://lightgbm.readthedocs.io/en/stable/
5. Munir S. et al. Energy Consumption Prediction Based on LightGBM empowered with eXplainable Artificial Intelligence // IEEE Access. – 2024.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_378 УДК 004.4

Обеспечение качества данных для машинного обучения

***ВЕЛИЧКО Алексей Игоревич,** магистрант, alex_alex_99_99@mail.ru,
КОГАЙ Галина Давыдовна, к.т.н., доцент, g.kogay@mail.ru,
ШАКИРОВА Юлия Каримова, магистр, старший преподаватель, uliya_sch@mail.ru,
СЕРІК Әлібек Маратұлы, магистрант, alibek99strike@gmail.com,
Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
*автор-корреспондент.

Аннотация. *Целью работы является рассмотрение ключевых методов обеспечения качества данных для машинного обучения. Затронуты процессы очистки и предобработки данных, автоматизированные инструменты для управления качеством данных и способы измерения их пригодности для обучения моделей. Качество данных играет ключевую роль в успехе моделей машинного обучения. Низкокачественные данные могут приводить к искажениям в моделях, снижению точности прогнозов и увеличению времени разработки решений. Определены основные аспекты обеспечения качества данных, которые включают очистку данных, обработку пропусков, управление выбросами, нормализацию и стандартизацию. Рассматриваются инструменты для автоматизации мониторинга и улучшения качества данных, а также метрики для оценки их пригодности для машинного обучения. Исследование подтверждает важность обеспечения качественного набора данных для машинного обучения.*

Ключевые слова: *качество данных, очистка данных, подготовка данных, целевая метка, кластеризация, обработка данных, модель обучения.*

Введение

Машинное обучение стало одной из ключевых технологий в современном мире, значительно улучшая процессы автоматизации и принятия решений в самых разных областях – от медицины и финансов до маркетинга и транспорта. Однако эффективность и точность моделей машинного обучения напрямую зависят от качества данных, на которых они обучаются. Данные являются основой для обучения алгоритмов, и даже самые передовые модели не смогут обеспечить правильные прогнозы при работе с низкокачественными или загрязненными данными.

Обеспечение качества данных – это комплексный процесс, включающий сбор, предобработку и контроль данных. Игнорирование этих процессов может привести к обучению модели на искаженных данных, что увеличивает риск ошибочных прогнозов и снижает эффективность внедряемых решений.

Литературный обзор

В работе Karr, A.F., & Sanil, A.P. (2015). Data Quality: The Key to Machine Learning Success – авторы акцентируют внимание на типичных источниках ошибок и возможных последствиях для построения моделей, включая снижение точности и устойчивости.

Duncan, G.J., & Duncan, B. (2020). Data Quality Assessment and Improvement: A Review of the Literature – проводят обзор существующих подходов к оценке и улучшению качества данных, выделяя важность комплексного анализа на всех этапах жизненного цикла данных.

Batini, C., & Scannapieco, M. (2016). Data and Information Quality: Dimensions, Principles and Techniques – фокусируются на систематизации измерений и методик управления качеством данных. Их работа предлагает теоретические основы и практические инструменты, которые позволяют эффективно внедрять процессы улучшения качества в прикладных проектах.

Kelleher, J.D., Mac Namee, B., & D'Arcy, A. (2020). Fundamentals of Machine Learning for Predictive Data Analytics: Algorithms, Worked Examples, and Case Studies. В книге объясняется влияние качества входных данных на производительность моделей и предлагаются практические примеры обработки.

В совокупности источники подчеркива-

ют, что обеспечение качества данных – это не одноразовая задача, а непрерывный процесс, требующий поддержки на всех этапах работы с данными.

Данные обучения при контролируемом и неконтролируемом обучении

Машинное обучение можно разделить на два основных типа: контролируемое обучение и неконтролируемое обучение, и данные для каждого из этих подходов играют различные роли в процессе обучения моделей [4].

Контролируемое обучение

В контролируемом обучении модель обучается на основе размеченных данных, где каждому примеру входных данных соответствует известный целевой ответ. Такой подход подразумевает наличие обучающего набора данных, содержащего пары «входные данные – целевой результат». Например, при прогнозировании цены жилья входные данные могут включать характеристики недвижимости (площадь, местоположение и т.д.), а целевое значение – фактическая цена дома [6].

Цель контролируемого обучения – научить модель предсказывать правильный результат для новых, ранее не виденных данных. Важно, чтобы обучающие данные были размечены и сбалансированы. Некорректная разметка или несоответствие данных могут привести к обучению на ошибках, что снизит точность прогнозов (рисунок 2).

Неконтролируемое обучение

Неконтролируемое обучение, в отличие от контролируемого, не предполагает наличия размеченных данных. В данном подходе модель обучается на основе структуры или закономерностей в данных без целевых меток. Этот тип обучения часто применяется для решения задач кластеризации, выявления аномалий и уменьшения размерности данных. Примером может служить анализ клиентов для их сегментации на основе поведения, когда нет заранее известных групп.

Данные для неконтролируемого обучения не требуют строгой разметки, но их качество и представительность остаются критическими факторами. Основная задача здесь – наличие большого объема разнообразных данных, позволяющего модели находить скрытые паттерны и взаимосвязи [6].

Сравнение подходов

Оба подхода предъявляют разные требования к данным, но качество данных остается важным для успеха модели. В контролируемом обучении акцент делается на точную разметку и полноту данных, тогда как в неконтролируемом обучении важны объем, разнообразие и чистота входных данных (рисунок 1).

Процесс работы с данными обучения

Работа с данными является ключевым этапом в разработке моделей машинного обучения. Процесс подготовки данных для обучения моделей включает несколько шагов, от сбора до их финальной предобработки и оценки. Каждый шаг направлен на то, чтобы подготовить данные таким образом, чтобы модель могла эффективно обучаться и генерировать точные прогнозы.

Все методики обучения начинаются со сбора данных из различных источников. Данные могут быть предоставлены в различном виде: текст, изображения, звуки, видео и т.д. [1].



Рисунок 1 – Схема предоставляемых данных

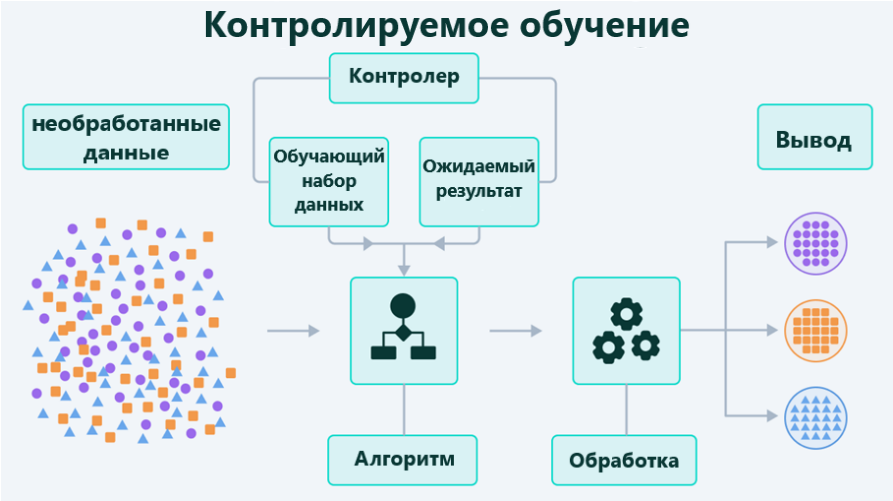


Рисунок 2 – Процесс работы с данными при контролируемом обучении

Контроль и улучшение качества данных

Для начала стоит визуализировать данные, – это помогает исследовать их структуру и выявить возможные проблемы, такие как перекосы распределения или корреляции между признаками. Графики, такие как гистограммы, диаграммы рассеяния и тепловые карты, могут помочь лучше понять данные и принять решения о дальнейших шагах.

Важно регулярно проводить контроль качества данных, особенно если данные поступают из внешних или динамических источников. Метрики качества данных, такие как полнота, точность и согласованность, помогают оценить, насколько данные подходят для задачи. Автоматизированные инструменты и системы мониторинга могут отслеживать изменения в данных и уведомлять о необходимости их корректировки [2].

Датасеты для обучения, валидации и тестирования

Ни одну ИИ-модель невозможно обучить и протестировать на одних и тех же данных. По этой причине данные обучения (Training data) должны использоваться не менее 60% имеющихся данных для обучения.

Датасет содержит 100000 изображений рукописных цифр (от 0 до 9), собранных из различных источников (планшеты, цифровые блокноты). Каждое изображение представлено в формате 28x28 пикселей в градациях серого.

Используем третью диаграмму (60/20/20) для разделения данных:

- Обучающий набор (60%) – 60000 изображений;
- Валидационный набор (20%) – 20000 изображений;
- Тестовый набор (20%) – 20000 изображений.



Рисунок 3 – Процентные соотношения объёмов данных

Как используются данные:

Обучающий набор – используется для обучения нейросети. Здесь модель изучает закономерности между пикселями и цифрами.

Валидационный набор – применяется для подбора гиперпараметров и предотвращения переобучения.

Тестовый набор – проверяет итоговое качество модели на новых, ранее не виденных данных.

В машинном обучении датасеты для обучения, валидации и тестирования выполняют разные функции.

- Обучающие данные используются для обучения модели. На основе этих данных модель подбирает параметры для миними-

зации ошибки и формирования предсказательной функции;

- Валидационные данные используются для оценки качества модели во время обучения. Помогают настроить количество нейронов в слое, скорость обучения и определить момент завершения обучения.

Пример:

При обучении модели нейронной сети валидационные данные используются для мониторинга метрики (например, точности или ошибки) на каждом этапе обучения.

- Тестовые данные используются для финальной оценки производительности модели после завершения её обучения. Оценивают способность модели к обобщению на новых, невидимых данных [5].

Пример:

После обучения модели классификации текстов на обучающих данных и настройки гиперпараметров на валидационных, тестовые данные показывают, как модель будет работать с новыми текстами (рисунок 3).

Применение и реализация систем мониторинга качества данных

Ниже представлен пример реализации автоматизированной системы мониторинга качества данных. Этот пример включает базовые проверки, такие как контроль пропущенных значений, выбросов, распределения данных и отклонений от заданных стандартов (рисунок 4).

Объяснение:

Проверка пропущенных значений – считаются количество и процент пропущенных значений для каждой колонки.

Проверка выбросов – используется метод Z-стандартизации для выявления выбросов или же значения, отклоняющиеся от среднего более чем на заданное количество стандартных отклонений.

Вывод:

- В каждой из колонок присутствует по одному пропущенному значению, что составляет 12.5% от общего числа данных;

- Выбросов в числовых колонках age и income не обнаружено при использовании порога Z-стандартизации равного 3.

Концепция предобработки и обеспечения качества данных для машинного обучения

Данные являются фундаментом для построения точных и надежных моделей машинного обучения. Проблемы с качеством данных – пропуски, выбросы, несоответствие типов или дисбаланс классов – могут значительно снизить производительность моделей и их способность к обобщению. На основе вышеописанных методов и анализа предлагается концепция предобработки и обеспечения качества данных, основанная на интеграции автоматизации, адаптивных подходов и стандартов качества.

Основные принципы концепции:

Автоматизация процессов – создание модульных и воспроизводимых пайплайнов, которые автоматически проверяют и исправляют недостатки данных на всех этапах их обработки.

Адаптивность к различным типам данных – использование гибких методов, которые могут применяться к числовым, категориальным и текстовым данным, а также данным, поступающим в реальном времени.

Центрирование на метриках качества – внедрение метрик для оценки качества дан-

Пропущенные значения:

Колонка	Количество пропусков	Процент пропусков
age	1	12.5%
income	1	12.5%
city	1	12.5%

Выбросы:

Колонка	Количество выбросов
age	0
income	0

Рисунок 4 – Пример реализации автоматизированной системы мониторинга качества данных

ных, включая полноту, достоверность, консистентность и применимость. Эти метрики позволяют объективно оценить состояние данных [3].

Обсуждение

Обеспечение качества данных для машинного обучения – это важный аспект, который влияет на точность и надежность моделей. В процессе разработки моделей машинного обучения высококачественные данные не только улучшают прогнозы, но и помогают избежать ошибок и искажений. Однако обеспечение качества данных является сложной задачей, включающей множество аспектов, таких как сбор данных, их предобработка, управление выбросами и корректировка пропущенных значений.

Обеспечение качества данных для машинного обучения имеет ряд преимуществ. Оно повышает точность и надежность моделей, снижает риск переобучения, устраняет ошибки и искажения, а также способствует повышению доверия к результатам моделей. Однако этот процесс также сталкивается с вызовами. Он требует значительных временных и ресурсных затрат на сбор, очистку и предобработку данных. К тому же ошибки на этапах обеспечения качества могут привести к непредсказуемым результатам. Автоматизация процесса помогает снизить затраты, но может быть сложной в реализации, особенно при работе с большими и неоднородными данными.

Заключение

В совокупности изученного материала можно сделать вывод что качество данных является критически важным аспектом успешной реализации моделей машинного обучения. Плохое качество данных может привести к снижению точности, непредсказуемости и ошибкам в выводах, что, в свою очередь, подрывает доверие к результатам и снижает эффективность применения технологий. Поэтому необходимо уделять особое внимание процессам сбора, очистки и подготовки данных.

Кроме того, регулярная оценка и мониторинг качества данных в ходе всего жизненного цикла модели помогают выявлять и устранять потенциальные проблемы. Использование автоматизированных инструментов и методов для оценки качества данных может значительно повысить эффективность этих процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Karr, A.F., & Sanil, A.P. (2015). Data Quality: The Key to Machine Learning Success. In Handbook of Statistics (Vol. 34, pp. 121-144). Elsevier.
2. Duncan, G.J., & Duncan, B. (2020). Data Quality Assessment and Improvement: A Review of the Literature. Quality and Quantity, 54(5), 1395-1415.
3. Batini, C., & Scannapieco, M. (2016). Data and Information Quality: Dimensions, Principles and Techniques. Springer.
4. Kelleher, J.D., Mac Namee, B., & D'Arcy, A. (2020). Fundamentals of Machine Learning for Predictive Data Analytics: Algorithms, Worked Examples, and Case Studies. MIT Press.
5. Zhu, H., Liu, H., & Song, G. (2020). An overview of data quality issues in artificial intelligence applications. Journal of Big Data, 7(1), 1-26.
6. Gebru, T., Morgenstern, J., Vecchione, B., Vaughan, J. W., Wallach, H., Daumé III, H., & Crawford, K. (2021). Datasheets for datasets. Communications of the ACM, 64(12), 86-92.

Деректерді машиналық оқытуға арналған сапаны қамтамасыз ету

***ВЕЛИЧКО Алексей Игоревич,** магистрант, alex_alex_99_99@mail.ru,*
***КОГАЙ Галина Давыдовна,** т.ғ.к., доцент, g.kogay@mail.ru,*
***ШАКИРОВА Юлия Каримова,** магистр, аға оқытушы, uliya_sch@mail.ru,*
***СЕРІК Әлібек Маратұлы,** магистрант, alibek99strike@gmail.com,*
Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Жұмыстың мақсаты – машиналық оқыту үшін деректердің сапасын қамтамасыз етудің негізгі әдістерін қарастыру. Деректерді тазарту және өңдеу процестеріне, деректердің сапасын басқарудың автоматтандырылған құралдарына және олардың модельдерді оқытуға жарамдылығын өлшеу әдістеріне әсер етеді. Деректер сапасы машиналық оқыту модельдерінің жетістігінде шешуші рөл атқарады. Сапасыз деректер модельдердің бұрмалануына, болжамдардың дәлдігінің төмендеуіне және шешімдерді әзірлеу уақытының ұлғаюына әкелуі мүмкін. Деректерді тазалауды, өткізіп жіберуді өңдеуді, шығарындыларды басқаруды, қалыпқа келтіруді және стандарттауды қамтитын деректер сапасын қамтамасыз етудің негізгі аспектілері анықталды. Мониторингті автоматтандыру және деректер сапасын жақсарту құралдары, сондай-ақ олардың машиналық оқытуға жарамдылығын бағалау өлшемдері қарастырылады. Зерттеу машиналық оқыту үшін сапалы деректер жиынтығын қамтамасыз етудің маңыздылығын растайды.*

Кілт сөздер: *деректер сапасы, деректерді тазалау, деректерді даярлау, мақсатты айқындық, кластерлеу, деректерді өңдеу, оқыту моделі.*

Data Quality Assurance for Machine Learning

***VELICHKO Alexey,** Master's Student, alex_alex_99_99@mail.ru,
KOGAY Galina, Cand. of Tech. Sc., Associate Professor, g.kogay@mail.ru,
SHAKIROVA Yuliya, Master's Degree, Senior Lecturer, uliya_sch@mail.ru,
SERIK Alibek, Master's Student, alibek99strike@gmail.com,
Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
corresponding author.

Abstract. *The purpose of this paper is to examine key methods for ensuring data quality for machine learning. This paper covers data cleaning and preprocessing processes, automated tools for data quality management, and ways to measure their suitability for model training. Data quality plays a key role in the success of machine learning models. Low-quality data can lead to distortions in models, lower forecast accuracy, and longer decision development time. The main aspects of data quality assurance are defined, which include data cleaning, omission processing, outlier management, normalization and standardization. Tools for automating monitoring and improving data quality, as well as metrics for evaluating their suitability for machine learning, are considered. The study confirms the importance of providing a high-quality data set for machine learning.*

Keywords: *data quality, data cleaning, data preparation, target label, clustering, data processing, learning model.*

REFERENCES

1. Karr, A.F., & Sanil, A.P. (2015). Data Quality: The Key to Machine Learning Success. In Handbook of Statistics (Vol. 34, pp. 121-144). Elsevier.
2. Duncan, G.J., & Duncan, B. (2020). Data Quality Assessment and Improvement: A Review of the Literature. Quality and Quantity, 54(5), 1395-1415.
3. Batini, C., & Scannapieco, M. (2016). Data and Information Quality: Dimensions, Principles and Techniques. Springer.
4. Kelleher, J.D., Mac Namee, B., & D'Arcy, A. (2020). Fundamentals of Machine Learning for Predictive Data Analytics: Algorithms, Worked Examples, and Case Studies. MIT Press.
5. Zhu, H., Liu, H., & Song, G. (2020). An overview of data quality issues in artificial intelligence applications. Journal of Big Data, 7(1), 1-26.
6. Gebru, T., Morgenstern, J., Vecchione, B., Vaughan, J. W., Wallach, H., Daumé III, H., & Crawford, K. (2021). Datasheets for datasets. Communications of the ACM, 64(12), 86-92.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_384 УДК 621.37

Разработка IoT-системы для мониторинга окружающей среды с использованием облачных технологий

***ҚҰТТЫБАЙ Нұржігіт Бақытұлы,** PhD, и.о. доцента, nurjigit.10.93@gmail.com,*
***СЕЙТЖАНОВА Айнагуль Кабиденовна,** магистрант, ainagulya2001@gmail.com,*
***ЕРШОВ Эван Петрович,** студент, yershov_evan@kaznu.edu.kz,*
***ҚОШҚАРБАЙ Нұрсұлтан Жалғасұлы,** докторант, koshkarbay.nursultan@gmail.com,*
***ЖОЛАМАНОВ Батырбек Нұрыллаұлы,** докторант, batyrbek149@gmail.com,*
Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

***Аннотация.** Представлены разработка и экспериментальная проверка IoT-системы для мониторинга параметров окружающей среды. Система включает три уровня: сбор данных с использованием различных сенсоров, беспроводную передачу информации через встроенный модуль Wi-Fi Raspberry Pi и USB-модем 4G, а также хранение данных на облачном сервере Google Cloud. Архитектура системы позволяет эффективно собирать информацию о температуре, влажности, атмосферном давлении, солнечной радиации и состоянии облачности. Собранные данные визуализируются с помощью программного обеспечения Python и используются для анализа погодных условий. Разработанная система доказала свою надежность и точность при эксплуатации, а также продемонстрировала потенциал для применения в метеорологических исследованиях и прогнозировании на основе искусственного интеллекта.*

***Ключевые слова:** IoT-система, мониторинг окружающей среды, датчики, беспроводная передача данных, облачное хранение, прогнозирование погоды.*

Введение

Передача данных играет ключевую роль в системах мониторинга, определяя своевременность и точность принятия решений. Высокое качество и скорость передачи информации в реальном времени критически важны для эффективной работы систем управления и автоматизации [1]. Задержки могут снизить надёжность и безопасность, в то время как оперативная передача усиливает их и способствует рациональному использованию ресурсов [2].

Современные тенденции акцентируют внимание на беспроводных технологиях с низким энергопотреблением, широким радиусом действия и возможностью связи в реальном времени [3]. Это особенно актуально для мониторинга окружающей среды и метеоусловий [4]. Однако рост числа подключенных устройств требует новых подходов к обработке, хранению и защите данных [5].

Одним из решений выступают периферийные вычисления (edge computing), позволяющие обрабатывать данные у источника, снижая задержки и нагрузку на серверы. Интеграция IoT с облачными и edge-решениями открывает путь к умным городам, автоматизации производства и системам умного дома [6].

Одной из ключевых сфер применения IoT остаётся мониторинг окружающей среды. IoT-метеостанции собирают данные о температуре, влажности, давлении, ветре и солнечной радиации, что важно для сельского хозяйства, энергетики, авиации и климатологии [7]. Использование Wi-Fi-датчиков и облачных платформ снижает стоимость таких решений, делая их доступными для широкого применения [8].

В реализации IoT-систем применяются микроконтроллеры и одноплатные ПК, такие как Raspberry Pi и Arduino, с модулями Wi-Fi, GSM, GPRS и др. Они передают данные в облако для дальнейшего анализа и визуализации. Эффективность Raspberry Pi и Arduino в подобных задачах подтверждена рядом исследований [2, 8, 9].

Технология LoRa обеспечивает связь в удалённых районах без доступа к традиционным сетям, расширяя возможности эколо-

гического мониторинга [10].

В данной работе представлена IoT-система на базе Raspberry Pi для мониторинга окружающей среды. Система собирает данные о солнечном излучении, температуре, влажности, давлении и облачности, передавая их через Wi-Fi на сервер Google Cloud. Подключение к интернету осуществляется через 4G USB-модем. Описаны архитектура системы, алгоритм работы и проведён анализ эффективности с визуализацией данных.

Материалы и методы

Разработанная IoT-система мониторинга окружающей среды включает три ключевых уровня: уровень сбора данных, уровень передачи данных и уровень хранения и представления данных (рисунок 1).

Уровень сбора данных предназначен для измерения и предварительной обработки информации о климатических параметрах: температура, влажность, атмосферное давление, интенсивность и спектр солнечного излучения, а также визуальные данные облачности. Как показано на рисунке 2 а, датчики подключены к контроллеру Raspberry Pi по интерфейсам I2C и SPI. Электропитание обеспечивается от сети переменного тока через внешний блок питания. Все данные предварительно обрабатываются на локальном уровне и передаются далее по системе.

В состав измерительного модуля входят датчик DHT22, фиксирующий температуру (0-50°C, точность ±2°C) и влажность (20-90%, ±5%), и более точный BMP280, измеряющий температуру (−40°C до 85°C), влажность (0-100%) и атмосферное давление (300-1100 гПа). Пиранометр SEM228T регистрирует интенсивность солнечного излучения в диапазоне 400-1100 нм. Камера IMX307 с разрешением 2 Мп обеспечивает получение изображений облаков для оценки погодных условий. Спектрометр Hamamatsu C12880MA выполняет спектральный анализ солнечного света в диапазоне 340-850 нм.

На уровне передачи данных применяется 4G USB-модем, обеспечивающий стабильную беспроводную связь через мобильный интернет, что позволяет системе функционировать на значительном расстоянии от центра обработки.

Финальный уровень включает передачу информации на облачный сервер Google Cloud, где данные хранятся, обрабатываются и визуализируются. Пользователи могут получать к ним доступ с любых устройств в режиме реального времени, что упрощает контроль, анализ и принятие решений на основе текущих климатических условий.

Передача данных осуществляется беспроводным способом с использованием встроенного модуля Wi-Fi Raspberry Pi и 4G USB-модема, что обеспечивает гибкость развертывания и удалённый доступ к системе. Данные отправляются каждые 60 секунд в течение светового дня и сохраняются на облачном сервере Google Cloud. Для взаимодействия с хранилищем реализован API-канал, позволяющий обрабатывать большой объем информации в реальном времени.

Выбор Google Cloud обоснован его надежной инфраструктурой, масштабируемостью и высокой производительностью, что особенно важно для IoT-систем. Облачная платформа обеспечивает защиту данных с помощью шифрования AES-256 как при передаче, так и при хранении (https://nvlpubs.



Рисунок 1 – Структурная схема системы мониторинга окружающей среды

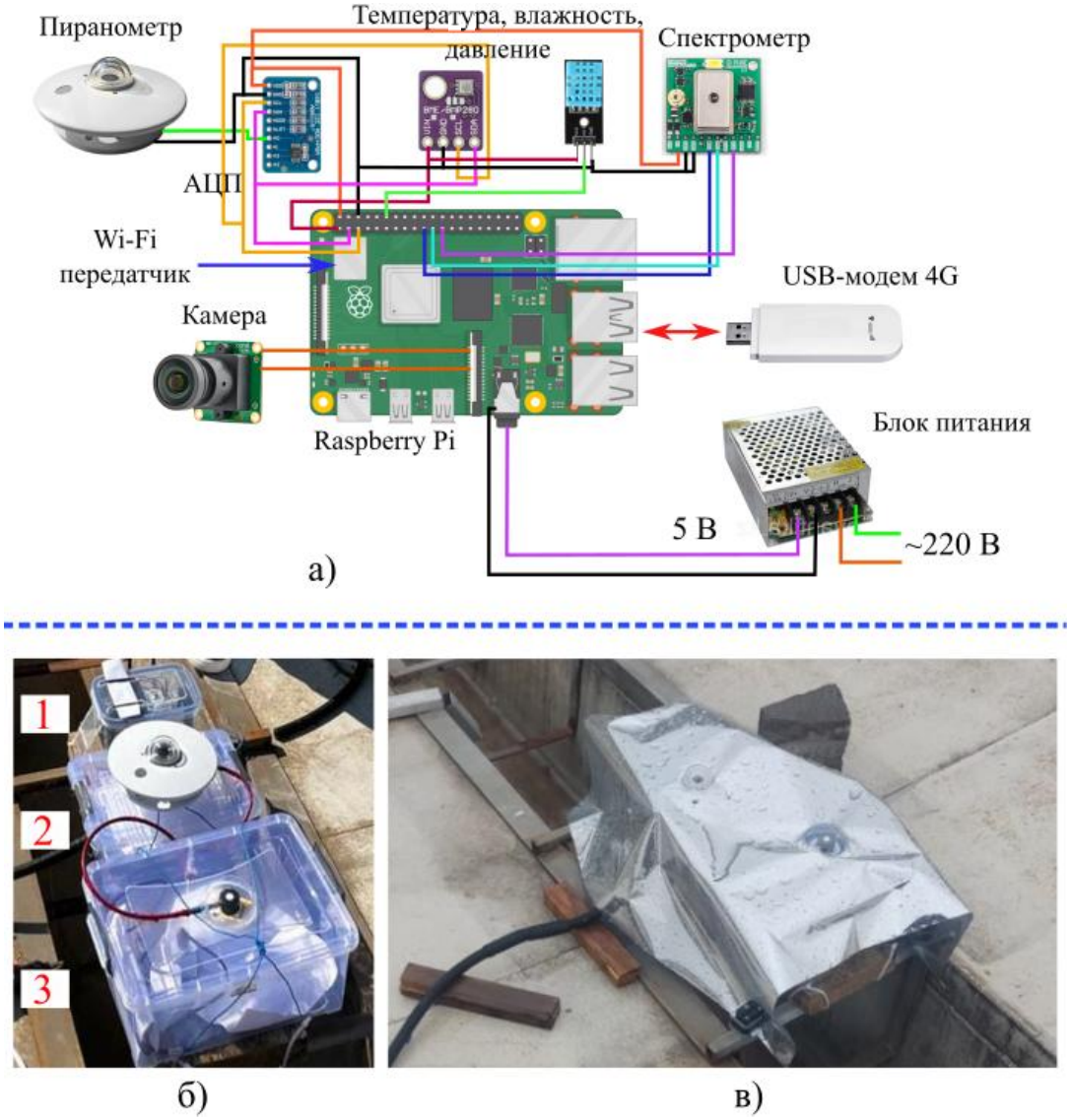


Рисунок 2 – Структура и реализация экспериментальной установки

nist.gov/nistpubs/FIPS/NIST.FIPS.197.pdf), а также многоуровневой аутентификации MFA (https://pages.nist.gov/800-63-3/sp800-63b.html).

Google Cloud соответствует международным стандартам безопасности, включая GDPR и ISO/IEC 27018, и использует протоколы OAuth 2.0 (https://commission.europa.eu/law/law-topic/data-protection_en) и SSL/TLS (https://cloud.google.com/docs/security/encryption-in-transit) для защиты каналов связи. Также применяются технологии DLP (https://cloud.google.com/security/products/dlp?hl=ru) для контроля распространения чувствительной информации. Такой подход делает Google Cloud безопасной и эффективной платформой для хранения данных в IoT-приложениях.

На заключительном этапе сохранённые данные могут быть представлены различными методами, включая использование программного обеспечения и устройств с доступом к сети Интернет. Данные, хранящиеся в облачном сервере, представлены в текстовом формате и в виде изображений.

В рамках данного исследования визуализация данных была выполнена с использованием языка программирования Python. Полученные графические данные совместимы с различными устройствами, включая планшеты, смартфоны и ноутбуки, что обеспечивает их удобное отображение на любой платформе.

Собранные данные представляют значительную ценность для различных исследовательских направлений. Одним из перспективных применений является построение моделей прогнозирования погоды с использованием технологий искусственного интеллекта.

Результаты и обсуждение

Экспериментальная эксплуатация разработанной IoT-системы мониторинга окружающей среды началась в сентябре 2024 года и продолжается по настоящее время. Установка размещена на крыше физико-технического факультета КазНУ имени аль-Фараби, что позволяет минимизировать влияние теней и получить точные данные в различных климатических условиях.

Как показано на рисунке 2, б, система состоит из трёх функциональных контейнеров. В первом размещены Raspberry Pi, датчики температуры, влажности, давления, камера для визуализации неба, кулер и 4G-модем. Во втором – блок питания, аналого-цифровой преобразователь и пиранометр, установленный на крышке. В третьем – спектрометр с комплектующими элементами для анализа солнечного спектра.

Такое конструктивное разделение снижает риск перегрева, обеспечивает стабильную работу компонентов и повышает надёжность системы при длительном полевом применении.

В условиях отсутствия стабильного электроснабжения метеорологическая IoT-система может работать автономно за счёт солнечной панели и аккумуляторной батареи. Зарядка аккумулятора осуществляется через контроллер заряда, а питание компонентов стабилизируется DC-DC преобразователем. Все элементы размещены в корпусе с защитой не ниже IP65, что делает систему пригодной для эксплуатации в удалённых и труднодоступных местах.

Для обеспечения бесперебойной работы система использует энергоэффективные компоненты. Постоянно активные устройства, включая Raspberry Pi и сенсоры (температуры, влажности, давления и солнечной радиации), потребляют около 4 Вт. Дополнительно, с периодичностью раз в минуту, включаются камера, спектрометр и 4G-модем, увеличивая среднюю мощность до примерно 4,8 Вт. Суточное энергопотребление составляет около 116 Вт·ч.

Для автономной работы в течение двух суток с учётом потерь и ограничения по глубине разряда аккумулятор должен иметь ёмкость не менее 45-50 А·ч при напряжении 12 В. Однако из-за возможных погодных колебаний и загрязнений солнечной панели рекомендуется использовать панель мощностью не менее 50-60 Вт. Это обеспечивает устойчивость системы в условиях сниженной солнечной активности и сезонных изменений.

Для обеспечения защиты системы от воздействия влаги и избыточного нагрева солнечными лучами, оборудование было покрыто светоотражающей пленкой, имеющей вырезы для обеспечения доступа датчиков к окружающей среде. Это позволяет эффективно защищать компоненты системы при сохранении точности измерений (рисунок 2, в).

Метеорологические данные, полученные от установленной системы, продолжают поступать до настоящего времени. Собранная информация сохраняется в облачном сервере.

Для подтверждения достоверности данных, представленных на рисунках 3 и 5, была проведена комплексная оценка, включающая лабораторную калибровку сенсоров DHT22 и BMP280, статистическую обработку результатов и сравнение с официальными метеоданными.

Графики (рисунок 3) демонстрируют высокую согласованность температурных показаний от обоих сенсоров. BMP280 дополнительно измерял атмосферное давление, а DHT22 – относительную влажность. Для повышения надёжности применялось скользящее усреднение по трём измерениям, что позволяло сгладить кратковременные флуктуации, вызванные переменами погодных условий.

Предварительная калибровка сенсоров проводилась в контролируемых условиях с использованием эталонных приборов. Полученные отклонения не превышали заявленные производителем значения: ±0,5°C и ±2-5 % влажности для DHT22; ±1°C и ±1 гПа для BMP280. Это обеспечило точность в процессе полевых измерений.

Результаты были сопоставлены с официальным прогнозом погоды РГП «Казгидромет» по городу Алматы на 13 сентября 2024 года (https://kazhydromet.kz/uploads/files_calendar/5955/file/66bde913692e5pp-po-alm-oblasti-i-g-almaty-na-sentyabr-2024g.pdf). Отклонения между измеренными и прогнозируемыми значениями находились в пределах допустимой погрешности, что подтверждает корректность работы системы.

Возможное локальное повышение температуры из-за металлической поверхности крыши учитывалось при интерпретации данных.

Сбор и анализ информации осуществлялись в среде Python (редактор PyCharm) с использованием библиотек NumPy, Pandas и Matplotlib (рисунок 4). Были рассчитаны базовые статистические характеристики, включая средние значения, медиану, стандартное отклонение и коэффициенты корреляции. Высокая корреляция между температурными данными DHT22 и BMP280 подтверждает внутреннюю согласованность измерений, а совпадение с эталонными

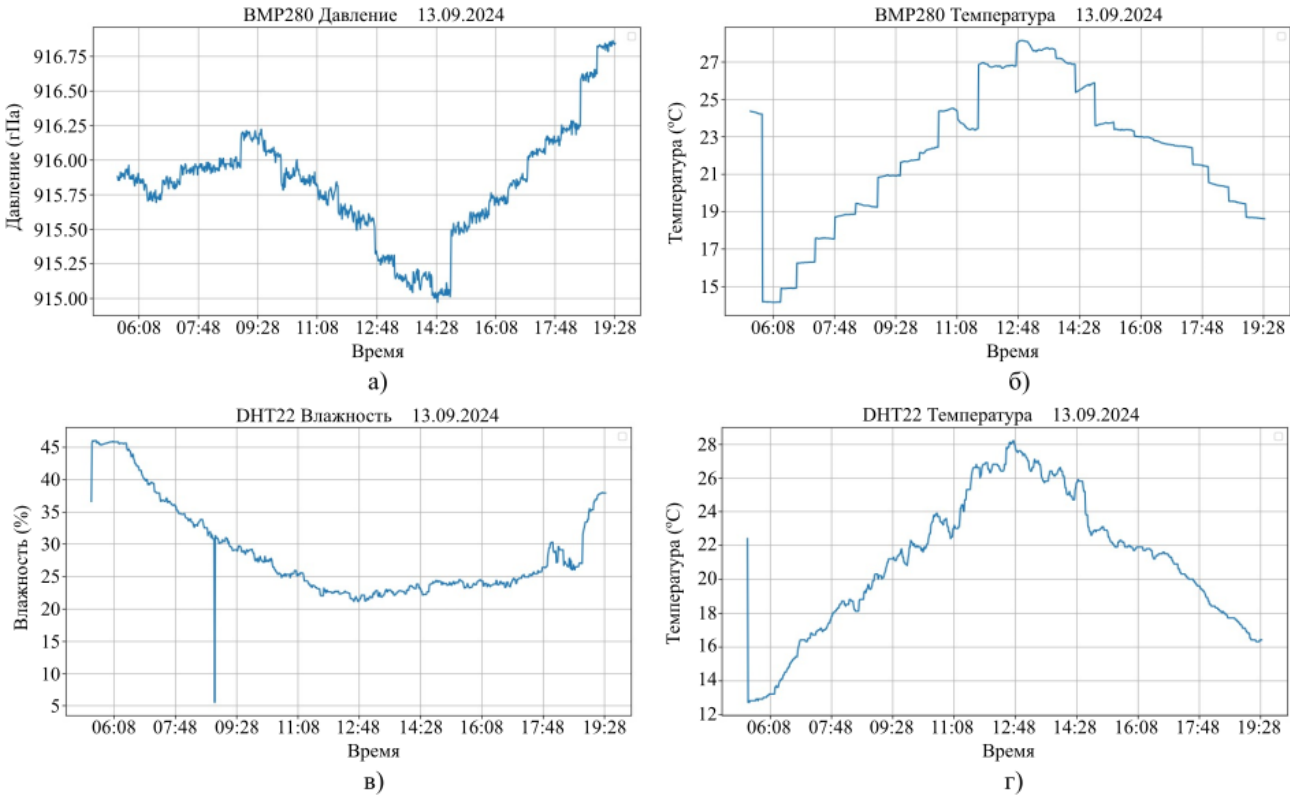


Рисунок 3 – График изменения атмосферного давления, температуры и влажности

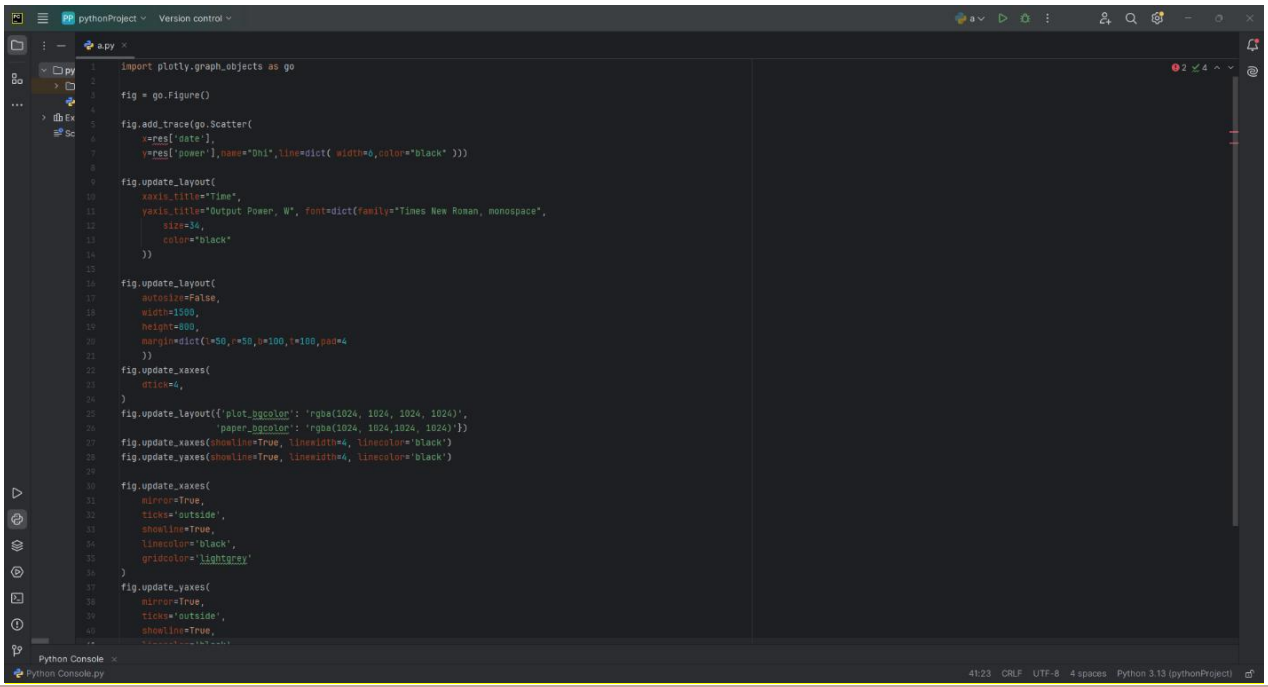


Рисунок 4 – Обработка данных с использованием программы PyCharm

источниками – надёжность системы в целом.

На рисунке 5, а представлен график изменения солнечной радиации, зарегистрированной с использованием пиранометра SEM228T в течение дня. Данные отражают динамику интенсивности солнечного излучения, измеренного в ясный день, что позволяет оценить вариации солнечной актив-

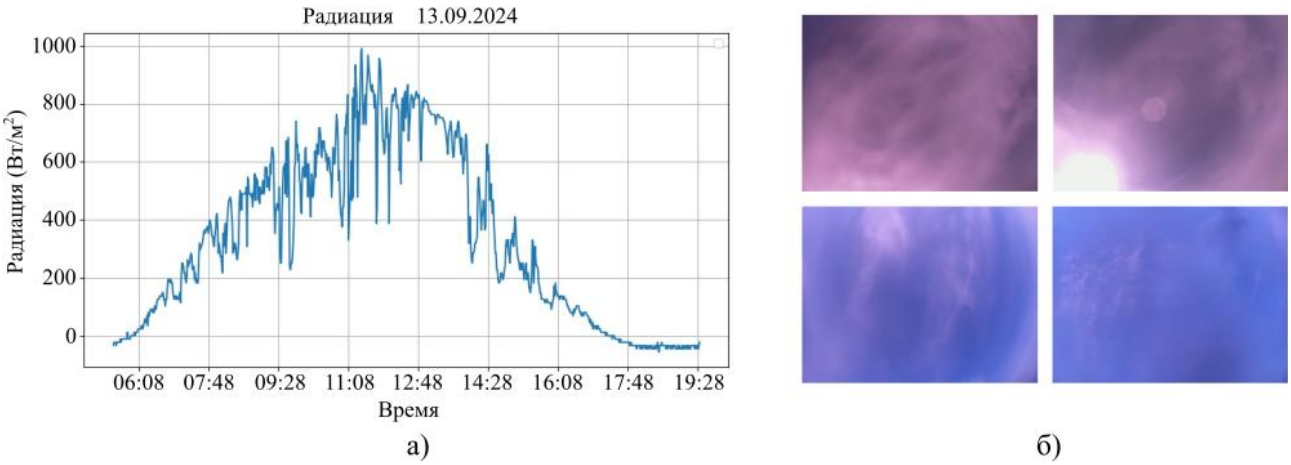


Рисунок 5 – График изменения солнечной радиации и снимки облачности

ности в зависимости от времени суток. Эти показатели являются ключевыми для анализа климатических условий и могут быть использованы в прогнозировании погодных изменений, а также для оптимизации работы солнечных энергетических систем.

На рисунке 5, б представлены несколько снимков облачности, полученных с использованием камеры IMX307 в течение дня. Эти изображения позволяют визуально оценивать состояние атмосферы и динамику облачных образований, что может быть использовано для уточнения прогнозов погоды и анализа погодных условий. Камера обеспечивает высокое качество снимков, позволяя детально фиксировать изменения в облачном покрове.

Представленные результаты подтверждают функциональность разработанной IoT-системы для мониторинга окружающей среды в реальных условиях эксплуатации. Система надежно работает с сентября 2024 года, обеспечивая стабильный сбор, передачу и визуализацию данных. Графики изменения температуры, давления, влажности и солнечной радиации, а также снимки облаков демонстрируют высокую точность и согласованность измерений, что свидетельствует об эффективности используемого оборудования и методов. Установка системы на крыше позволила минимизировать влияние теней, а использование светоотражающего покрытия обеспечило защиту от перегрева и влаги, гарантируя устойчивую работу. Данные, визуализированные с помощью Python, подтвердили удобство использования облачного сервера для анализа и хранения информации. Таким образом, система доказала свою практическую значимость и готовность к применению в метеорологических исследованиях и других прикладных задачах.

Выводы

Разработанная IoT-система для мониторинга окружающей среды продемонстрировала свою эффективность и надежность в условиях реальной эксплуатации. Система успешно обеспечивает непрерывный сбор, передачу и хранение данных о ключевых параметрах окружающей среды, включая температуру, влажность, давление, солнечную радиацию и визуальную информацию о состоянии облачности. Использование облачного сервера для хранения данных и визуализации результатов с помощью современных программных инструментов, таких как Python, позволяет эффективно анализировать и интерпретировать полученные данные.

Благодаря продуманной архитектуре система устойчива к внешним воздействиям и гарантирует высокую точность измерений, что делает её подходящей для широкого спектра метеорологических и исследовательских задач. Полученные результаты подтверждают, что система может быть использована как основа для построения интеллектуальных моделей прогнозирования погоды и других аналитических решений. В дальнейшем планируется расширить функционал системы, интегрировав дополнительные датчики и алгоритмы анализа данных, что повысит её универсальность и ценность для научных исследований.

Благодарность

Работа выполнена при поддержке исследовательского проекта AP23487428 Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан и выполнена в Казахском Национальном Университете имени аль-Фараби, что с благодарностью признано авторами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zhou Y. et al. Process for evaluating the data transfer performance of wireless traffic sensors for real-time intelligent transportation systems applications // IET Intelligent Transport Systems. – 2017. – Т. 11. – № 1. – С. 18-27.
2. Kapoor P., Barbhuiya F.A. Cloud based weather station using IoT devices // TENCON 2019-2019 IEEE Region 10 Conference (TENCON). – IEEE, 2019. – С. 2357-2362.
3. Nikoukar A. et al. Low-power wireless for the internet of things: Standards and applications // IEEE Access. – 2018. – Т. 6. – С. 67893-67926.
4. Dong Z., Meyland S., Karaomeroglu M. A case study of an autonomous wireless sensor network system for environmental data collection // Environmental Progress & Sustainable Energy. – 2018. – Т. 37. – № 1. – С. 180-188.
5. Gulyaev Y.V. et al. Dynamic-chaos information technologies for data transmission, storage, and protection // Radioelectronics. Nanosystems. Information technologies. – 2018. – Т. 218. – № 10. – С. 2.
6. Shi, W.; Cao, J.; Zhang, Q.; Li, Y.; Xu, L. Edge Computing: Vision and Challenges. IEEE Internet Things J. 2016, 3, 637-646.
7. Chaw Myat Nwe, Zaw Min Min Htun, "A smart weather monitoring system using Internet of things", International Journal of Scientific Engineering and Research,Volume 6 Issue 7, July 2018.
8. Mestre, G.; Ruano, A.; Duarte, H.; Silva, S.; Khosravani, H.; Pesteh, S.; Ferreira, P.M.; Horta, R. An Intelligent Weather Station. Sensors 2015, 15, 31005-31022.
9. Brito R.C. et al. Development of a low cost weather station using free hardware and software // 2017 Latin American Robotics Symposium (LARS) and 2017 Brazilian Symposium on Robotics (SBR). – IEEE, 2017. – С. 1-6.
10. Pietrosemoli E., Rainone M., Zennaro M. On extending the wireless communications range of weather stations using LoRaWAN // Proceedings of the 5th EAI International Conference on Smart Objects and Technologies for Social Good. – 2019. – С. 78-83.

Бұлттық технологияларды қолданып қоршаған ортаны бақылауға арналған IoT жүйесін әзірлеу

ҚҰТТЫБАЙ Нұржігіт Бақытұлы, *PhD, доцент м.а., nurjigit.10.93@gmail.com,*
СЕЙТЖАНОВА Айнагуль Кабиденовна, *магистрант, ainagulya2001@gmail.com,*
ЕРШОВ Эван Петрович, *студент, yershov_evan@kaznu.edu.kz,*
ҚОШҚАРБАЙ Нұрсұлтан Жалғасұлы, *докторант, koshkarbay.nursultan@gmail.com,*
ЖОЛАМАНОВ Батырбек Нұрыллаұлы, *докторант, batyrbek149@gmail.com,*
Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Қоршаған ортаның параметрлерін бақылауға арналған IoT жүйесін жасау және тәжірибе барысында тексеру нәтижелері ұсынылған. Жүйе үш деңгейден тұрады: әртүрлі сенсорлар арқылы деректерді жинау, орнатылған Wi-Fi Raspberry Pi модулі және USB-модем 4G арқылы ақпаратты сымсыз тарату және Google Cloud бұлттық серверінде деректерді сақтау. Жүйе архитектурасы температура, ылғалдылық, атмосфералық қысым, күн радиациясы және бұлттылық жағдайы туралы ақпаратты тиімді жинауға мүмкіндік береді. Жиналған деректер Python бағдарламалық қамтамасыздандыруы арқылы визуализацияланып, ауа райы жағдайларын талдау үшін қолданылады. Әзірленген жүйе пайдалану барысында сенімділігін және дәлдігін дәлелдеді, сондай-ақ жасанды интеллект негізінде болжам жасау және метеорологиялық зерттеулер үшін жоғары әлеуетке ие екенін көрсетті.*

Кілт сөздер: *IoT жүйесі, қоршаған ортаны бақылау, сенсорлар, деректерді сымсыз тарату, бұлттық сақтау, ауа райын болжау*

Development of an IoT system for environmental monitoring using cloud technologies

***KUTTYBAY Nurzhigit,** PhD, Acting Assistant Professor, nurjigit.10.93@gmail.com,
SEITZHANOVA Ainagul, Master's Student, ainagulya2001@gmail.com,
YERSHOV Evan, Student, yershov_evan@kaznu.edu.kz,
KOSHKARBAY Nursultan, Doctoral Student, koshkarbay.nursultan@gmail.com,
ZHOLAMANOV Batyrbek, Doctoral Student, batyrbek149@gmail.com,
Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,
*corresponding author.

Abstract. *The development and experimental verification of an IoT system for environmental parameter monitoring are presented. The system consists of three levels: data collection using various sensors, wireless data transmission via the built-in Wi-Fi module of the Raspberry Pi and a 4G USB modem, and data storage on the Google Cloud server. The system's architecture enables efficient collection of information on temperature, humidity, atmospheric pressure, solar radiation, and cloud cover. The collected data is visualized using Python software and utilized for weather condition analysis. The developed system has demonstrated reliability and accuracy in operation, showcasing its potential for applications in meteorological research and forecasting based on artificial intelligence.*

Keywords: *IoT system, environmental monitoring, sensors, wireless data transmission, cloud storage, weather forecasting.*

REFERENCES

1. Zhou Y. et al. Process for evaluating the data transfer performance of wireless traffic sensors for real-time intelligent transportation systems applications // IET Intelligent Transport Systems. – 2017. – Т. 11. – № 1. – С. 18-27.
2. Kapoor P., Barbhuiya F.A. Cloud based weather station using IoT devices // TENCON 2019-2019 IEEE Region 10 Conference (TENCON). – IEEE, 2019. – С. 2357-2362.
3. Nikoukar A. et al. Low-power wireless for the internet of things: Standards and applications // IEEE Access. – 2018. – Т. 6. – С. 67893-67926.
4. Dong Z., Meyland S., Karaomeroglu M. A case study of an autonomous wireless sensor network system for environmental data collection // Environmental Progress & Sustainable Energy. – 2018. – Т. 37. – № 1. – С. 180-188.
5. Gulyaev Y.V. et al. Dynamic-chaos information technologies for data transmission, storage, and protection // Radioelectronics. Nanosystems. Information technologies. – 2018. – Т. 218. – № 10. – С. 2.
6. Shi, W.; Cao, J.; Zhang, Q.; Li, Y.; Xu, L. Edge Computing: Vision and Challenges. IEEE Internet Things J. 2016, 3, 637-646.
7. Chaw Myat Nwe, Zaw Min Min Htun, "A smart weather monitoring system using Internet of things", International Journal of Scientific Engineering and Research,Volume 6 Issue 7, July 2018.
8. Mestre, G.; Ruano, A.; Duarte, H.; Silva, S.; Khosravani, H.; Pesteh, S.; Ferreira, P.M.; Horta, R. An Intelligent Weather Station. Sensors 2015, 15, 31005-31022.
9. Brito R.C. et al. Development of a low cost weather station using free hardware and software // 2017 Latin American Robotics Symposium (LARS) and 2017 Brazilian Symposium on Robotics (SBR). – IEEE, 2017. – С. 1-6.
10. Pietrosemoli E., Rainone M., Zennaro M. On extending the wireless communications range of weather stations using LoRaWAN // Proceedings of the 5th EAI International Conference on Smart Objects and Technologies for Social Good. – 2019. – С. 78-83.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_392 UDC 621.316.57

The Effect of the Technical Condition of 110 kV SF_6 Gas Circuit Breakers on the Reliability of Power Systems, Taking into Account the Assessment of the Remaining Resource

BULATBAYEV Felix, *Cand. of Tech Sc., Dean, f.bulatbayev@ktu.edu.kz,*
****MARENOVA Alina,*** *Master's Student, alina.marenova@mail.ru,*
BULATBAYEVA Yuliya, *PhD, Associate Professor, yu.bulatbaeva@ktu.edu.kz,*
MAHAMBETOV Olzhas, *Doctoral Student, olzhasmahambetov965@gmail.com,*
NESHINA Elena, *Cand. of Tech Sc., Head of Department, e.neshina@ktu.edu.kz,*
Abylcas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *The method presented by theoretical calculations for estimating the residual resource of possible on and off switches by high-voltage circuit breakers is proposed based on the switching resource utilization factor and an integral indicator of the technical condition of gas-free circuit breakers. The calculations were performed in relation to the passport data by the manufacturer. They show the relationship between the deterioration of the technical condition of the equipment with an increase in the probability of failures and a decrease in the reliability of the protective function of power systems. The results obtained can be used in making operational decisions and planning maintenance of high-voltage circuit breakers with an insulating environment – gas. The results of calculations of dependent indicators are illustrated in the form of graphs. The calculations performed demonstrate the influence of key diagnostic parameters on the remaining life of electrical equipment.*

Keywords: *switching, gas, diagnostics, power systems, residual resource, operation, scheduled repairs.*

Introduction

During operation, circuit breakers are subjected to mechanical, electrical, and thermal wear, which leads to deterioration of their technical condition and a decrease in switching reliability. Untimely detection of defects can cause failures, unplanned outages, and disruptions of the normal operating mode of the power system, accompanied by additional electrical energy losses.

Under modern operating conditions of electric power facilities, the transition from scheduled preventive maintenance to condition-based maintenance is becoming especially relevant. In this regard, the development and improvement of methods for diagnosing and assessing the remaining service life of circuit breakers, which make it possible to increase the reliability of power systems and optimize operating costs, can influence the forecasting of further breaker operation and financial savings [1].

The aim of the study is to analyze the technical condition of 110 kV SF_6 circuit breakers in terms of power system reliability and to substantiate an approach to assessing their remaining service life based on nameplate data and diagnostic parameters.

The tasks set to achieve this goal in the article can be formulated as follows: to consider the main diagnostic technical parameters for the selected model and its паспорт; to assess the impact of deterioration in the technical condition of circuit breakers on reliability; to justify the possibility of using diagnostic parameters to evaluate and predict the remaining service life of circuit breakers.

Methods and Materials

In work [2], a method is used to estimate the remaining service life of a circuit breaker based on the Health Index. Equipment condition parameters are divided into three groups: basic parameters, operational parameters, and defect parameters. Using the analytic hierarchy process, an integrated condition indicator is calculated, on the basis of which the remaining life and the probability of circuit breaker

failure are determined.

Among modern solutions for monitoring SF_6 gas leakage is the approach proposed in article [3]. SF_6 gas leaks pose a significant threat to related application areas, and detecting SF_6 gas leakage becomes extremely important. The method involves monitoring SF_6 gas leakage based on a specialized binocular imaging system. First, the central wavelength of the first filter is set to 10,630 nm based on the resonance absorption peak of SF_6 gas. The second filter is used to record background noise and system noise. Specifically, the central wavelength of this second filter is 8,370 nm, which helps avoid the resonance absorption peaks of other gases and their influence. Second, two individual filters are installed separately on two cameras, and the CBIs system is prepared for operation. Third, system noise is reduced by calibrating the prototype acoustically and using the BM3D algorithm. Since the CBIs system has a binocular structure with a difference in the field of view between the two cameras, template matching is used to determine alignment. Finally, a difference method is used for gas detection.

The main nameplate parameters of SF_6 circuit breakers include rated voltage, rated current, short-circuit breaking current, and switching endurance. These characteristics define the permissible operating range of the circuit breaker and its ability to reliably perform switching functions within the power system. Exceeding the permissible current values or exhausting the switching endurance (1) leads to accelerated wear of the contacts and the operating mechanism.

$$k_{kom.res.} = \frac{Ni}{N_{\max} i}, \quad (1)$$

where i – trip or make current; $k_{kom.res.}$ – the circuit breaker resource utilization factor, N – is the number of switching operations and $N_{\max}$ – is the maximum permissible number of operations according to the equipment passport. The utilization factor is always less than or equal to unity $k_{kom.res.} \leq 1$. The closer the utilization factor is to unity, the higher the wear of the circuit breaker.

The temporal characteristics of the circuit breaker's opening and closing operations play an important role in assessing its technical condition. An increase in operating time, as well as asynchronous operation of the poles, may indicate mechanical wear, improper drive adjustment, or deterioration of the arc-quenching conditions. These parameters directly affect the quality of switching processes and the stability of the power system during transient conditions. The degree of deviation of these characteristics can be clearly illustrated by formula (2).

The mechanical condition of the circuit breaker is determined by the wear of moving components, the number of switching operations performed, and the condition of the drive mechanism. Even if the rated electrical parameters are maintained, significant mechanical wear can lead to circuit breaker failure under emergency conditions. Therefore, a comprehensive analysis of both nameplate and operational parameters is a necessary prerequisite for an objective assessment of the technical condition of 110 kV SF_6 circuit breakers.

$$\Delta t = \frac{t - t_{nom}}{t_{nom}}, \quad (2)$$

where t – actual switching (closing/opening) operation time; t_{nom} – the rated closing and opening operation times are specified in the equipment passport. Deviations of the actual operation times from these rated values (Δt) indicate deterioration of the mechanical components and the drive mechanism.

SF_6-related parameters are of particular importance for gas-insulated circuit breakers, as SF_6 serves both as an arc-quenching and insulating medium. These parameters include gas pressure and density, which are specified in the equipment passport and monitored during operation. A decrease in SF_6 pressure below the permissible level can lead to deterioration of dielectric properties and a reduction in the breaker's interrupting capability. In addition, SF_6 leaks accelerate equipment aging and negatively affect its environmental characteristics.

The condition of SF_6 in the breaker tank can be assessed by the ratio of the actual pressure, obtained from operational measurements, to the nominal value (3):

$$k_{sf6} = \frac{p}{p_{nom}}, \quad (3)$$

where p – current tank pressure, p_{nom} – the nominal pressure according to the equipment passport. A coefficient $k_{sf6} < 1$ – indicates a decrease in the insulation and arc-quenching capability of the circuit breaker [4].

The assessment of the residual life of SF_6 circuit breakers is an important task in the operation of power equipment, as it allows for informed decisions regarding the need for maintenance, modernization, or replacement of the breakers. Residual life is understood as the ability of a circuit breaker to maintain operability and perform its designated functions over a certain period while keeping diagnostic parameters within permissible limits.

In situations with limited access to equipment, a promising approach is based on the analysis of nameplate data and monitored diagnostic parameters. The main indicators of

residual life may include switching endurance, closing and opening operation times, SF_6 gas parameters, as well as the number of switching operations performed. Changes in these parameters over time reflect the degree of wear of the circuit breaker and allow for an indirect assessment of its technical condition.

Reacting with the air and moisture present in the gas during the power supply process, the gas decomposes into chemically active and highly corrosive products such as SF_4 and other decomposition compounds. These pollutants (air, moisture, and decomposition products) interfere with the safe operation of the equipment. The resulting reactions interact with the equipment reservoir and lead to its corrosion, reducing the dielectric strength of insulating materials. The article [5] illustrates the chemical reaction and decomposition products during emergency shutdowns. The data does not take into account the number of switches on and off, gas refueling, etc.

For a comprehensive assessment of the circuit breaker's technical condition, this study proposes using an integral technical condition index (T_I), which takes into account the influence of the main diagnostic parameters (4):

$$T_I = \omega_1 \cdot k_{kom.res.} + \omega_2 \cdot (1 - \Delta t) + \omega_3 \cdot k_{sf6}, \quad (4)$$

where ω_1, ω_2, ω_3 – weighting coefficients reflecting the significance of the corresponding parameters, under the condition that $\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1$.

The proposed approach to assessing the residual life is based on comparing the actual values of diagnostic parameters with their maximum permissible values, as specified by the manufacturer and regulatory documents. Each parameter can be assigned a specific weighting coefficient depending on its influence on the reliability of the circuit breaker. This approach allows for the formation of a generalized assessment of the technical condition and residual life of the equipment.

Each assessment method takes into account one or another characteristic of the impact on the operational properties of the switch. So in the article [6], using passport data, the calculation of the remaining resource is performed in the case of a block action to turn off the switch. The maximum value of the current through the switch is calculated during the shutdown process and the duration of the current flow and shutdown, which is calculated from the moment the command is issued to the switch. With each shutdown, the remaining life of the switch is reduced by the calculated value of the exhausted resource.

In [7], a comparative analysis of various methods for assessing the residual resource was carried out, taking into account different indicators of the impact on the quality of work. At the same time, it is necessary to take into account the reliability of the initial data and the methods used, as well as the coefficients used. The first three methods take into account only one single operational factor – the switched current. However, it should be noted that this factor has the greatest impact on the value of the resource, as it has thermal, electrical, mechanical and indirectly chemical effects on the equipment. Method 5 allows you to take into account any number of operational factors. Method 6 takes into account rather than operational factors, but statistical ones, such as failure rate, probability of uptime, etc. This is the main difference between this method and the others for this comparison parameter.

Based on the resource utilization factor, it is possible to estimate the residual life of the circuit breaker, which can be calculated using the following expression (5):

$$R_{res} = (1 - k_{kom.res.}) \cdot R_{nom}, \quad (5)$$

where $R_{res.}$ – evaluation of the residual service life of the circuit breaker, R_{nom} – the rated service life of the circuit breaker, as specified by the manufacturer, expressed either in years or in the number of switching operations.

Results of the Study

As an object of research, we will take the passport data of the gas-fired circuit breaker of the column type of the VGT-110-40/2500 U1 series.

Based on the assumed operating values of expressions (1), the calculation of the residual life of the gas circuit breaker is performed according to formula (5).

The 1st graph illustrates the dependence of the remaining service life of a 110 kV SF_6 circuit breaker on the resource utilization factor under different emergency interruption conditions. The first curve corresponds to periodic emergency interruptions, while the second curve represents frequent emergency interruptions. It is observed that frequent emergency interruptions lead to a significantly faster and nonlinear reduction of the remaining service life due to increased thermal and electrodynamic stresses acting on the contact system and arc-quenching chamber. In contrast, periodic emergency interruptions result in a slower degradation process. The presented dependence highlights the critical impact of emergency operation frequency on the service life of high-voltage circuit breakers, especially under harsh sharply continental climatic conditions.

The graph presents a comparison of the remaining service life of a 110 kV SF_6 circuit breaker as a function of the resource utilization factor under periodic emergency interruptions and under conditions of planned maintenance,

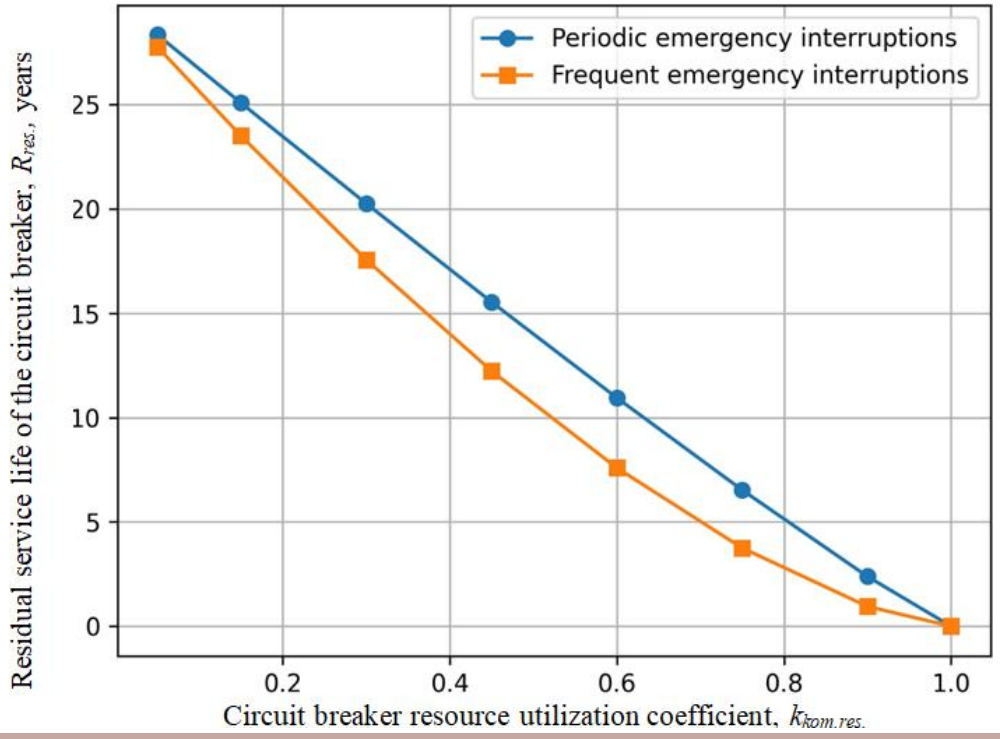


Figure 1 – Remaining service life vs resource utilization factor under emergency interruption modes

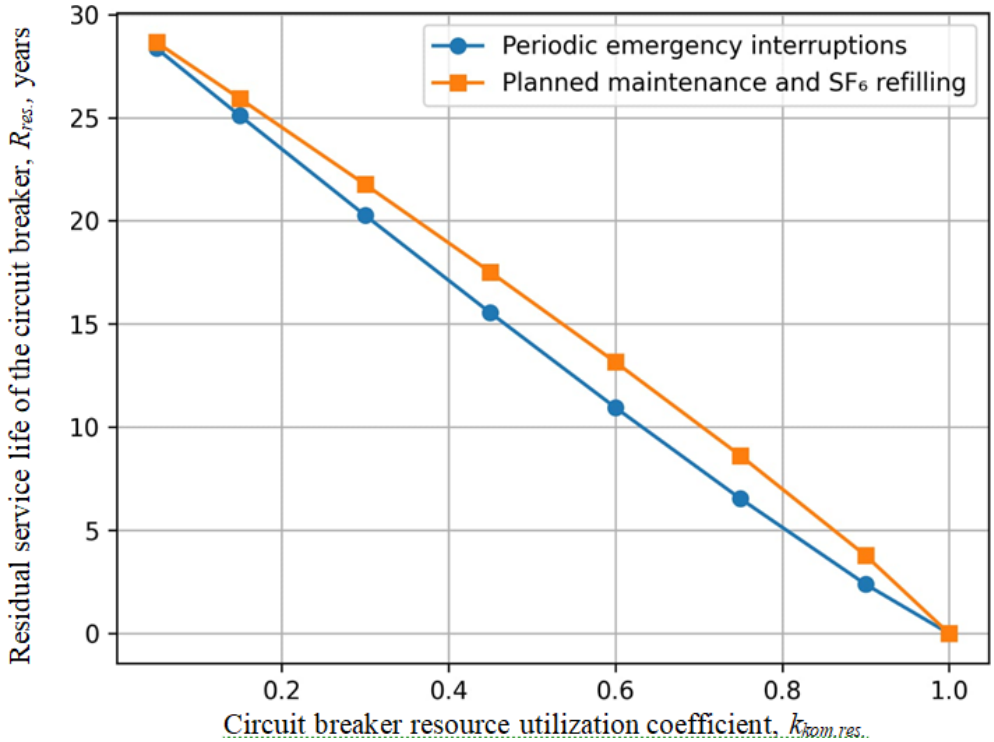


Figure 2 – Effect of maintenance on remaining service life of 110 kV SF_6 circuit breaker

including inspection and SF_6 gas refilling. The results demonstrate that compliance with scheduled maintenance significantly reduces the rate of equipment degradation. Compared to emergency operation without maintenance, planned maintenance allows the remaining service life to decrease more smoothly, thereby extending the effective operational life-

time of the circuit breaker. This confirms the importance of maintenance strategies in improving reliability and reducing failure risks in high-voltage switching equipment operating in sharply continental climates.

Conclusion

In this work, the analysis of the graphs shows that regular maintenance significantly slows down the degradation of the circuit breaker and extends its service life. The obtained dependencies confirm the necessity of considering operating conditions when assessing the remaining service life of switching equipment. Based on diagnostic parameters (current, time, number of operations, pressure), average maintenance of the circuit breaker is carried out after 20 years of its commissioning. The need for an earlier maintenance period arises if the remaining service life is exhausted (5). Thus, the obtained results can be used in making operational decisions and planning the maintenance of high-voltage switching equipment, allowing for more justified operational decisions, reducing the risk of failures, and ensuring a higher level of reliability of power systems as a whole.

REFERENCES

1. Соколов С.Е., Соколова И.С. Элегазовые выключатели: Учебное пособие / С.Е. Соколов, И.С. Соколова. – Алматы: НАО «АУЭС», 2016. – 90 с.
2. Чжан Хань, Цянь Хай, Ван Ци. Патент CN103714493A «Метод оценки остаточного срока службы элегазового выключателя», 2017: https://patents.google.com/patent/CN103714493A/en
3. Вэньжун Си, Инин Чжао, Янь Ван, Бен Ли. «Мониторинг утечки газа SF6 на основе индивидуальной бинокулярной системы», 2024: https://www.researchgate.net/publication/378013408_Monitoring_SF6_Gas_Leakage_Based_on_a_Customized_Binocular_System
4. IEC 60376:2005: «Элегаз – гексофторид серы (SF6) технического качества для использования в электрическом оборудовании. Технические условия».
5. Образование продуктов распада в элегазе: https://dilo-group.ru/blogs/blog/obrazovanie-produktov-raspada-v-elegaze-sf6
6. Учет остаточного ресурса высоковольтных выключателей https://digital.runeft.ru/6_2020/mtrele
7. Анализы методов оценки коммутационного ресурса высоковольтных выключателей: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metodov-otsenki-kommutatsionnogo-resursa-vysokovoltnyh-vyklyuchateley

Қалдық қызмет мерзімін бағалауды ескере отырып, 110 кВ элегаз тізбек ажыратқыштарының техникалық жағдайының энергия жүйелерінің сенімділігіне әсері

БУЛАТБАЕВ Феликс Назымович, *т.ғ.к., декан, f.bulatbayev@ktu.edu.kz,*
****МАРЕНОВА Алина Геннадьевна,*** *магистрант, alina.marenova@mail.ru,*
БУЛАТБАЕВА Юлия Феликсовна, *PhD, қауымдастырылған профессор, yu.bulatbaeva@ktu.edu.kz,*
МАХАМБЕТОВ Олжас Казыбекович, *докторант, olzhasmahambetov965@gmail.com,*
НЕШИНА Елена Геннадьевна, *т.ғ.к., кафедра меңгерушісі, e.neshina@ktu.edu.kz,*
Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Жоғары кернеулі ажыратқыштардың ықтимал қосу және ажырату операцияларының қалдық ресурсын бағалауға арналған теориялық есептеулерге негізделген әдіс коммутациялық ресурсты пайдалану коэффициенті мен элегазды ажыратқыштардың техникалық жай-күйінің интегралдық көрсеткіші негізінде ұсынылған. Есептеулер өндіруші зауыттың паспорттық деректерімен салыстыра отырып орындалды. Нәтижелер жабдықтың техникалық жай-күйінің нашарлауы істен шығу ықтималдығының артуымен және энергетикалық жүйелердің қорғаныс функциясының сенімділігінің төмендеуімен өзара байланысты екенін көрсетеді. Алынған нәтижелер оқшаулағыш орта ретінде элегаз қол-*

данылатын жоғары кернеулі ажыратқыштарды пайдалану жөніндегі шешімдерді қабылдау кезінде және олардың техникалық қызмет көрсетуін жоспарлауда қолданылуы мүмкін. Есептелген тәуелді көрсеткіштердің нәтижелері графиктер түрінде көрсетілген. Жүргізілген есептеулер негізгі диагностикалық параметрлердің электр жабдықтарының қалдық ресурсына әсерін айқын көрсетеді.

Кілт сөздер: *коммутация, элегаз, диагностика, энергетикалық жүйелер, қалдық ресурс, пайдалану, жоспарлы жөндеу.*

Влияние технического состояния элегазовых выключателей 110 кВ на надежность энергосистем с учетом оценки остаточного ресурса

БУЛАТБАЕВ Феликс Назымович, *к.т.н., декан, f.bulatbayev@ktu.edu.kz,*
****МАРЕНОВА Алина Геннадьевна,*** *магистрант, alina.marenova@mail.ru,*
БУЛАТБАЕВА Юлия Феликсовна, *PhD, ассоциированный профессор, yu.bulatbaeva@ktu.edu.kz,*
МАХАМБЕТОВ Олжас Казыбекович, *докторант, olzhasmahambetov965@gmail.com,*
НЕШИНА Елена Геннадьевна, *к.т.н., зав. кафедрой, e.neshina@ktu.edu.kz,*
Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Метод, представленный теоретическими расчетами, по оценке остаточного ресурса возможных включений и отключений высоковольтными выключателями, предложен на основе коэффициента использования коммутационного ресурса и интегрального показателя технического состояния элегазовых выключателей. Расчеты выполнены в соотношении паспортных данных заводом-изготовителем. Показывают связь ухудшения технического состояния оборудования с повышением вероятности отказов и снижением надежности защитной функции энергосистем. Полученные результаты могут быть использованы при принятии эксплуатационных решений и планировании технического обслуживания высоковольтных выключателей с изоляционной средой – элегаз. Результаты расчетов зависимых показателей иллюстрированы в виде графиков. Выполненные расчеты демонстрируют влияние ключевых диагностических параметров на остаточный ресурс электрооборудования.*

Ключевые слова: *коммутация, элегаз, диагностика, энергосистемы, остаточный ресурс, эксплуатация, плановый ремонт.*

REFERENCES

1. Sokolov S.E., Sokolova I.S. SF6 Circuit Breakers: Textbook / S.E. Sokolov, I.S. Sokolova. – Almaty: NAO "AUES", 2016. – 90 p.
2. Zhang Han, Qian Hai, Wang Qi. Patent CN103714493A "Method for Assessing the Remaining Service Life of an SF6 Circuit Breaker", 2017: https://patents.google.com/patent/CN103714493A/en
3. Wenzhong Xi, Yining Zhao, Yan Wang, Ben Li. "Monitoring SF6 Gas Leakage Based on a Customized Binocular System", 2024: https://www.researchgate.net/publication/378013408_Monitoring_SF6_Gas_Leakage_Based_on_a_Customized_Binocular_System
4. IEC 60376:2005: "Sulfur hexafluoride (SF6) of technical grade for use in electrical equipment. Technical specifications".
5. Formation of decomposition products in SF6: https://dilo-group.ru/blogs/blog/obrazovanie-produktov-raspada-v-elegaze-sf6
6. Accounting for the residual life of high-voltage circuit breakers https://digital.runeft.ru/6_2020/mtrele
7. Analysis of methods for assessing the switching resource of high-voltage circuit breakers: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metodov-otsenki-kommutatsionnogo-resursa-vysokovoltnyh-vyklyuchateley

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_398 УДК 621.317.421

Определение индукции магнитного поля вокруг комплектных токопроводов для построения токовых защит

МАШРАПОВА Ризагуль Мегданиятовна, *PhD, постдокторант, rizka1504@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-9509-5767,*
****МАШРАПОВ Бауыржан Ерболович,*** *PhD, ассоциированный профессор, bokamashrapov@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3018-4125,*
БАРУКИН Александр Сергеевич, *PhD, профессор, alexbarukin@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5969-4030,*
Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Цель исследования – оценить влияние токов в одном из двух рядом проложенных токопроводов на величину электродвижущей силы на выводах катушек индуктивности, закрепленных снаружи оболочки второго токопровода. Описана методика проведения исследований. Представлены результаты компьютерного моделирования магнитных полей вокруг двух установленных рядом токопроводов на напряжение 10 кВ, выпускаемых промышленностью. Приведены коэффициенты и формула на основе закона Био-Савара-Лапласа, которые позволяют рассчитывать суммарную индукцию магнитных полей в точке установки катушек индуктивности с учетом влияния токов в соседнем токопроводе. Показано, что наибольшее влияние на катушки индуктивности оказывает ток в оболочке соседнего токопровода, возникающий при двойных замыканиях на землю. Установлено, что для построения токовых защит целесообразно устанавливать катушки индуктивности напротив наиболее удаленных от соседнего токопровода шин.*

Ключевые слова: *комплектный токопровод, ток помехи, магнитное поле, влияние, моделирование, катушка индуктивности.*

Введение

Как правило, устройства релейной защиты получают информацию от трансформаторов тока, которые имеют всем известные недостатки [1]: большие габариты и вес (при этом 50% их веса составляют высококачественные медь и сталь), а также погрешности в переходных режимах и некоторые другие. По этой причине неоднократно поднимался вопрос замены трансформаторов тока [2, 3] более миниатюрными и дешевыми датчиками тока. Как известно [4-6], одним из путей решения данной проблемы может стать использование катушек индуктивности (КИ) в качестве датчиков тока. На их основе уже разработан ряд защит [4-6]. Начаты работы и по созданию защит для электроустановок с комплектными токопроводами с тремя фазами в одной оболочке. Уже предложены схема защиты [7] и конструкция для крепления КИ на оболочке токопровода [8], а также исследованы магнитные поля снаружи оболочки одиночного токопровода, созданные токами в его шинах [9]. Однако часто такие токопроводы прокладываются попарно, например, на собственных нуждах электрических станций. Поэтому возникает необходимость учета влияния МП, созданного токами в соседнем токопроводе. Исследованию этого влияния и посвящена статья.

Методы исследования

Модель для исследования МП вокруг двух параллельно проложенных токопроводов. Для ее построения использовались модели токопроводов типа ТЗК из [9] с диаметрами оболочек из алюминия 623, 640, 700, 890 мм, подтвердившие свою адекватность. Однотипные токопроводы КТ 1 (создает помеху) и КТ 2 (защищаемый) располагаются так, что расстояние между стенками их оболочек 3 и 4 (риснуок 1) равно 60 см, как это принято на практике. Толщина s стенок оболочек 3 и 4 принималась, как и у токопроводов в лаборатории, приобретенных у одного и того же производителя, 3-5 мм. Оболочка 3 моделировалась только со стен-

кой 3 мм, так как помеха от токов в шинах 3, 4, 5 будет больше, чем при ее толщине 4 и 5 мм [9]. Индукция МП измерялась с помощью катушек индуктивности (КИ) 11, 12, 13. Они располагались на расстоянии 15 мм от оболочки 4, как показано на рисунке 1. Тогда их проще крепить и на них действуют максимальные индукции МП от токов в шинах 8-10. К тому же, эти индукции при отсутствии помехи пропорциональны токам в шинах 8-10 и сдвинуты на 120° между собой [9]. Установка КИ на больших расстояниях затруднительна, поскольку от поверхности, на которой закрепляются токопроводы, до их оболочек максимум 50 мм.

Исследование влияния токов трехфазного короткого замыкания (КЗ) в шинах 5-7 на индукцию МП вокруг оболочки 4.

Для этого сначала подается трехфазный ток 600 А только в шины 8-10, и измеряется ЭДС E1, например, на выводах КИ 11. Затем подается трехфазный ток 600 А одновременно в шины 5-7 и 8-10 (на рисунок 2 показано распределение магнитного поля вокруг токопроводов) и измеряется ЭДС E_2 на выводах КИ 11.

Далее определяется разность E_2 и E_1, а также доля m_1 (значения представлены в Таблице 1) этой разности от E_1, т.е.:

$$m_1 = \frac{E_2 - E_1}{E_1}. \quad (1)$$

Общеизвестно, что ЭДС на выводах КИ, согласно закону Фарадея, определяется выражением

$$E = -W\frac{d\Phi}{dt}, \quad (2)$$

где

$$\Phi = \int_S \overline{B}dS, \quad (3)$$

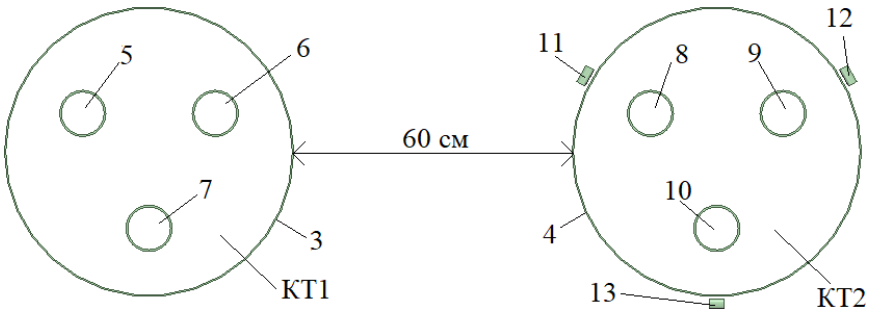


Рисунок 1 – Расположение токопроводов и катушек индуктивности

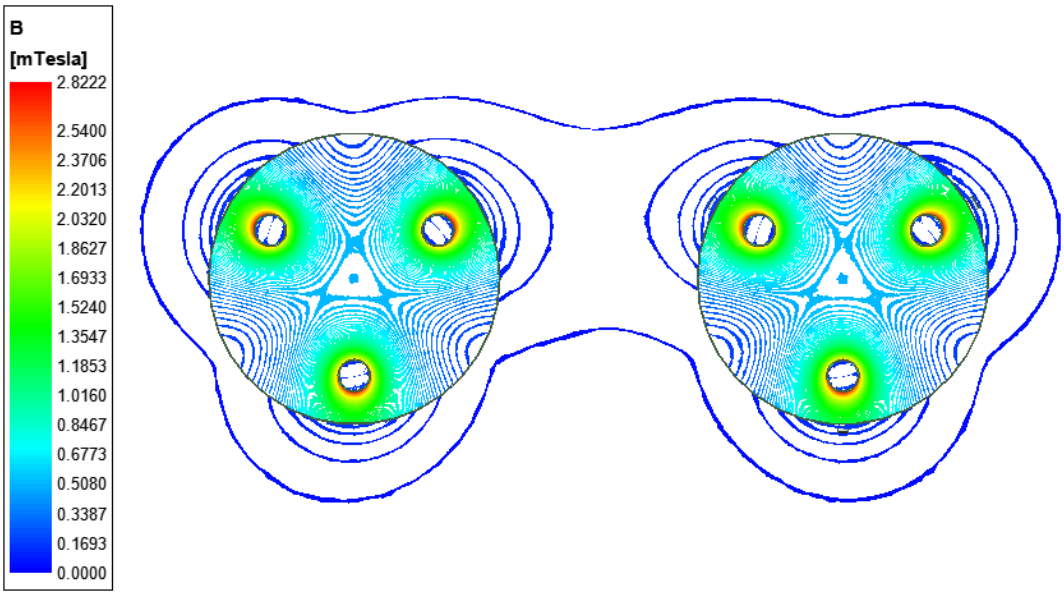


Рисунок 2 – Распределение магнитных полей вокруг токопроводов в трехфазном режиме

где W – количество витков КИ; Ф – магнитный поток; B – вектор индукции магнитного поля, действующей через поперечное сечение КИ.

Из (2) и (3) видно, что измеренные ЭДС E_1 и E_2 прямо пропорциональны индукциям B_1 и B_2 магнитных полей, которые их создают. Следовательно, и соотношения между величинами B_1 и B_2 такие же, как и между E_1 и E_2. При этом B_1 и B_2 являются результатом взаимного влияния нескольких магнитных полей в точке установки КИ 11. Поэтому отрицательное значение m_1 свидетельствует о том, что индукции МП, созданных токами в шинах 5-7 и 8-10, направлены встречно. Исходя из изложенного, суммарную индукцию $B_{k\Sigma}$, действующую вдоль продольной оси КИ 11, при любой кратности k токов в шинах 5-7 к токам в шинах 8-10 можно определить по формуле:

$$B_{k\Sigma} = B_1(k \cdot m_1 + 1). \quad (4)$$

Индукция B_1 может быть рассчитана по формуле [9]:

$$B_1 = \frac{k_э \cdot \mu_0}{k_{пр} \cdot 2\pi} \cdot \cdot\left(\frac{\cos\alpha_A}{h_A} I_A + \frac{\cos\alpha_B}{h_B} I_B + \frac{\cos\alpha_C}{h_C} I_C\right). \quad (5)$$

где B_A, B_B, B_C – индукции магнитных полей, созданных токами в фазах A, B, C; α_A, α_B, α_C – углы между продольной осью КИ 11 и векторами индукций B_A, B_B, B_C; h_A, h_B, h_C – расстояния от осей фаз A, B, C до центра тяжести КИ 11; $k_э$ – коэффициент экранирования оболочкой магнитного поля; $k_{пр}$ – поправочный коэффициент.

Исследование влияния токов двухфазного КЗ в шинах 5-7 на индукцию МП вокруг оболочки 4. В первую очередь было рассмотрено влияние на величину ЭДС на выводах КИ 11 наличия тока в неповрежденной фазе. Анализ полученных результатов показал, что оно незначительно. Так разница между ЭДС при наличии и отсутствии указанного тока при кратности тока КЗ к току нагрузки k_1=4 составила 3%, а при k_1=8 – 1%. Поэтому в дальнейших исследованиях будем считать, что тока в неповрежденной фазе нет [10].

Далее токи 600 А подавались в две шины токопровода КТ1, имитируя три варианта двухфазного КЗ, и в шины 8-10 токопровода КТ2 (рисунок 3). В шинах КТ1 токи сдвинуты между собой на 180°. Измерялась ЭДС E_3, наводимая на выводах КИ 11. Далее, используя (1), но заменив E_2 на E_3, рассчитывался коэффициент m_2, аналогичный m_1. В таблице 3 представлены значения m_2 для каждого вида двухфазного КЗ. Из этой таблицы видно, что наибольшее влияние оказывает двухфазное КЗ между шинами 5 и 6 (в нашем случае КЗ АВ).

Исследование влияния токов двойного замыкания на землю в шинах 5-7 и оболочке 3 на индукцию МП вокруг оболочки 4. Здесь возможны два режима:

1. Двойное замыкание на присоединениях, отходящих от шин, которые питает токопровод. Тогда токи протекают только по двум шинам, например, 5 и 6. Учитывая, что токи двойного замыкания соизмеримы с токами двухфазного КЗ, то в этом случае можно воспользоваться результатами предыдущего моделирования.

2. Произошло замыкание, например, шины 5 на оболочку 3, а вторая точка замыкания находится на отходящем от питаемых шин присоединении. Тогда весь ток двойного замыкания протекает по оболочке 3. Этот режим и рассмотрим.

Подавали токи 600 А в оболочку 3 и шины 8-10 (рисунок 4). Ток в оболочке 3 сдвигали по фазе от 0° до 360°, и измеряли ЭДС на выводах КИ 11-13. Далее определяли долю m_3 (таблица 4) ЭДС на выводах КИ 11-13, наведенной током в оболочке 3, от E_1.

Научные результаты

Анализ результатов моделирования, полученных при наличии соседнего токопровода, показал:

1. В зависимости от точки установки КИ величина ЭДС на ее выводах может как увеличиваться, так и уменьшаться, под дей-

Таблица 1 – Величины коэффициентов m_1 в точках установки КИ 11-13 при различных диаметрах оболочек защищаемого и соседнего токопроводов

Диаметр оболочки, мм	623			640			700			890		
№ КИ / s, мм	11	12	13	11	12	13	11	12	13	11	12	13
3	0,15	-0,01	-0,02	0,15	0	-0,05	0,13	-0,03	-0,02	0,18	-0,04	0,00
4	0,16	-0,02	-0,05	0,21	-0,02	-0,05	0,19	-0,02	-0,06			
5	0,2	-0,02	-0,05	0,2	-0,01	-0,07	0,21	-0,06	-0,06			

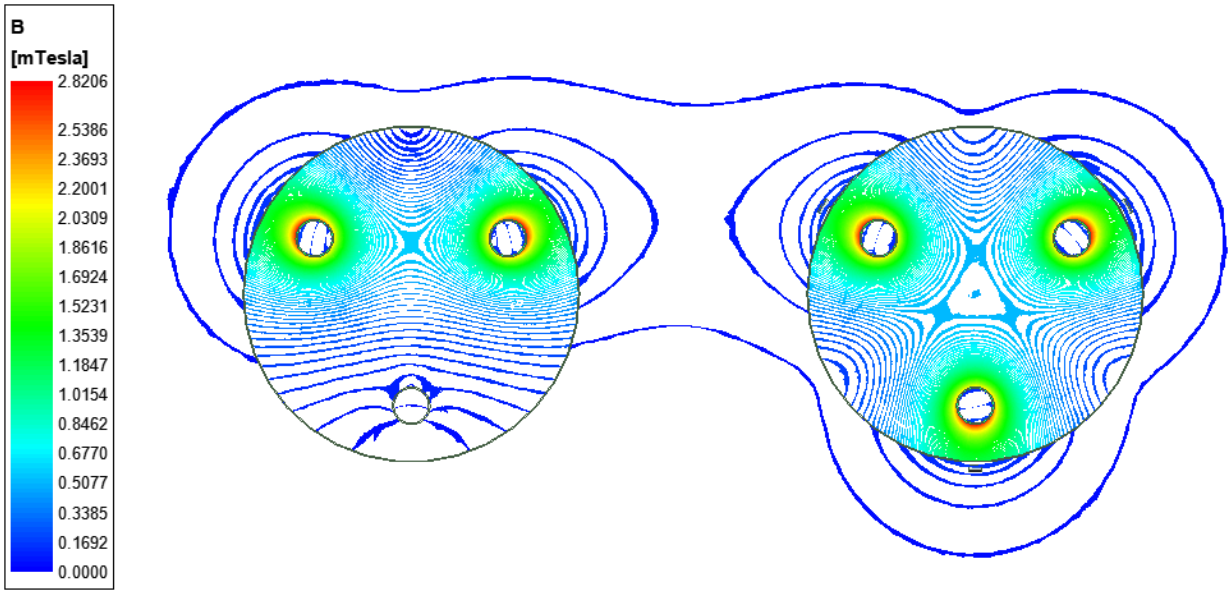


Рисунок 3 – Распределение магнитных полей вокруг токопроводов при протекании тока 600 А в шинах 5, 6 и 8-10

Таблица 2 – Величины коэффициентов m_2 в точках установки КИ 11-13 при диаметрах оболочек защищаемого и соседнего токопроводов 623, 640, 700 и 890 мм

№ КИ	11			12			13		
Вид КЗ / s, мм	AB	AC	BC	AB	AC	BC	AB	AC	BC
623 мм									
3	0,21	0,05	0,21	0,00	0,00	-0,01	0,01	0,05	0,04
4	0,25	0,04	0,25	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0,04	0,03
5	0,32	0,06	0,31	-0,01	0,00	-0,01	-0,01	0,04	0,03
640 мм									
3	0,22	0,05	0,22	0,01	0,01	0,01	-0,01	0,02	0,01
4	0,30	0,08	0,29	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0,04	0,01
5	0,31	0,05	0,31	0,00	0,01	0,00	-0,02	0,04	0,02
700 мм									
3	0,19	0,03	0,20	-0,02	-0,02	-0,03	0,01	0,05	0,04
4	0,28	0,07	0,28	-0,03	-0,02	-0,02	-0,01	0,03	0,02
5	0,33	0,06	0,33	-0,06	-0,05	-0,06	-0,02	0,02	0,01
890 мм									
3	0,19	0,03	0,20	-0,02	-0,02	-0,03	0,01	0,05	0,04
4	0,28	0,07	0,28	-0,03	-0,02	-0,02	-0,01	0,03	0,02
5	0,25	0,04	0,28	-0,04	-0,03	-0,04	0,00	0,04	0,03

ствием индукции МП, созданного токами в соседнем токопроводе.

2. Во всех рассмотренных режимах работы соседнего токопровода больше всех подвержена влиянию МП, созданных токами в нем, КИ 11, причем ЭДС на ее выводах при протекании тока по оболочке 3 может превосходить E_1 в два раза.

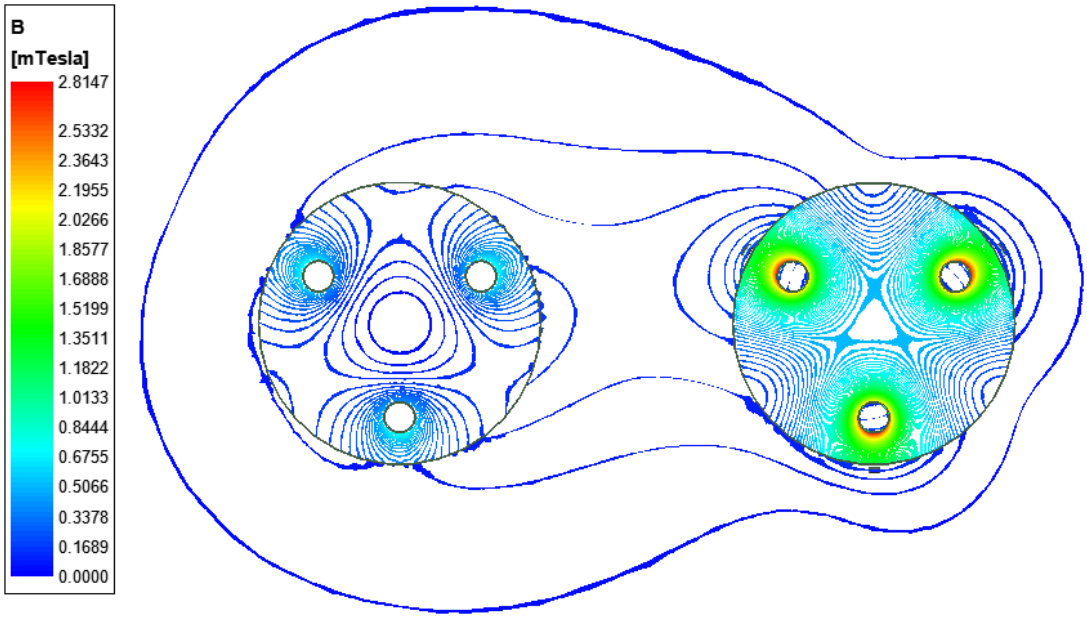


Рисунок 4 – Распределение магнитных полей вокруг токопроводов при протекании тока 600 А в оболочке 3 и шинах 8-10

Таблица 3 – Величины коэффициентов m_3 в точках установки КИ 11-13 при диаметрах оболочек защищаемого и соседнего токопроводов 623, 640, 700 и 890 мм

Диаметр оболочки, мм	623			640			700			890		
№ КИ / s, мм	11	12	13	11	12	13	11	12	13	11	12	13
3	0,83	-0,01	-0,18	0,87	0,0	-0,19	0,76	-0,02	-0,15	0,66	-0,03	-0,11
4	1,05	-0,03	-0,20	1,12	-0,03	-0,20	1,02	-0,04	-0,19	0,84	0,02	-0,19
5	1,30	-0,04	-0,18	1,34	-0,04	-0,19	1,24	-0,08	-0,19	0,93	-0,04	-0,15

3. КИ 12 и 13 при трехфазном и двухфазном КЗ на соседнем токопроводе находятся в одинаковых условиях, и влияние на них МП от токов в его шинах, как минимум, в три раза меньше, чем на КИ 11. При протекании тока в оболочке 3 КИ 13 подвержена большему влиянию МП, чем КИ 12, причем оно соизмеримо с влиянием МП от токов трехфазного КЗ на КИ 11.

4. Для построения максимальной токовой защиты или отсечки на основе КИ необходимо устанавливать их напротив шин 9 и 10 наиболее удаленных от оболочки 3, а также принять меры по уменьшению влияния на них МП, созданного током в этой оболочке. Последнее будет реализовано в дальнейших исследованиях.

5. Величину $B_{k\Sigma}$ суммарной индукции МП, действующего на КИ, можно рассчитать при любой кратности тока в шинах или оболочке соседнего токопровода по формуле (4).

Выводы

1. При построении устройств защиты трехфазного комплектного токопровода, когда рядом проложен еще один, КИ нужно устанавливать напротив шин наиболее удаленных от соседнего токопровода. При выборе уставки срабатывания защиты нужно учитывать влияние токов в его шинах и оболочке.

2. Для расчета величины индукции магнитного поля, созданного токами в шинах обоих токопроводов марок ТЗК и ТЗКР, можно пользоваться законом Био-Савара-Лапласа, но с введением полученных на основе моделирования поправочных коэффициентов m_1-m_3.

3. Для уменьшения влияния токов в шинах и оболочке соседнего токопровода необходимо предусмотреть экраны для КИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Orr P. et al. An Optically-Interrogated Rogowski Coil for Passive, Multiplexable Current Measurement // IEEE Sensors Journal. – 2013. – Vol. 13. – No. 6. – Pp. 2053-2054. DOI: 10.1109/JSEN.2013.2252614.
2. Kojovi´c L. Non-conventional instrument transformers for improved substation design / CIGRE Session 46. – 2016.
3. Kletsel M.Ya., Mashrapov B.E., Mashrapova R.M. Reed switch protection of double-circuit lines without current and voltage transformers. // International Journal of Electrical Power and Energy Systems. – 2023. – 154, 109457. https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2023.109457.
4. Патент RU 2705213. Устройство максимальной токовой защиты электрической установки. – 2019. – № 31.
5. Новожилов Т.А., Новожилов А.Н., Рахимбердинова Д.М. Защита короткой сети руднотермических печей // Электричество. – 2021. – № 5. – С. 33-38.
6. Solovev B.D. and Shadrin A.S. Instrument current transducer for measurements in asymmetrical conditions in three-phase circuits with upper harmonics // Int. J. Electr. Power Energy Syst. – 2017. – Vol. 84. – Pp. 195-201. DOI:10.1016/j.ijepes.2016.05.012.
7. Патент RU 2785756. Устройство для защиты комплектного токопровода от коротких замыканий. – 2022. – № 35.
8. Иннов. пат. 34767 РК. Устройство для крепления магниточувствительных датчиков. – 2020. – № 50.
9. Машрапов Б.Е., Мусаев Ж.Б. Определение индукции магнитного поля снаружи оболочки трехфазного токопровода // Труды университета. – 2021. – № 3. – С. 241-245.
10. Чернобровов Н.В., Семенов В.А. Релейная защита энергетических систем: Учеб. пособие для техникумов. – М.: Альянс, 2019. – 800 с.

Ток қорғанысын құру үшін жинақы ток өткізгіштердің айналасындағы магнит өрісінің индукциясын анықтау

МАШРАПОВА Ризагуль Мегданиятовна, *PhD, постдокторант, rizka1504@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-9509-5767,*
МАШРАПОВ Бауыржан Ерболович, *PhD, қауымдастырылған профессор, bokamashrapov@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3018-4125,*
БАРУКИН Александр Сергеевич, *PhD, профессор, alexbarukin@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5969-4030,*
Торайғыров университеті, Павлодар, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Зерттеудің мақсаты – екінші ток өткізгіштің қабықшасының сыртына бекітілген индуктивтілік катушкалардың шықпаларындағы электр қозғаушы күштің шамасына қатар салынған екі ток өткізгіштің біріндегі токтардың әсерін анықтау. Зерттеуді жүргізу әдістемесі сипатталған. Кернеуі 10 кВ өнеркәсіп өндіретін қатар орнатылған екі ток өткізгіштің айналасындағы магнит өрістерін компьютерлік модельдеу нәтижелері ұсынылған. Био-Савар-Лаплас заңына негізделген коэффициенттер мен формула келтірілген, олар көршілес ток өткізгіштегі токтардың әсерін ескере отырып, индуктивтілік катушкаларды орнату нүктесінде магнит өрістерінің жалпы индукциясын есептеуге мүмкіндік береді. Индуктивтілік катушкаларға ең үлкен әсер жерге қос тұйықталу кезінде пайда болатын көрші ток өткізгіштің қабығындағы ток болып табылады. Ток қорғаныстарын құру үшін индуктивтілік катушкаларды көршілес ток өткізгіштен ең алыс шиналарға қарама-қарсы орнатқан жөн.*

Кілт сөздер: *жинақы ток өткізгіш, бөгеуіл тогы, магнит өрісі, әсер ету, модельдеу, индуктивтілік катушкасы.*

Determination of the Magnetic Field Induction Around Compact Bus Ducts for the Design of Current Protection

MASHRAPOVA Rizagul, *PhD, Postdoctoral Researcher, rizka1504@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-9509-5767,*
****MASHRAPOV Bauyrzhan,*** *PhD, Associate Professor, bokamashrapov@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3018-4125,*
BARUKIN Alexander, *PhD, Professor, alexbarukin@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5969-4030,*
Toraighyrov University, Pavlodar, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *The aim of this study is to assess the influence of currents in one of two adjacent bus ducts on the electromotive force at the terminals of inductive coils mounted outside the enclosure of the second bus duct. The research methodology is described. The paper presents the results of computer modeling of magnetic fields around two bus ducts, installed side by side and rated for 10 kV, as produced by industry. Coefficients and a formula based on the Biot – Savart – Laplace law are provided, enabling the calculation of the total magnetic field induction at the location of the inductive coils, taking into account the influence of currents in the neighboring bus duct. It is shown that the greatest effect on the inductive coils is exerted by the current in the enclosure of the adjacent bus duct, which occurs during double earth faults. It has been established that, for the design of current protection systems, it is advisable to install the inductive coils opposite the busbars located farthest from the neighboring bus duct.*

Keywords: *compact bus duct, interference current, magnetic field, influence, modeling, inductive coil.*

REFERENCES

1. Orr P. et al. An Optically-Interrogated Rogowski Coil for Passive, Multiplexable Current Measurement. IEEE Sensors Journal, 2013, vol. 13, no. 6, pp. 2053-2054. DOI: 10.1109/JSEN.2013.2252614.
2. Kojovi´c L. Non-conventional instrument transformers for improved substation design / CIGRE Session 46, 2016.
3. Kletsel M.Ya., Mashrapov B.E., Mashrapova R.M. Reed switch protection of double-circuit lines without current and voltage transformers. International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2023, 154, 109457. https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2023.109457.
4. Patent RU 2705213. Ustroystvo maksimal'noy tokovoy zashchity elektricheskoy ustanovki. Device for overcurrent protection of an electrical installation. 2019, no. 31.
5. Novozhilov T.A., Novozhilov A.N., Rakhimberdinova D.M. Zashchita korotkoy seti rudnotermicheskikh pechey. Protection of a short furnace network for ore-thermal furnaces. Elektrichestvo, 2021, no. 5, pp. 33-38.
6. Solovev B.D. and Shadrin A.S. Instrument current transducer for measurements in asymmetrical conditions in three-phase circuits with upper harmonics // International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2017, vol. 84, pp. 195-201. DOI:10.1016/j.ijepes.2016.05.012.
7. Patent RU 2785756. Ustroystvo dlya zashchity komplektnogo tokoprovoda ot korotkikh zamykaniy. Device for protection of a compact bus duct against short circuits. 2022, no. 35.
8. Innov. pat. 34767 RK. Ustroystvo dlya krepleniya magnitochuvstvitel'nykh datchikov. Device for mounting magnetosensitive sensors.2020, no. 50.
9. Mashrapov B.E., Musaev Zh.B. Opredelenie induktsii magnitnogo polya snaruzhi obolochki trekhfaznogo tokoprovoda. Determination of the magnetic field induction outside the enclosure of a three-phase bus duct. Trudy universiteta, 2021, no. 3, pp. 241-245.
10. Chernobrovov N.V., Semenov V.A. Releynaya zashchita energeticheskikh sistem: Ucheb. posobie dlya tekhnikumov. Protection of Power Systems: Textbook for Technical Colleges. Moscow: Alyans, 2019, 800 p.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_405 УДК 004.896

Цифровая трансформация маркетинга и оптимизация маркетинговых коммуникаций в агропромышленном комплексе Республики Казахстан

[1]*АБИЛДАЕВА Жансая Тенелевна, докторант, Zhansaya_A@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2637-0443,
[1]УСКЕНБАЕВА Раиса Кабиевна, д.т.н., проректор, r.k.uskenbaeva@satbaev.university, https://orcid.org/0000-0002-8499-2101,
[1]КАЛЬПЕЕВА Жулдыз Бейшеналиевна, PhD, ассоциированный профессор, z.kalpeyeva@satbayev.university, https://orcid.org/0000-0002-4970-3095,
[2]АДРАНОВА Асельхан Багдатовна, PhD, ассоциированный профессор, assel.adranova@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-7233-4104,
[2]КАБДОЛДИНА Назым Оралхановна, магистр, старший преподаватель, naz_82k@mail.ru, https://orcid.org/0009-0008-4194-0353,
[1]Satbayev University, Алматы, Казахстан,
[2]Кызылординский университет им. Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан,
*автор-корреспондент.

Аннотация. Исследуются теоретические и методологические основы цифровой трансформации маркетинга и рекламы в агропромышленном комплексе Республики Казахстан. Обоснована необходимость перехода от традиционных инструментов маркетинга к цифровым коммуникационным моделям в условиях климатической нестабильности, территориальной протяжённости рынков и институциональных ограничений аграрного сектора. Проведен системный анализ экономической природы маркетинговых затрат и предложена их функциональная классификация с выделением коммуникационных расходов как ключевого объекта управления. Особое внимание уделено анализу математических, статистических и эволюционных методов оптимизации маркетинговых и рекламных бюджетов. Научная новизна исследования заключается в обосновании целесообразности применения многокритериальных эволюционных алгоритмов (NSGA-II, NSGA-III) для управления цифровыми маркетинговыми стратегиями предприятий АПК. Сформулированы гипотеза исследования и практические рекомендации по использованию полученных результатов в системе стратегического управления аграрными предприятиями.

Ключевые слова: NSGA-II, NSGA-III, цифровой маркетинг, агропромышленный комплекс, маркетинговые коммуникации, оптимизация затрат, многокритериальная оптимизация.

Введение

Агропромышленный комплекс Республики Казахстан является стратегически важным сектором национальной экономики, обеспечивающим продовольственную безопасность, занятость сельского населения и формирование экспортного потенциала страны [1-3]. Вместе с тем развитие АПК сопровождается рядом системных ограничений, обусловленных высокой зависимостью от природно-климатических факторов, значительной территориальной протяжённостью рынков сбыта, недостаточной глубиной переработки сельскохозяйственной продукции и фрагментарностью рыночной инфраструктуры [4, 5].

В условиях цифровой трансформации экономики возрастают требования к качеству управленческих решений, принимаемых аграрными предприятиями [6-8]. Цифровая трансформация маркетинга сегодня представляет собой неотъемлемую часть экономической деятельности предприятий, играя важную роль в формировании устойчивых связей между производителями и потребителями [9, 10, 11].

Актуальность исследования определяется не в разработке принципиально нового

эволюционного алгоритма, а в адаптации многокритериальных эволюционных методов (NSGA-II, NSGA-III) к специфическим институциональным, инфраструктурным и территориальным условиям агропромышленного комплекса Республики Казахстан. В отличие от существующих работ, ориентированных на цифровой маркетинг в условиях развитых рынков, в данной статье:

- формализованы специфические ограничения казахстанского АПК (инфраструктурные, кадровые, институциональные);
- цифровые барьеры (низкая скорость интернета, неравномерность покрытия, ограниченная цифровая грамотность) интегрированы в систему ограничений оптимизационной модели;
- предложена адаптивная постановка многокритериальной задачи с учетом сезонности производства и региональной фрагментарности рынков.

Таким образом, вклад работы заключается в прикладной адаптации методов многокритериальной оптимизации к аграрной экономике развивающегося цифрового пространства.

Анализ предыдущих исследований

Цифровой маркетинг в агропромышленном комплексе в современных условиях трансформируется из вспомогательной функции сбыта в системный элемент стратегического управления. Повышение эффективности цифровых алгоритмов допустимо за счёт применения современных цифровых технологий, трансформирующих классические методы планирования, прогнозирования и анализа рыночной ситуации. Компьютеризация и цифровизация маркетинга [12 – 15] позволила не только оптимизировать процессы продвижения, но и использовать системный метод выбора маркетинговых стратегий.

Именно наличие такого двустороннего взаимодействия позволяет предприятиям АПК гибко реагировать на изменения рыночной конъюнктуры и корректировать свои действия с учетом потребностей потребителей (рисунок 1).

Методы и модели

Эффективность цифрового маркетинга в агропромышленном комплексе во многом определяется структурой и управляемостью маркетинговых затрат. В статье обоснована необходимость классификации маркетинговых затрат по следующим ключевым признакам:

- по временному горизонту (текущие и отложенные);
- по степени связи с продуктом (прямые и косвенные);
- по функциональному назначению (исследовательские, коммуникационные, имиджевые);
- по каналам реализации (традиционные и цифровые).

Подобная классификация не только способствует более точному финансовому учету, но и позволит в перспективе формализовать (хотя бы частично) параметры целевых функций при построении моделей оптимизации. В том числе на базе алгоритмов типа NSGA-II, NSGA-III и других потенциально применимых для решения подобных оптимизационных задач.

Как показано на рисунке 2, рационально структурированная классификация маркетинговых затрат и, в частности, коммуникационных расходов не только обеспечивает прозрачность бюджетирования, но и создает формализованную основу для построения адекватных моделей оптимизации маркетинговых стратегий в АПК. В первую очередь на базе кибернетического моделирования и с задействованием релевантных методов анализа и информационных технологий (ИТ). Для устранения разрыва между теоретической моделью и реальными условиями АПК РК цифровые барьеры формализованы в виде ограничений и параметров неопределенности. Пусть:

x_i – доля бюджета, направляемая в i-й цифровой канал,

$f_1(x)$ – максимизация охвата,

$f_2(x)$ – максимизация ROI,

$f_3(x)$ – минимизация затрат,

$f_4(x)$ – максимизация устойчивости коммуникационной стратегии.

Тогда задача многокритериальной оптимизации может быть представлена в виде:

$\max F(x) = \{f_1(x), f_2(x), f_4(x)\}$

$\min F(x) = \{f_3(x)\}$;

при ограничениях:

1. Бюджетное ограничение:

$$\sum_{i=0}^{n} x \leq \beta.$$

2. Инфраструктурное ограничение (скорость интернета в регионе r):

$$x_i \leq \alpha_r \cdot B,$$

где $\alpha_r \in [0,1]$ – коэффициент цифровой доступности региона.

3. Ограничение цифровой грамотности персонала:

$$x_{digital} \leq \beta,$$

где β – уровень организационной цифровой готовности предприятия.

4. Ограничение сезонности:

$$x_i(t) = 0 \text{ при } t \notin T_{active}.$$

Таким образом, цифровые барьеры не

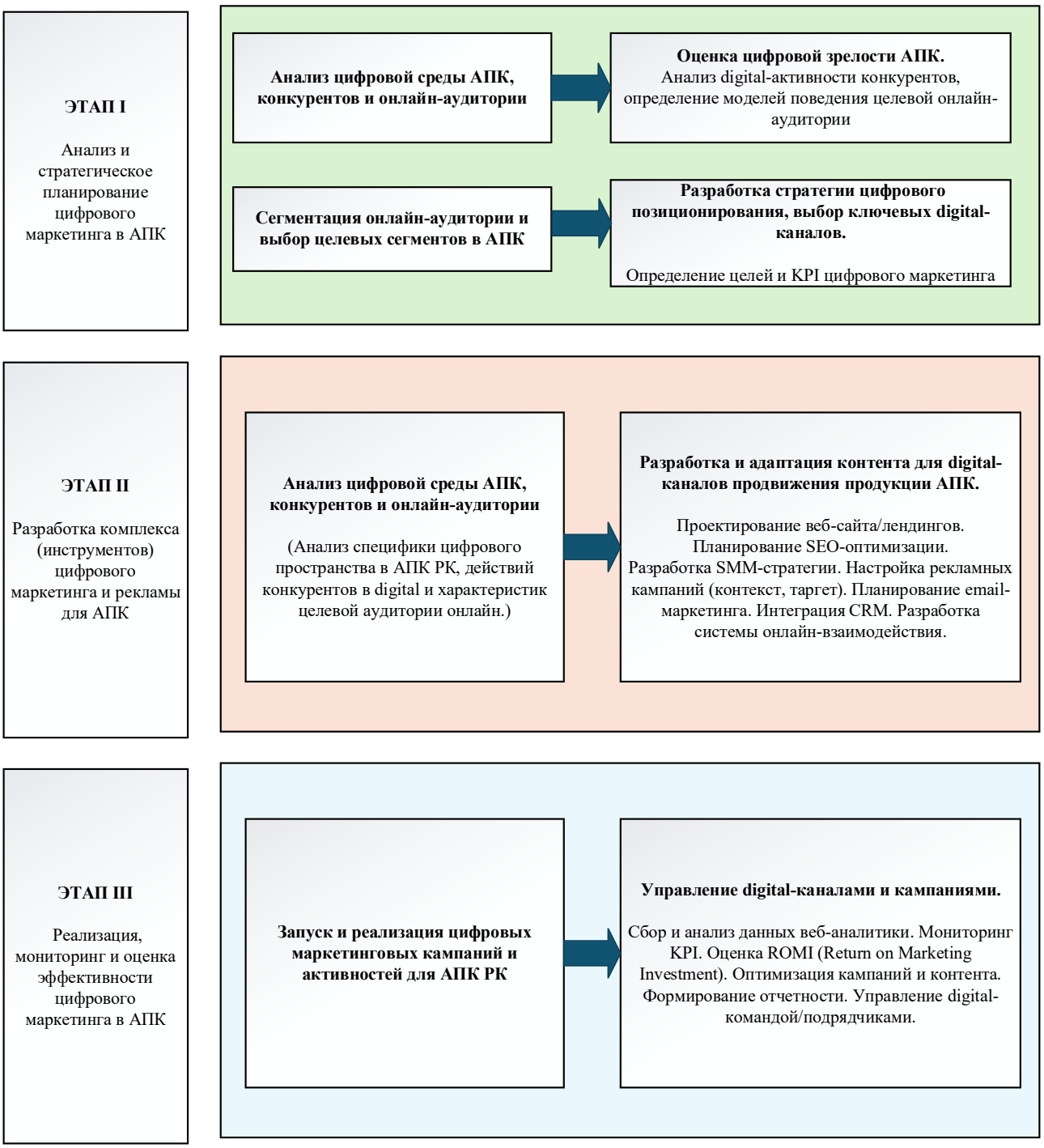


Рисунок 1 – Этапы разработки и внедрения стратегии цифрового маркетинга и рекламы в АПК

игнорируются, а включаются в модель как реальные ограничения, влияющие на формирование Парето-оптимального множества решений.

Обоснована целесообразность применения многокритериальных эволюционных алгоритмов для задач распределения маркетингового бюджета. Данные алгоритмы позволяют одновременно учитывать несколько целевых функций (минимизация затрат, максимизация охвата, ROI, вовлеченность аудитории) и эффективно работать в условиях невыпуклого пространства решений, что особенно актуально для АПК Казахстана с его региональной и сезонной спецификой.

В целях перехода от теоретико-обзорного анализа цифровых маркетинговых практик в АПК к формальной постановке задачи многокритериальной оптимизации маркетинговых стратегий, целесообразным нам

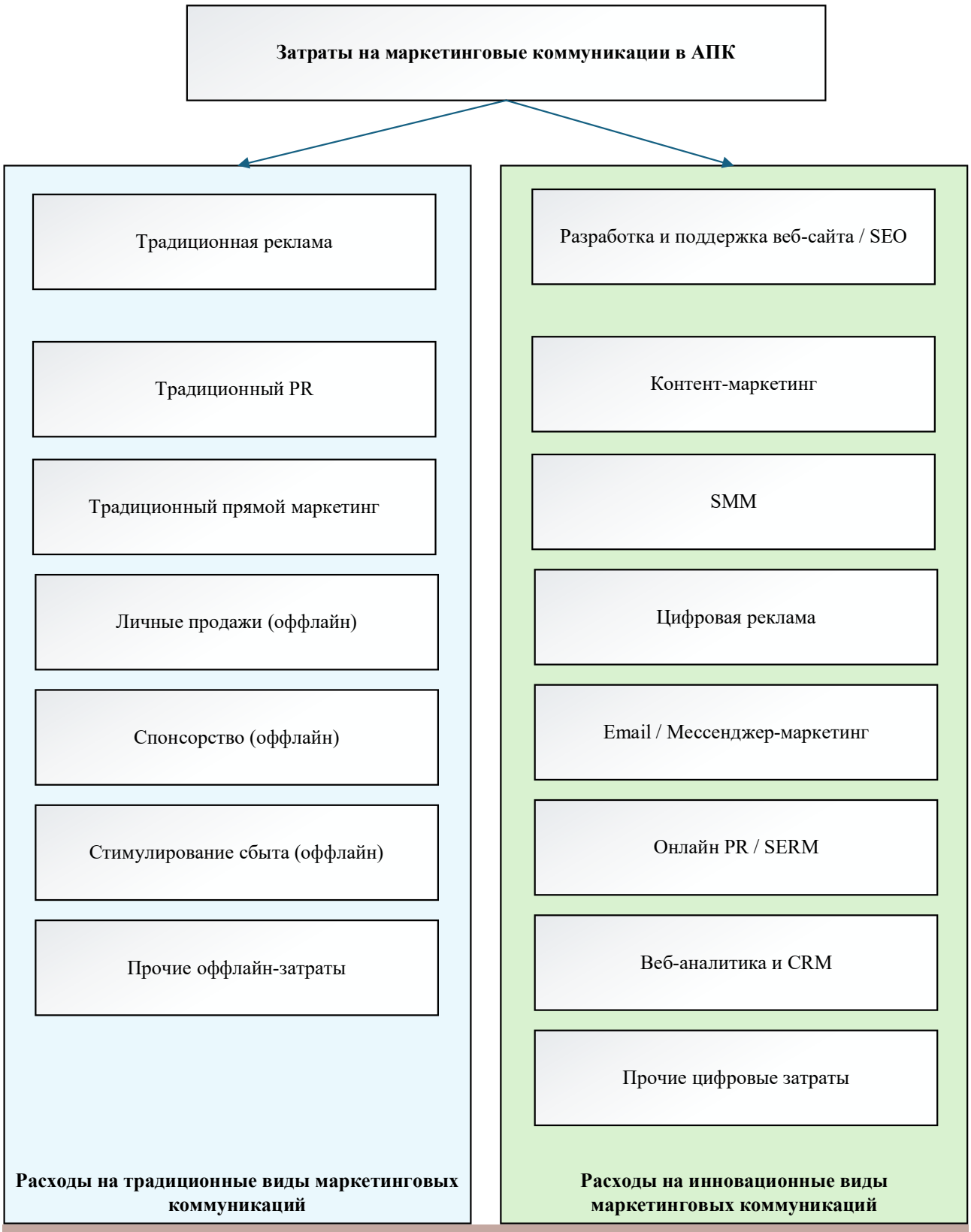


Рисунок 2 – Классификация затрат на маркетинговые коммуникации в АПК

является предварительное систематическое изложение формируемых целевых функций, ка своеобразных ориентиров.

Результаты

Для проверки работоспособности предложенного подхода проведено имитационное моделирование распределения маркетингового бюджета условного аграрного предприятия Южного региона Казахстана.

Исходные данные (модельные):

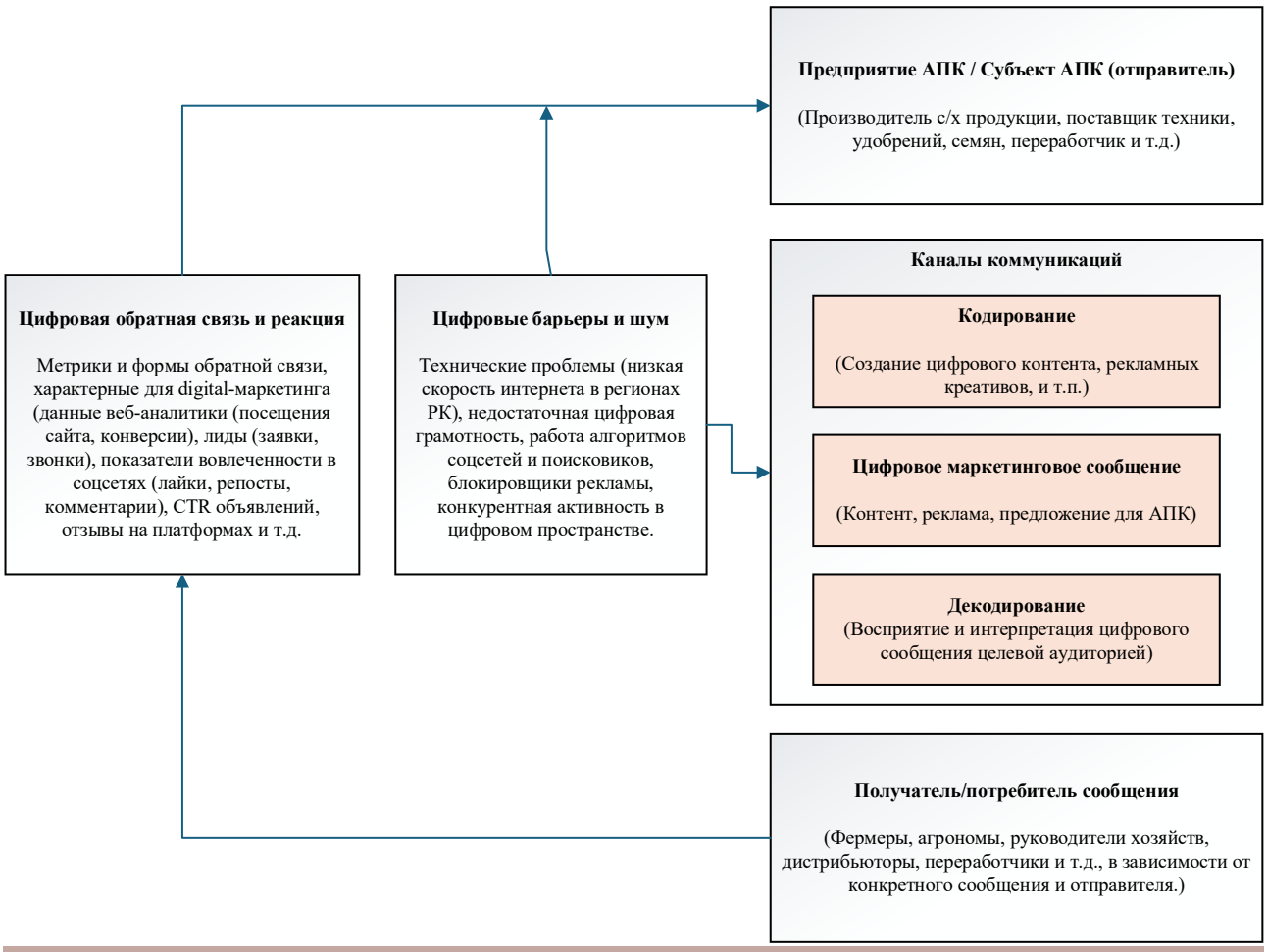


Рисунок 3 – Модель процесса цифровых маркетинговых коммуникаций в агропромышленном комплексе (АПК)

Таблица 1 – Классификация целевых функций и ограничений при моделировании маркетинга в АПК

№	Целевая функция	Интерпретация	Ограничения
1	Максимизация общей эффективности стратегии и рекламы.	Совокупный эффект от всех мероприятий маркетинговой стратегии с учётом мультиканальности и синергии.	Бюджет, медийные лимиты, кадровый ресурс, институциональные барьеры.
2	Максимизация общего охвата аудитории.	Суммарное количество уникальных контактов с ЦА по всем каналам коммуникации.	Число каналов, ограничение по частотности, временные окна показов.
3	Минимизация суммарных затрат на маркетинг.	Совокупные прямые и косвенные расходы на реализацию стратегии, включая логистику, рекламу, дистрибуцию.	Бюджетные лимиты, верхняя и нижняя граница затрат по каналам
4	Максимизация относительной эффективности затрат (ROI).	Отношение полученного эффекта к затратам, отражающее рентабельность маркетинговых активностей.	Минимальный порог ROI
5	Максимизация глубины взаимодействия с аудиторией.	Уровень вовлечённости, длительность контакта, взаимодействие с контентом, конверсии.	Ограничения по формату, типу площадки, плотности контакта.
N	Другие	…	

• бюджет: 100 млн тг;

• 5 каналов коммуникации (офлайн-реклама, таргетированная реклама, SMM, маркетплейсы, PR);

• коэффициент цифровой доступности региона: 0,62;

• индекс цифровой готовности предприятия: 0,55.

Были сопоставлены три подхода:

1. Традиционный метод «процент от продаж»

2. Экспертное распределение бюджета

3. NSGA-II

Предложенный в статье метод оптимизации маркетинговых стратегий для АПК на основе модифицированного алгоритма NSGA-III и методов машинного обучения был реализован программно на алгоритмическом языке Python в IDE PyCharm (рисунок 4).

Вывод в консоли отражает ключевые этапы работы алгоритма. Так, например, строки 290-300 соответствуют итерации завершающей стадии оптимизации. А поля

Таблица 2

Метод	ROI	Охват	Устойчивость стратегии
Процент от продаж	1.12	средний	низкая
Экспертный	1.26	высокий	средняя
NSGA-II	1.41	высокий	высокая

0.000000E+00 означают нулевые значения нарушений ограничений (корректные решения). Значения композитного показателя Метки ideal и f указывают на тип решения (идеальное или найденное). В итоге было сохранено 15 решений – т.е. это финальный набор Парето-оптимальных стратегий.

Заключение

Проведенное исследование показало, что цифровая трансформация маркетинга

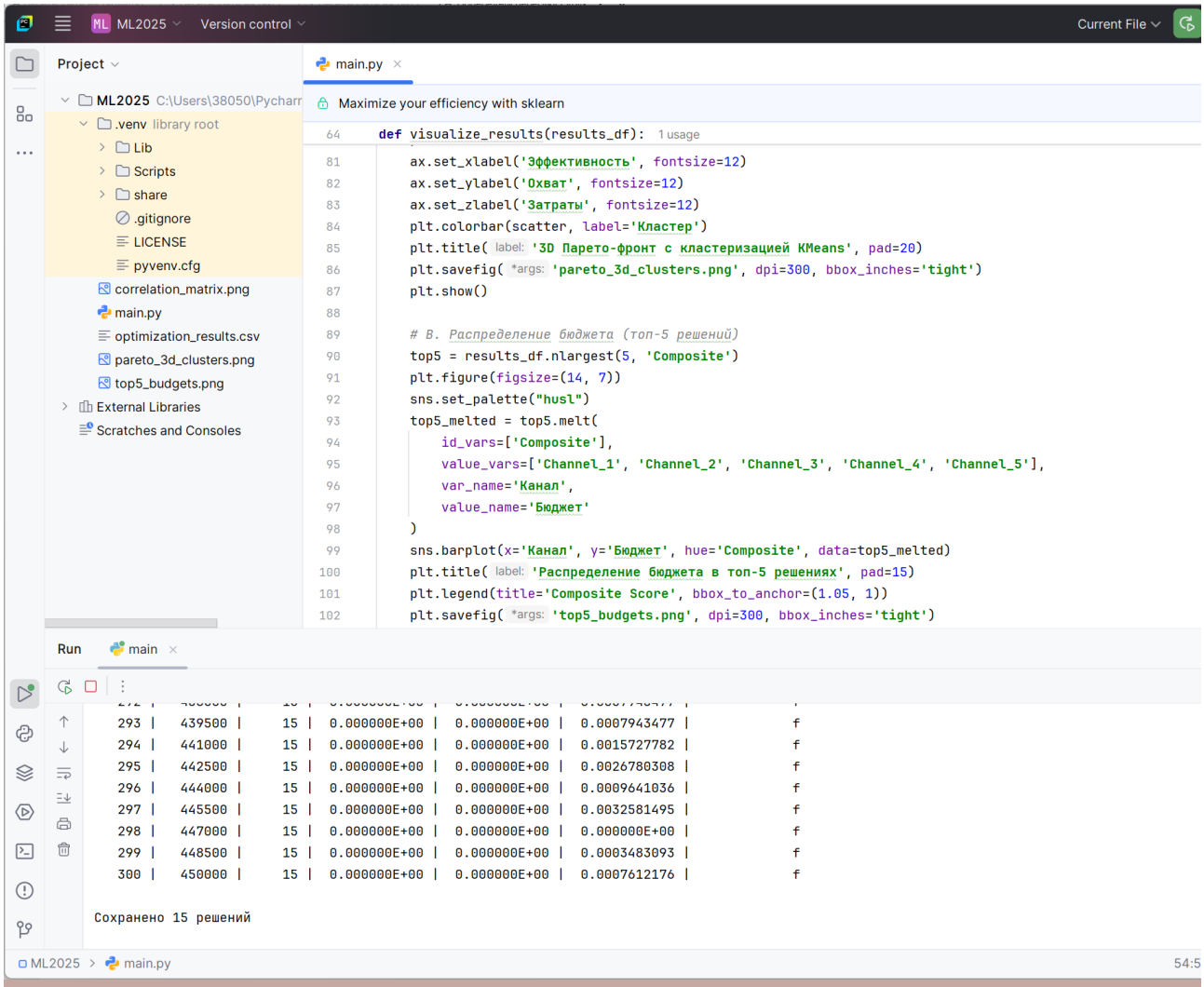


Рисунок 4 – Реализация гибридного алгоритма в IDE PyCharm

Таблица 3 – Преимущества NSGA-II/III по сравнению с традиционными методами бюджетирования:

Критерий	Традиционные методы	NSGA-II/III
Учет многокритериальности	отсутствует	реализован
Работа с нелинейными зависимостями	ограничена	высокая
Учет региональных ограничений	нет	да
Адаптивность к сезонности	низкая	высокая
Работа с неопределенностью	нет	да

является необходимым условием повышения конкурентоспособности и устойчивости агропромышленного комплекса Республики Казахстан. Маркетинговые коммуникации в цифровой среде выступают ключевым инструментом формирования рыночной ценности аграрной продукции и адаптации предприятий к внешним рискам.

Установлено, что эффективное управление маркетинговыми затратами в АПК требует их системной классификации и формализации с последующим использованием методов многокритериальной оптимизации. Эволюционные алгоритмы NSGA-II и NSGA-III обладают значительным потенциалом для решения задач распределения маркетинговых ресурсов и могут быть использованы как методологическая основа для построения адаптивных цифровых маркетинговых стратегий.

Результаты исследования могут быть использованы в научных работах, а также в практической деятельности аграрных предприятий и органов управления АПК при разработке программ цифровизации и повышения эффективности маркетинговой деятельности.

Благодарность

Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант №AP23489233 SmartBuy Connect: интеллектуальная система групповых покупок на основе AI).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wheeler, T., von Braun, J. Climate change impacts on global food security. Science, 2013, 341 (6145), 508-513.
2. Kotler, P., Keller, K.L. Marketing management. 15th ed. Pearson Education, 2016.
3. Lambin, J.-J., Schuiling, I. Market-driven management: Strategic and operational marketing. Palgrave Macmillan, 2012.
4. Chaffey, D., Ellis-Chadwick, F. Digital marketing: Strategy, implementation and practice. 7th ed. Pearson, 2019.
5. IPCC. Climate change and land. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019.
6. Varadarajan, R. Strategic marketing and marketing strategy: Domain, definition, fundamental issues and foundational premises. Journal of the Academy of Marketing Science, 2010, 38, 119-140.
7. Ryan, D. Understanding digital marketing. 4th ed. Kogan Page, 2017.
8. Tiago, M.T.P.M.B., Veríssimo, J.M.C. Digital marketing and social media: Why bother? Business Horizons, 2014, 57(6), 703-708.
9. Astamirova, Kh.Kh., Al'khanov, N.M., & Turkaeva, L.V. (2020). Marketing i reklama. Ikh osobennosti, otlichiya, vzaimosvyaz'. Voprosy ustoichivogo razvitiya obshchestva, (6), 66-68.
10. Guseva, E.S. (2018). Otlichiya kontent-marketinga ot reklamy, nativnoi reklamy i svyazei s obshchestvennost'yu. Vestnik evraziiskoi nauki, 10 (2), 16.
11. Shevchenko, D.A. (2019). Tsifrovoi marketing: obzor kanalov i instrumentov. Prakticheskii marketing, (10 (272)), 29-37.

12. Kolchanov, V.B. (2019). Tsifrovizatsiya marketinga: trendy i perspektivy. In Gosudarstvo i biznes. Ekosistema tsifrovoi ekonomiki (pp. 44-49).
13. Soldatova, N.F. (2022). Vliyanie tsifrovizatsii marketinga na effektivnost' upravlencheskikh innovatsii. Voprosy innovatsionnoi ekonomiki, 12(1), 167-178.
14. Krasyuk, I.A., & Kol'gan, M.V. (2019). Napravleniya i formy organizatsii marketinga v usloviyakh tsifrovizatsii. Prakticheskii marketing, (7 (269)), 3-9.
15. Suslov, E.Yu., & Minaev, D.V. (2021). Sistematizatsiya fenomenov tsifrovizatsii marketinga: kontseptsiya i primer realizatsii. Upravlencheskoe konsul'tirovanie, (4 (148)), 64-80.

Қазақстан Республикасының агроөнеркәсіптік кешеніндегі маркетингтің цифрлық трансформациясы және маркетингтік коммуникацияларды оңтайландыру

[1]ӘБІЛДАЕВА Жансая Тенелқызы, *докторант, Zhansaya_A@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2637-0443,*
[1]УСКЕНБАЕВА Раиса Қабиевна, *т.ғ.д., проректор, r.k.uskenbaeva@satbaev.university, https://orcid.org/0000-0002-8499-2101,*
[1]КАЛЬПЕЕВА Жулдыз Бейшеналиевна, *PhD, қауымдастырылған профессор, z.kalpeyeva@satbayev.university, https://orcid.org/0000-0002-4970-3095,*
[2]АДРАНОВА Әселхан Бағдатқызы, *PhD, қауымдастырылған профессор, assel.adranova@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-7233-4104,*
[2]ҚАБДОЛДИНА Назым Оралханқызы, *магистр, аға оқытушы, naz_82k@mail.ru, https://orcid.org/0009-0008-4194-0353,*
[1]Satbayev University, Алматы, Қазақстан,
[2]Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Қазақстан Республикасының агроөнеркәсіптік кешеніндегі маркетинг пен жарнаманың цифрлық трансформациясының теориялық және әдіснамалық негіздері қарастырылады. Климаттың тұрақсыздығы, нарықтардың аумақтық ауқымы және ауыл шаруашылығы секторындағы институционалдық шектеулер жағдайында дәстүрлі маркетинг құралдарынан цифрлық коммуникация модельдеріне көшу қажеттілігі негізделеді. Маркетинг шығындарының экономикалық сипатын жүйелік талдау жүргізіліп, коммуникация шығындарын басқарудың негізгі мақсаты ретінде көрсететін функционалдық жіктеу ұсынылады. Маркетинг және жарнама бюджеттерін оңтайландырудың математикалық, статистикалық және эволюциялық әдістерін талдауға ерекше назар аударылады. Зерттеудің ғылыми жаңалығы ауыл шаруашылығы кәсіпорындарының цифрлық маркетинг стратегияларын басқару үшін көп критерийлі эволюциялық алгоритмдерді (NSGA-II, NSGA-III) пайдаланудың орындылығын негіздеуінде жатыр. Алынған нәтижелерді ауыл шаруашылығы кәсіпорындарының стратегиялық басқару жүйесінде пайдалану бойынша зерттеу гипотезасы және практикалық ұсыныстар тұжырымдалған.*

Кілт сөздер: *NSGA-II, NSGA-III, цифрлық маркетинг, агроөнеркәсіптік кешен, маркетингтік коммуникациялар, шығындарды оңтайландыру, көп критерийлі оңтайландыру.*

Digital Transformation of Marketing and Optimization of Marketing Communications in the Agro-industrial Complex of the Republic of Kazakhstan

[1]ABILDAEVA Zhansaya, *Doctoral Candidate, Zhansaya_A@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2637-0443,*
[1]USKENBAEVA Raisa, *Dr. of Tech. Sc., Vice-Rector, r.k.uskenbaeva@satbaev.university, https://orcid.org/0000-0002-8499-2101,*
[1]KALPEYEVA Zhuldyz, *PhD, Associate Professor, z.kalpeyeva@satbayev.university, https://orcid.org/0000-0002-4970-3095,*

[2]**ADRANOVA Aselkhan,** *PhD, Associate Professor, assel.adranova@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-7233-4104,*
[2]**KABDOLDINA Nazym,** *Master's Degree, Senior Lecturer, naz_82k@mail.ru, https://orcid.org/0009-0008-4194-0353,*
[1]Satbayev University, Almaty, Kazakhstan,
[2]Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *The theoretical and methodological foundations of the digital transformation of marketing and advertising in the agro-industrial complex of the Republic of Kazakhstan are explored. The need to transition from traditional marketing tools to digital communication models in the conditions of climate instability, territorial scale of markets and institutional constraints in the agricultural sector is justified. A systematic analysis of the economic nature of marketing costs is carried out and a functional classification is proposed, which reflects the main purpose of managing communication costs. Special attention is paid to the analysis of mathematical, statistical and evolutionary methods for optimizing marketing and advertising budgets. The scientific novelty of the study lies in substantiating the feasibility of using multi-criteria evolutionary algorithms (NSGA-II, NSGA-III) to manage digital marketing strategies of agricultural enterprises. A research hypothesis and practical recommendations are formulated for using the results obtained in the strategic management system of agricultural enterprises.*

Keywords: *NSGA-II, NSGA-III, digital marketing, agro-industrial complex, marketing communications, cost optimization, multi-criteria optimization.*

REFERENCES

1. Wheeler, T., von Braun, J. Climate change impacts on global food security. Science, 2013, 341(6145), 508-513.
2. Kotler, P., Keller, K.L. Marketing management. 15th ed. Pearson Education, 2016.
3. Lambin, J.-J., Schuiling, I. Market-driven management: Strategic and operational marketing. Palgrave Macmillan, 2012.
4. Chaffey, D., Ellis-Chadwick, F. Digital marketing: Strategy, implementation and practice. 7th ed. Pearson, 2019.
5. IPCC. Climate change and land. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019.
6. Varadarajan, R. Strategic marketing and marketing strategy: Domain, definition, fundamental issues and foundational premises. Journal of the Academy of Marketing Science, 2010, 38, 119-140.
7. Ryan, D. Understanding digital marketing. 4th ed. Kogan Page, 2017.
8. Tiago, M.T.P.M.B., Veríssimo, J.M.C. Digital marketing and social media: Why bother? Business Horizons, 2014, 57(6), 703-708.
9. Astamirova, Kh.Kh., Al'khanov, N.M., & Turkaeva, L.V. (2020). Marketing i reklama. Ikh osobennosti, otlichiya, vzaimosvyaz'. Voprosy ustoichivogo razvitiya obshchestva, (6), 66-68.
10. Guseva, E.S. (2018). Otlichiya kontent-marketinga ot reklamy, nativnoi reklamy i svyazei s obshchestvennost'yu. Vestnik evraziiskoi nauki, 10(2), 16.
11. Shevchenko, D.A. (2019). Tsifrovoi marketing: obzor kanalov i instrumentov. Prakticheskii marketing, (10 (272)), 29-37.
12. Kolchanov, V.B. (2019). Tsifrovizatsiya marketinga: trendy i perspektivy. In Gosudarstvo i biznes. Ekosistema tsifrovoi ekonomiki (pp. 44-49).
13. Soldatova, N.F. (2022). Vliyanie tsifrovizatsii marketinga na effektivnost' upravlencheskikh innovatsii. Voprosy innovatsionnoi ekonomiki, 12(1), 167-178.
14. Krasyuk, I.A., & Kol'gan, M.V. (2019). Napravleniya i formy organizatsii marketinga v usloviyakh tsifrovizatsii. Prakticheskii marketing, (7 (269)), 3-9.
15. Suslov, E.Yu., & Minaev, D.V. (2021). Sistematizatsiya fenomenov tsifrovizatsii marketinga: kontseptsiya i primer realizatsii. Upravlencheskoe konsul'tirovanie, (4 (148)), 64-80.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_414 УДК 621.396.67

Сравнительный анализ характеристик беспроводных сетей Wi-Fi в средах GNU/Linux и Windows 11

[1]**БЕК Нина Юрьевна,** *магистр, старший преподаватель, n.bek@ktu.edu.kz, https://orcid.org/0009-0009-0246-5948,*
[1]***ГАВРИЛОВА Марианелла Рашидовна,** магистр, старший преподаватель, m.gavrilova@ktu.edu.kz, https://orcid.org/0000-0001-5017-8681,*
[1]**АЛДОШИНА Оксана Владимировна,** *магистр, старший преподаватель, o.aldoshina@ktu.edu.kz, https://orcid.org/ 0000-0001-5700-2793,*
[2]**РАЗИНКИН Владимир Павлович,** *д.т.н., профессор, razinkin@corp.nstu.ru, https://orcid.org/0000-0001-8203-8106,*
[1]Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан, [2]Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия,
**автор-корреспондент.*

***Аннотация.** В работе проведён сравнительный анализ характеристик беспроводных сетей Wi-Fi стандарта IEEE 802.11ax (Wi-Fi 6) в средах GNU/Linux и Windows 11. Основное внимание уделено пропускной способности, задержке передачи данных, нагрузке на центральный процессор и использованию оперативной памяти. Исследование выполнено методом имитационного моделирования с использованием идентичных аппаратных и радиосредовых условий для обеих ОС. Полученные результаты показывают, что архитектурные особенности сетевых подсистем оказывают значительное влияние на метрики качества соединения, в частности: GNU/Linux демонстрирует более высокую пропускную способность и меньшую задержку, а Windows 11 имеет более высокую нагрузку на CPU и потребление RAM. Работа имеет практическое значение для выбора операционной системы при построении высокоэффективных Wi-Fi сетей.*

***Ключевые слова:** Wi-Fi 6, GNU/Linux, Windows 11, throughput, latency, CPU load, RAM usage, сетевые подсистемы, имитационное моделирование.*

Введение

Беспроводные технологии передачи данных являются ключевым элементом современных телекоммуникационных систем. Среди них Wi-Fi занимает особое место, применяясь в бытовых, корпоративных и образовательных сетях. Развитие стандартов IEEE 802.11 привело к значительному росту скорости передачи данных и повышению устойчивости соединений [1].

Анализ современных научных публикаций показывает, что исследование характеристик беспроводных сетей стандарта IEEE 802.11ax (Wi-Fi 6) является актуальным направлением в области телекоммуникаций. Основное внимание в существующих работах уделяется протокольным механизмам, эффективности использования радиоресурсов и обеспечению качества обслуживания.

В работе Cristobo L., Zabala L., Ibarrola E. и Ferro A. (2026) приведены результаты исследований внедрения технологий Wi-Fi 6 в инфраструктуре университетского кампуса. Показано, что использование стандарта IEEE 802.11ax позволяет повысить показатели QoS и QoE в сетях с высокой плотностью пользователей, особенно при применении методов машинного обучения для анализа сетевых параметров. Однако остались нерешёнными вопросы, связанные с влиянием программной среды и архитектуры операционной системы на характеристики беспроводного соединения. Причиной этого может быть ориентация исследования преимущественно на сетевую инфраструктуру и методы управления радиоресурсами [2].

В работе Mozaffariahrar E., Theoleyre F. и Menth M. (2022) приведён обзор ключевых технологий стандарта IEEE 802.11ax, включая такие механизмы, как OFDMA, MU-MIMO и Target Wake Time. Показано, что применение данных технологий способствует

увеличению пропускной способности, снижению задержек передачи данных и повышению энергоэффективности беспроводных устройств. Однако остались нерешёнными вопросы, связанные с влиянием особенностей реализации сетевых стеков операционных систем на производительность беспроводных соединений. Это объясняется тем, что исследования сосредоточены преимущественно на протокольном и физическом уровнях сетевой архитектуры [3].

В работе Boris Bellalta приведены результаты исследований механизмов повышения эффективности сетей стандарта IEEE 802.11ax, включая использование технологии OFDMA и методов управления интерференцией. Показано, что данные механизмы позволяют повысить спектральную эффективность и уменьшить уровень взаимных помех между пользователями. Однако остались нерешёнными вопросы, связанные с влиянием программной среды и сетевых стеков операционных систем на реальные показатели производительности беспроводных сетей. Причиной этого является ориентация исследования на оптимизацию протокольных механизмов стандарта [4].

В работе Evgeny Khorov (2020) приведены результаты анализа механизмов множественного доступа стандарта IEEE 802.11ax. Показано, что использование технологии OFDMA позволяет значительно повысить эффективность работы сети при высокой плотности подключённых устройств. Однако остались нерешёнными вопросы, связанные с влиянием архитектуры операционных систем и реализации сетевых драйверов на параметры функционирования беспроводных соединений. Причиной этого является ограничение исследования преимущественно протокольным уровнем анализа [5].

Таким образом, большинство работ сосредоточено на протокольных механизмах стандарта IEEE 802.11ax и оптимизации распределения радиоресурсов. При этом влияние архитектуры операционных систем, таких как Linux и Windows 11, на параметры функционирования беспроводных сетей изучено недостаточно. Современные операционные системы реализуют различные сетевые стеки и драйверы, что влияет на характеристики Wi-Fi соединений.

Все это позволяет утверждать, что целесообразным является проведение исследования, посвященного сравнительному анализу характеристик функционирования беспроводных сетей стандарта IEEE 802.11ax в различных программных средах, а именно в операционных системах GNU/Linux и Windows 11. Проведение такого исследования позволит выявить особенности функционирования беспроводных сетей в различных операционных средах и определить факторы, влияющие на производительность Wi-Fi соединений в современных компьютерных системах.

Исходя из сказанного, целью исследования является сравнительный анализ параметров функционирования беспроводных сетей стандарта Wi-Fi 6 (IEEE 802.11ax) в операционных средах GNU/Linux и Windows 11 с целью оценки влияния особенностей реализации сетевых стеков и драйверов операционных систем на ключевые характеристики передачи данных, такие как пропускная способность, задержка и т.д.

Задачи исследования:

1. Провести анализ современных научных публикаций, посвящённых исследованию характеристик беспроводных сетей стандарта Wi-Fi 6 на основе стандарта IEEE 802.11ax, а также выявить основные направления и ограничения существующих исследований.

2. Рассмотреть архитектурные особенности сетевых стеков операционных систем GNU/Linux и Windows 11 и определить их влияние на функционирование беспроводных сетевых интерфейсов.

3. Разработать методику экспериментального исследования характеристик беспроводного соединения в различных программных средах.

4. Провести сравнительное экспериментальное исследование параметров беспроводной сети Wi-Fi в операционных системах GNU/Linux и Windows 11.

5. Оценить и сопоставить основные показатели производительности беспроводного соединения (пропускную способность, задержку передачи данных, стабильность соединения) для исследуемых программных сред.

6. Сформулировать выводы и рекомендации по использованию различных операционных систем для повышения эффективности функционирования беспроводных сетей стандарта IEEE 802.11ax.

Методы исследования

Сравнение операционных систем основывается на ранее опубликованных эмпирических исследованиях, показывающих различия обработки сетевого трафика в Linux и Windows при идентичной аппаратной конфигурации [6].

Метод моделирования: 10 независимых прогонов с варьированием параметров (throughput, latency, CPU, RAM), случайные отклонения ± диапазоны, соответствующие реальной среде;

Статистическая обработка: среднее ± стандартное отклонение, диапазон колеба-

ний.

Формально исследуемая система может быть представлена в виде набора параметров:

$$S = \{T, L, C, M\}, \quad (1)$$

где T – пропускная способность сети (throughput),

L – задержка передачи данных (latency),

C – загрузка центрального процессора (CPU load),

M – использование оперативной памяти (RAM usage).

Оценка характеристик системы проводилась на основе серии независимых имитационных экспериментов. Среднее значение исследуемого параметра вычислялось по формуле

Каждый прогон моделирования $i \in \{1,2,...,10\}$ формирует набор наблюдений:

$$S = \{T_i, L_i, C_i, M_i\}. \quad (2)$$

Итоговые показатели рассчитываются как выборочные средние:

$$\overline{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i, \quad (3)$$

где $n = 10$.

Оценка разброса определяется через выборочное стандартное отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(X_i - \overline{X})^2}. \quad (4)$$

Имитационная модель учитывает случайные отклонения параметров в диапазонах, соответствующих реальной беспроводной среде. Величины отклонений моделируются как малые стохастические флуктуации:

$$X_i = x_{base} + \varepsilon_i, \quad (5)$$

где ε_i – случайная величина с ограниченной амплитудой, отражающая влияние радиопомех, вариаций нагрузки и фоновых процессов ОС.

Таким образом, исследование представляет собой дискретно-событийную имитационную модель с элементами стохастического варьирования параметров.

Результаты моделирования и анализ результатов

Исследование выполнено преимущественно методом имитационного моделирования, позволяющего оценить характеристики беспроводной сети при контролируемых параметрах среды.

С целью частичной валидации модели и повышения достоверности результатов была проведена серия экспериментальных измерений на базе кафедры радиоэлектроники и телекоммуникационных технологий.

Измерения выполнялись в ограниченном числе контрольных точек помещения с различным удалением от точки доступа, что позволило учесть влияние пространственного распределения сигнала на параметры соединения.

Полученные экспериментальные данные использовались для качественного сопоставления с результатами имитационного моделирования и подтверждения выявленных закономерностей.

Сравнительные результаты пропускной способности (Мбит/с) и задержки передачи данных (RTT, мс) представлены в таблице 1, а также на рисунках 1 и 2.

Средний показатель пропускной способности: Linux 280,4 ± 8,5; Windows 261,1 ±

Таблица 1 – Пропускная способность и задержка передачи данных (RTT, мс)

Пропускная способность			Задержка передачи данных (RTT, мс)		
Измерение №	Linux	Windows 11	Измерение №	Linux	Windows 11
1	276	261	1	8,3	10,7
2	289	255	2	7,6	11,2
3	271	268	3	9,1	9,8
4	284	259	4	8,0	10,4
5	267	263	5	9,4	11,0
6	292	252	6	7,2	11,5
7	279	266	7	8,5	10,1
8	285	257	8	7,9	10,8
9	273	270	9	9,0	9,6
10	288	260	10	8,1	10,3

5,7.

Средний показатель задержки передачи данных: Linux 8,31 ± 0,70; Windows 10,54 ± 0,61.

Сравнительные результаты загрузки CPU (%) и использования RAM (МБ) представлены в таблице 2, а также наглядно изображены на рисунках 3 и 4.

Средний показатель загрузки CPU: Linux 13,7 ± 1,3; Windows 22,1 ± 1,7.

Средний показатель использования RAM (МБ): Linux 1121,0 ± 21,1; Windows 1324,5 ± 24,2.

Анализ результатов:

1. Пропускная способность: Linux обеспечивает на 7-8% выше среднюю throughput, благодаря более эффективной обработке пакетов и демонам управления Wi-Fi;

2. Задержка: RTT в Linux ниже на 2,2 мс, что связано с меньшими накладными расходами на сканирование/роуминг;

3. Загрузка CPU и RAM: Windows 11 требует на 38% больше CPU и на 15% больше RAM, что объясняется архитектурой WDI/NDIS и сложностью встроенных служб фильтрации;

4. Практическая ценность: результаты позволяют выбирать ОС в зависимости от приоритетов: максимальная пропускная способность и стабильность – Linux; удобство интеграции и встроенные сервисы – Windows 11.

Полученные данные согласуются с теоретическими положениями о влиянии оче-

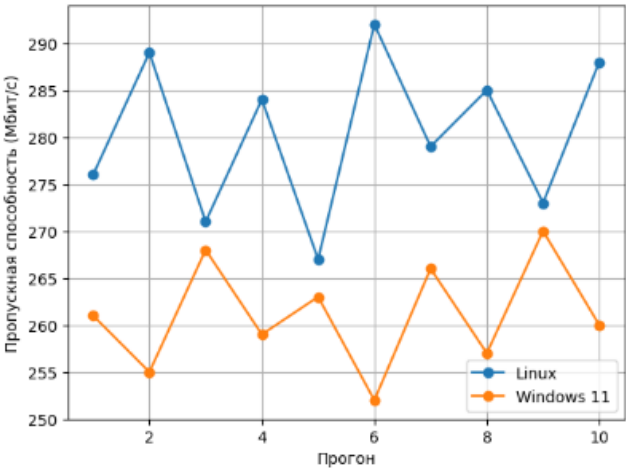


Рисунок 1 – Сравнительные графики пропускной способности

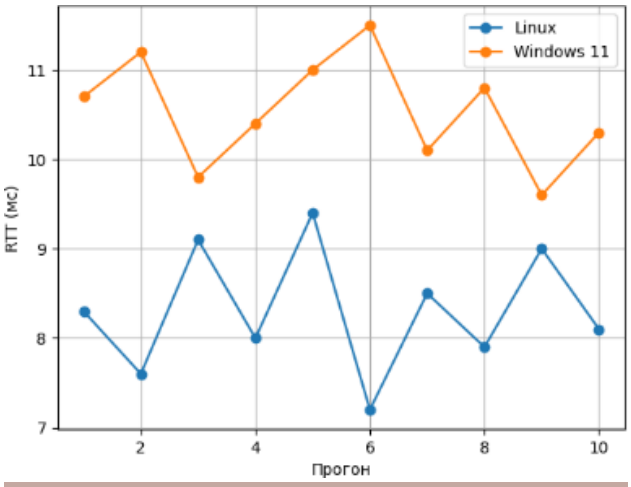


Рисунок 2 – Сравнительные графики задержки передачи данных

Таблица 2 – Загрузка CPU (%) и использование RAM (МБ)

Загрузка CPU (%)			Использование RAM (МБ)		
Измерение №	Linux	Windows 11	Измерение №	Linux	Windows 11
1	13	21	1	1120	1310
2	12	23	2	1105	1340
3	15	20	3	1140	1295
4	14	22	4	1110	1320
5	16	24	5	1155	1350
6	12	25	6	1090	1360
7	13	21	7	1130	1305
8	14	22	8	1100	1330
9	15	20	9	1145	1290
10	13	23	10	1115	1345

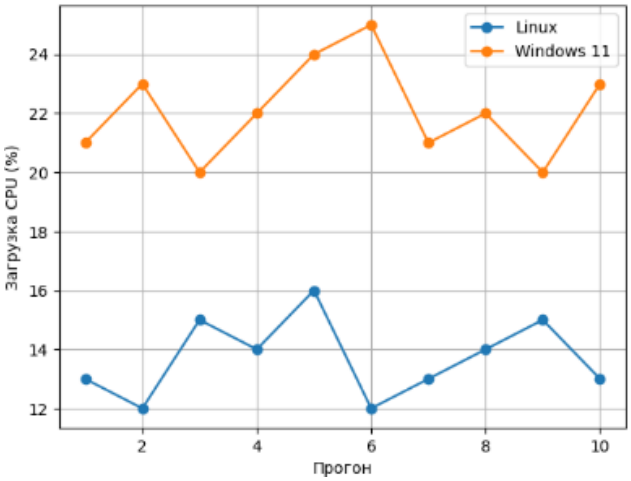


Рисунок 3 – Сравнительные графики загрузки CPU

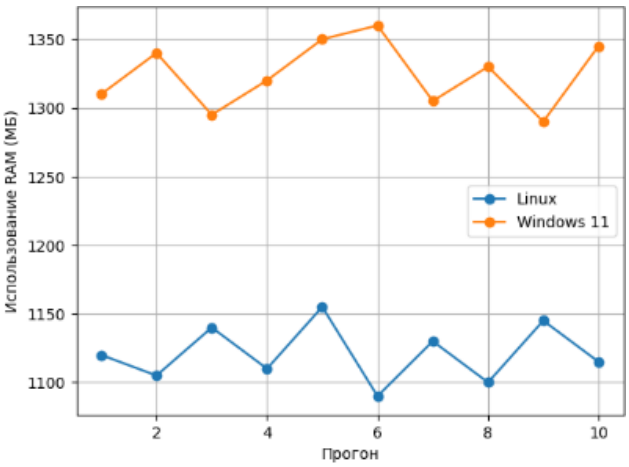


Рисунок 4 – Сравнительные графики использования RAM

редей и буферизации на задержку передачи данных. Механизмы распределения ресурсов в IEEE 802.11ax напрямую влияют на latency и jitter в условиях нагрузки [7].

Согласно экспериментальным исследованиям IEEE 802.11ax, снижение задержки при использовании современных механизмов управления ресурсами может достигать 20-30% по сравнению с предыдущими поколениями Wi-Fi [8].

Дополнительно технические обзоры Intel подтверждают снижение задержки и рост пропускной способности при использовании Wi-Fi 6 [8].

Выводы

Исходя из поставленных ранее задач были сформулированы выводы.

Проведённый анализ научных публикаций показал, что большинство исследований, посвящённых развитию сетей стандарта IEEE 802.11ax, сосредоточено на протокольных механизмах повышения эффективности передачи данных и оптимизации использования радиоресурсов. При этом влияние программной среды и архитектуры операционных систем на характеристики беспроводных соединений в существующих работах рассмотрено недостаточно, что подтверждает актуальность выполненного исследования.

Выполненный анализ архитектур сетевых подсистем операционных систем GNU/Linux и Windows 11 показал, что различия в реализации сетевых стеков, механизмах обработки сетевых очередей и драйверных подсистемах могут оказывать существенное влияние на параметры функционирования беспроводных интерфейсов.

Разработанная методика имитационного моделирования позволила обеспечить проведение корректного сравнительного анализа при одинаковых аппаратных характеристиках и параметрах радиосреды, что обеспечило объективность оценки влияния программной платформы на показатели работы беспроводной сети.

Проведённые эксперименты позволили получить количественные результаты функционирования беспроводной сети в различных программных средах и выявить различия в параметрах передачи данных между исследуемыми операционными системами.

Установлено, что операционная система GNU/Linux обеспечивает более высокую среднюю пропускную способность (280,4 Мбит/с) и меньшую задержку передачи данных (8,31 мс) по сравнению с Windows 11 (10,54 мс), что свидетельствует о более эффективной обработке сетевых пакетов и меньших накладных расходах сетевого стека.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о целесообразности использования операционной системы GNU/Linux при построении и оптимизации высокопроизводительных беспроводных сетей на основе стандарта IEEE 802.11ax, а также могут быть использованы при выборе программной платформы для телекоммуникационных и корпоративных инфраструктур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. IEEE Std 802.11ax-2021. High Efficiency WLAN (Wi-Fi 6). IEEE, 2021.
2. Cristobo L., Zabala L., Ibarrola E., Ferro A. Evaluating the Impact of Wi-Fi 6 Migration on QoS/QoE: A Campus Case Study // Applied Sciences, 2026, Vol. 16, No. 5, Art. 2323. DOI: 10.3390/app16052323.
3. Mozaffariahrar E., Theoleyre F., Menth M. IEEE 802.11ax: A Survey // Computers, 2022, Vol. 11, No. 3, Art. 45.
4. Bellalta B. IEEE 802.11ax: High-Efficiency WLANs // IEEE Wireless Communications, 2016, Vol. 23, No. 1, pp. 38-46.
5. Khorov E., Kiryanov A., Lyakhov A., Bianchi G. A Tutorial on IEEE 802.11ax High Efficiency WLANs // IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2019, Vol. 21, No. 1, pp. 197-216.
6. Khorov E., Lyakhov A., Krotov A., Guschin A. A Survey on IEEE 802.11ax High Efficiency WLANs // Computer Communications, 2020, Vol. 161, pp. 113-126.
7. Experimental Evaluation of IEEE 802.11ax – Low Latency and High Reliability with Wi-Fi 6. IEEE Xplore.
8. Intel Corporation. Wi-Fi 6 (802.11ax) Performance White Paper, 2020.

GNU/Linux және Windows 11 орталарындағы сымсыз Wi-Fi желілерінің сипаттамаларының салыстырма талдауы

*[1]**БЕК Нина Юрьевна,** магистр, аға оқытушы, n.bek@ktu.edu.kz, https://orcid.org/0009-0009-0246-5948,*
*[1]***ГАВРИЛОВА Марианелла Рашидовна,** магистр, аға оқытушы, m.gavrilova@ktu.edu.kz, https://orcid.org/0000-0001-5017-8681,*
*[1]**АЛДОШИНА Оксана Владимировна,** магистр, аға оқытушы, o.aldoshina@ktu.edu.kz, https://orcid.org/ 0000-0001-5700-2793,*
*[2]**РАЗИНКИН Владимир Павлович,** т.ғ.д., профессор, razinkin@corp.nstu.ru, https://orcid.org/0000-0001-8203-8106,*
[1]Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
[2]Новосибирск мемлекеттік техникалық университеті, Новосибирск, Ресей,
**автор-корреспондент.*

***Аңдатпа.** Linux және Windows 11 жүйелерінде жұмыс істейтін IEEE 802.11ax (Wi-Fi 6) Wi-Fi желілерінің өнімділігі салыстырылады. Онда өткізу қабілеті, деректерді беру кідірісі, процессор жүктемесі және жедел жадты пайдалану мәселелеріне баса назар аударылады [1, 2]. Зерттеу екі операциялық жүйе үшін де бірдей аппараттық және радио орталары бар модельдеу модельдеуін қолдану арқылы жүргізілді. Нәтижелер желілік ішкі жүйелердің архитектуралық ерекшеліктері қосылым сапасының көрсеткіштеріне айтарлықтай әсер ететінін көрсетеді. Атап айтқанда, Linux жоғары өткізу қабілеті мен төмен кідіріс көрсетеді, ал Windows 11 процессор жүктемесі мен жедел жадты тұтынуы жоғары. Мақалада жоғары өнімді Wi-Fi желілерін құру кезінде операциялық жүйені таңдаудың практикалық салдары бар.*

***Кілт сөздер:** Wi-Fi 6, GNU/Linux, Windows 11, throughput, latency, CPU load, RAM usage, желілік кіші жүйелер, модельдеу.*

Comparative Analysis of the Characteristics of Wireless Wi-Fi Networks in GNU/Linux and Windows 11 Environments

*[1]**BEK Nina,** Master's Degree, Senior Lecturer, n.bek@ktu.edu.kz, https://orcid.org/0009-0009-0246-5948,*
*[1]***GAVRILOVA Marianella,** Master's Degree, Senior Lecturer, m.gavrilova@ktu.edu.kz, https://orcid.org/0000-0001-5017-8681,*

[1]**ALDOSHINA Oksana,** *Master's Degree, Senior Lecturer, o.aldoshina@ktu.edu.kz, https://orcid.org/ 0000-0001-5700-2793,*
[2]**RAZINKIN Vladimir,** *Dr. of Tech. Sc., Professor, razinkin@corp.nstu.ru, https://orcid.org/0000-0001-8203-8106,*
[1]Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
[2]Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia,
**corresponding author.*

Abstract. *The present research investigates the performance characteristics of IEEE 802.11ax (Wi-Fi 6) wireless networks in GNU/Linux and Windows 11 environments. Particular attention is devoted to throughput, data transmission latency, CPU load, and RAM utilization [1, 2]. The study was carried out using a simulation-based methodology under identical hardware configurations and radio environment conditions for both operating systems. The obtained results indicate that architectural differences in network subsystems significantly affect connection quality metrics. In particular, GNU/Linux demonstrates higher throughput and lower latency, whereas Windows 11 exhibits increased CPU load and greater RAM consumption under comparable conditions. The research has practical relevance for selecting an operating system in the design and deployment of high-performance Wi-Fi networks.*

Keywords: *Wi-Fi 6, GNU/Linux, Windows 11, throughput, latency, CPU load, RAM usage, network subsystems, simulation modelling.*

REFERENCES

1. IEEE Std 802.11ax-2021. High Efficiency WLAN (Wi-Fi 6). IEEE, 2021.
2. Cristobo L., Zabala L., Ibarrola E., Ferro A. Evaluating the Impact of Wi-Fi 6 Migration on QoS/QoE: A Campus Case Study // Applied Sciences, 2026, Vol. 16, No. 5, Art. 2323. DOI: 10.3390/app16052323.
3. Mozaffariahrar E., Theoleyre F., Menth M. IEEE 802.11ax: A Survey // Computers, 2022, Vol. 11, No. 3, Art. 45.
4. Bellalta B. IEEE 802.11ax: High-Efficiency WLANs // IEEE Wireless Communications, 2016, Vol. 23, No. 1, pp. 38-46.
5. Khorov E., Kiryanov A., Lyakhov A., Bianchi G. A Tutorial on IEEE 802.11ax High Efficiency WLANs // IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2019, Vol. 21, No. 1, pp. 197-216.
6. Khorov E., Lyakhov A., Krotov A., Guschin A. A Survey on IEEE 802.11ax High Efficiency WLANs // Computer Communications, 2020, Vol. 161, pp. 113-126.
7. Experimental Evaluation of IEEE 802.11ax – Low Latency and High Reliability with Wi-Fi 6. IEEE Xplore.
8. Intel Corporation. Wi-Fi 6 (802.11ax) Performance White Paper, 2020.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_421 ӘОЖ 621.313.12

Жел генераторлық қондырғыларын авариялық режимдерден қорғаудың біріктірілген жүйесін әзірлеу

[1]**КАВЕРИН Владимир Викторович,** *т.ғ.к., профессор м.а., kaverinkz@inbox.ru,*
[2]***НҰРМАҒАНБЕТОВА Гүлім Сахитовна,** *PhD, қауымдастырылған профессор м.а., g_sahitovna@mail.ru,*
[1]**ЭМ Геннадий Аркадиевич,** *магистр, аға оқытушы, egaapp@mail.ru,*
[1]**НҰРМАҒАНБЕТОВА Жанара Сахитовна,** *магистр, аға оқытушы, janaraaru@mail.ru,*
[3]**ДЖАНИЗЕВСКИ Дариуш,** *PhD, қауымдастырылған профессор, Dariusz.Janiszewski@put.poznan.pl,*
[1]Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
[2]С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан,
[3]Познань техникалық университеті, Познань, Польша,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Жел генераторының біріктірілген қорғаныс жүйесін әзірлеудің өзектілігі негізделген. Жүйе аппаратты үш деңгейлі құрылымнан тұрады. Бірінші деңгей, төменгі, бақыланатын параметрлердің ағымдағы ақпаратын жинауды қамтамасыз етеді. Екінші деңгей бақыланатын параметрлердің ағымдағы ақпаратын сақтауды, бақылаушылардың құралдарымен жетіспейтін координаттарды есептеуді, жел генераторы операторына авариялық жағдайлар туралы ескерту хабарламаларын жасауды орындайды. Үшінші, жоғарғы деңгейге оператордың компьютері кіреді. Жел генераторының біріктірілген қорғаныс жүйесі төтенше жағдайлардың төмендеуін қамтамасыз ететін, сондай-ақ жел генераторының сенімділігін арттыратын және ресурсын ұлғайтатын маңызды элемент болып табылады.*

Кілт сөздер: *біріктірілген қорғаныс жүйесі, жел генераторы қондырғысы, авариялық жағдайлар, температураның жоғарылауы, желдің жылдамдығы, бақылаушы.*

Кіріспе

Баламалы энергетика құралдарымен өндірілетін электр энергиясының тұрақсыздығына қарамастан, осы бағыт шеңберінде өндірілетін электр энергиясының өсуі үнемі байқалады.

Жаңа баламалы энергия көздерін пайдаланудың өсуімен қатар бірқатар мемлекеттер Үкіметі қоршаған орта биосферасына теріс әсерді азайту және инновациялық техникалық шешімдердің сенімділігін арттыру, сондай-ақ климаттық жағдайлардың өзгеруінің олардың сенімділігіне әсерін азайту мәселелеріне көп көңіл бөледі [1-3].

Жел энергетикасының дамуына айтарлықтай әсер ететін негізгі факторлар: номиналды қуаттың артуы, құрамдас бөліктерді өндіру технологиялары бойынша жел турбиналарын шығаратын фирмалардың мамандануы; тікелей жетекті пайдаланып редуктордан бас тарту әрекеті байқалады; өздері өндіретін энергияның құнын төмендету арқылы жел генераторлық қондырғылардың бәсекеге қабілеттілігін арттыру. Жаңа материалдарды әзірлеу және электромеханикалық бөліктің құрылымын оңтайландыру [4, 5].

Жел электр станциялары өндіретін электр энергиясының құнын төмендетуге авариялық жағдайлардың санын азайту және жел генераторының ресурсын ұлғайту арқылы қол жеткізуге болады. Бұл мәселені шешудің бір жолы авариялық жағдайларды зерттеу және алынған нәтижелер негізінде біріктірілген қорғаныс жүйесіне арналған техникалық шешімдерді әзірлеу.

Соңғы уақытта электромеханикалық түрлендіргіштердің ішінен асинхронды генератор мен асинхрондалған синхронды генератор қолданылады.

Қуаты 1 МВт-тан асатын жел генераторлық қондығылар желілік режимде жұмыс істейді, яғни энергияны жалпы электр желісіне береді. Бұл жағдайда жел генераторлық қондырғылары генератордың электртехникалық сипаттамаларын жалпы электрмен

жабдықтау желісінің электротехникалық сипаттамаларымен сәйкестендірілген құрылғылармен жабдықталады. Жалпы электрмен жабдықтау желісінің техникалық сипаттамаларының өзгеруі жел генераторлық қондырғыларының сенімділігіне айтарлықтай әсер етеді [6, 7].

[8] мақалада асинхронды қозғалтқыштарының орамдарын қызудан қорғау қарастырылып, статор орамасындағы кедергінің температураға байланысы көрсетілген. Мұнда статор кедергісі есептелген, яғни тұрақты кернеудің аз мөлшері айнымалы электрқуат беру кернеуімен бірге статор орамдарының біреуіне берілетін болады. Барлық жұмыс уақытында статор орамасына тұрақты ығысу кернеуі беріледі. Жұмыс барысында тұрақты токтың мәні бақыланады, ол статор орамасының кедергісі мен температурасын есептеу үшін қолданылады. Такаги-Сугено – ANFIS анық емес шығару жүйесіне негізделген жасанды нейрондық желі арқылы статор орамасының температурасының нақты мәндері алынды. Эксперименттік зерттеулер барысында Perfect датчигі арқылы өлшенген температурамен жоғарыда қарастырылған статор орамасының температурасын есептеу әдісінің сәйкестігі салыстыру арқылы бағаланды. Теориялық зерттеулердің нәтижелері әртүрлі жүктеме режимдерінде 7,4 кВт асинхронды машинада эксперименталды түрде тексерілді. Бұл әдіс 10 кВт-тан аспайтын асинхронды машиналар үшін жақсы нәтиже береді.

Бұл әдістің кемшіліктері асинхронды машинаның магниттік өткізгіштіктерін қанықтыру мүмкіндігін қамтиды. Электр қозғалтқышының қуатын арттыра отырып, тұрақты ығысу кернеуінің көзінің қуатын арттыру қажет, бұл электр қозғалтқышының магниттік өткізгішінің қанығуына және жылу сипаттамаларының нашарлауына әкелуі мүмкін. Сондай-ақ, асинхронды машинаның қуатының артуымен таратылған тұрақты ығысу кернеуін іске асыру үшін энергия шығындары артады.

Автор [9] асинхронды машиналарды қызып кетуден қорғау құрылғыларын әзірлеудің маңыздылығын түсіндірді. Асинхронды машинаның температурасы қоршаған ортаның температурасына тәуелді екені көрсетілген. Құрылғының кемшілігіне статор орамасының ең жоғарғы мәні изоляция класына тәуелділігін жатқызуға болады.

Авторлар [10] қозғалтқыштарды қызудан қорғау жолын ұсынған. Ол термосезімтал кедергілерге қолдануға негізделген. Әдістің кемшілігіне қозғалтқыштың конструкциясын ауыстыру жатады.

Жүргізілген талдаудан жел генераторлық қондырғылардың техникалық сенімділігін арттыру үшін жел турбиналарының электромеханикалық жабдықтарын қорғаудың біріктірілген жүйесін әзірлеу қажет екендігі туындайды.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы мен түпнұсқалығы жел генераторлық қондырғылардың электр механикалық бөліктерін қорғауға арналған біріктірілген үш деңгейлі жүйені әзірлеу болып табылады. Ұсынылған жүйе келесі шешімдерден ерекшеленеді:

1) жел жылдамдығын, температураны және вибрациялық параметрлерді бір уақытта бақылайтын және алынған деректер негізінде авариялық жағдайлардың алдын алу жөнінде логикалық шешім қабылдайтын көпдеңгейлі құрылымдық әдіс жасалды;

2) жүйенің екінші деңгейінде бақылау-индикаторлық датчиктермен бақыланбайтын параметрлерді есептеу үшін бақылаушы-алгоритмдер қолданылды, бұл қорғаныс дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді;

3) үшінші деңгейде SCADA негізіндегі визуализация және операторлық интерфейс арқылы нақты уақыт режимінде шешім қабылдау мен диагностика жүргізу қамтамасыз етіледі.

Осылайша, әзірленген біріктірілген қорғаныс жүйесі жел генераторларының техникалық жай-күйін жан-жақты бақылауды және авариялық жағдайлардың алдын алуды қамтамасыз етеді, бұл бұрынғы шешімдермен салыстырғанда жүйенің сенімділігін және энергия тиімділігін арттырады.

Біріктірілген қорғаныс жүйесіне қойылатын талаптар

Жүргізілген талдау негізінде біріктірілген қорғаныс жүйесіне қойылатын техникалық талаптар кешені әзірленді:

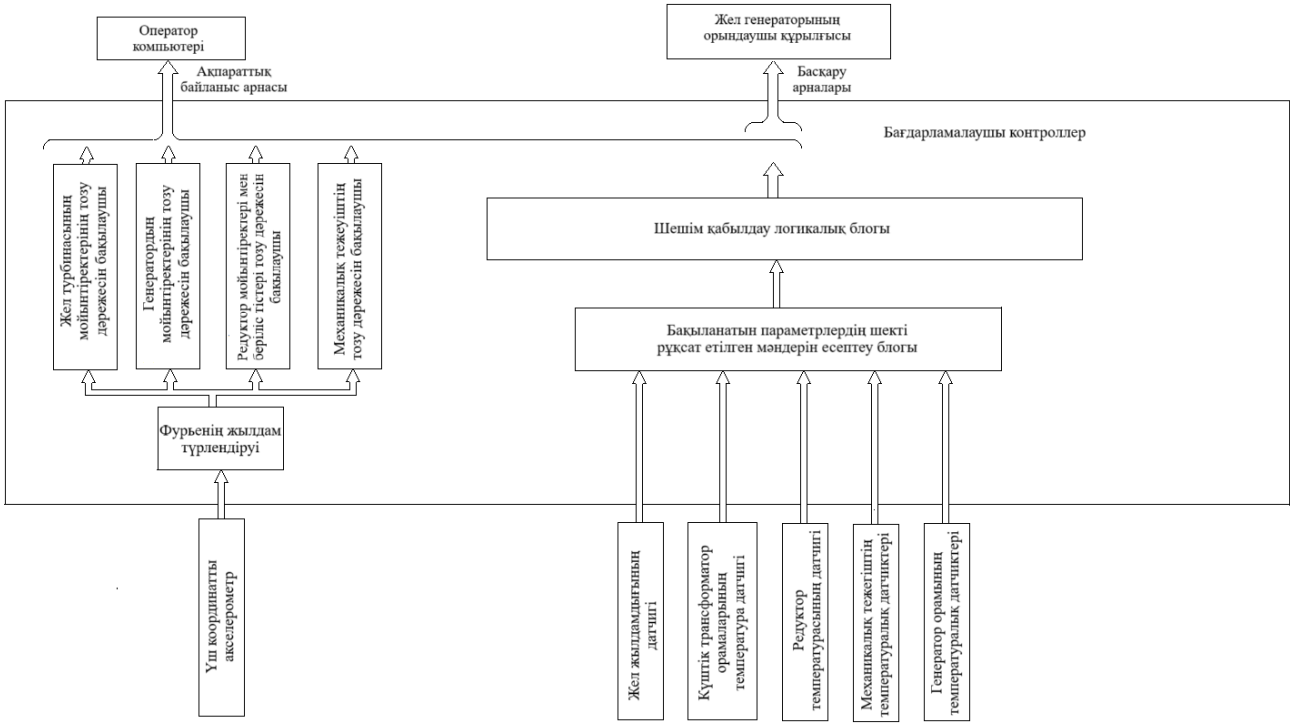
Жел генераторының біріктірілген қорғаныс жүйесі жел жылдамдығын үздіксіз бақылау мен күштік трансформатор, редуктор, механикалық тежегіш және генератор орамаларының температурасын ағымдағы бақылауды қамтамасыз етеді.

Біріктірілген қорғаныс жүйесі берілген жылдамдықтың мәнінен асқанда жел генератор қондырғысының конструкциясына түсетін жүктемені төмендету және жел генераторы құрылымының механикалық бөлігінің бақыланатын элементтерінің ресурсын нөлдік толық пайдалану.

Біріктірілген қорғаныс жүйесінің құрылымдық схемасы

Қорғаныс жүйесіне қойылатын техникалық талаптар кешенін жүзеге асыру үшін аппараттық құралдардың үш деңгейлі құрылымын ұйымдастыру қажет (сурет).

Төменгі деңгейде индикатор датчиктері орналасқан. Бұл деңгейде жел генераторлық қондырғысы туралы ақпараттар қамтамасыз етіліп, байланыс каналдарымен келесі дең-



Жел генераторы қондырғысының біріктірілген қорғаныс жүйесінің құрылымдық схемасы

гейге жіберіледі. Датчиктер екіге бөлінеді.

Датчиктердің бірінші тобы жел генераторы қондырғысы құрылымының механикалық бөлігінің элементтерінің, яғни жел турбинасының, редуктордың, генератордың және механикалық тежегіштің мойынтіректерінің техникалық жағдайын бақылайды. Датчиктердің екінші тобы жел жылдамдығының рұқсат етілген ең жоғары мәнінен асып кетуін бақылауды жүзеге асырады. Жел жылдамдығының датчигі жел жылдамдығының ағымдағы мәнін анықтайды. Жиналған ақпарат екінші деңгейге беріледі.

Екінші деңгейде бақылаушылардың алгоритмдерін қолдана отырып: бақылау-индикаторлық датчиктермен бақыланбайтын координаттардың сандық мәндерін анықтайды, жел жылдамдығының шекті рұқсат етілген мәндерін және күштік трансформатор, редуктор, механикалық тежегіш құрылғы және генератор орамаларының температураларын есептейді. Берілген шекті рұқсат етілген мәндердің есептелген ағымдағы мәндері асып кеткен жағдайда, ақпарат логикалық шешім қабылдау блогына беріледі.

Шешім қабылдау логикалық блогы жоғарыда аталған факторлардың кері әсерін азайтуға бағытталған жел генераторын басқару командаларын қалыптастыруы керек.

Үш координатты акселерометрдің ағымдағы мәліметтері жел турбинасы мойынтіректерінің, генератор мойынтіректерінің, редуктордың мойынтіректерінің тозу дәрежесінің бақылаушысының жұмысымен бірге жоғарыда аталған координаттардың қалдық ресурсының ағымдағы мәндерін есептеудің негізі болып табылады.

Біріктірілген қорғаныс жүйесінің екінші деңгейі бағдарламаланатын контроллермен жүзеге асырылады. Контроллер бақылауыштар көмегімен берілген шамаларды есептейді.

Жүйенің үшінші деңгейінде технологиялық процестерді визуализациялау (SCADA) бағдарламалық жасақтамасы операторымен жасалады. Оператордың компьютерінде жел жылдамдығының, жел генераторы конструкциясының бақыланатын элементтерінің температурасының, жел турбинасының қалдық ресурсының, редуктор генераторының және механикалық тежегіш құрылғысының ағымдағы мәндері, қызмет көрсетуші персоналға арналған ұсынымдар, сондай-ақ, шешім қабылдаудың логикалық блогының командалары көрсетілуі тиіс.

Жел жылдамдығының ең жоғары рұқсат етілген мәнінен асып кету, күштік трансформатор орамаларының, генератор, редуктор, механикалық тежегіш орамаларының рұқсат етілген температуралық мәнінен асып кету параметрлерінің динамикасы өте жоғары және авариялық жағдайлардың салдары айтарлықтай экономикалық шығындармен байланысты, сондықтан авариялық жағдай-

лардың салдарын азайтуға бағытталған шешімдерді жедел қабылдаған жөн.

Қорытынды

Мақалада ұсынылған біріктірілген қорғаныс жүйесі жел генераторлық қондырғыларының қазіргі уақытта белгілі барлық аварияға дейінгі және кейінгі факторлардан кешенді қорғанысын қамтамасыз етеді. Ұсынылып отырған біріктірілген қорғаныс жүйесі жел энергиясын электр энергиясына түрлендірудің қолданыстағы техникалық шешімдерін ескере отырып, жел генераторларының авариялық жағдайларын саралаған талдау негізінде орындалды. Сонымен қатар, біріктірілген қорғаныс жүйесі желіге электр энергиясын бере отырып, жел генераторының жұмысының ерекшеліктерін ескереді.

Әзірленген жүйе желдің жылдамдығынан қорғауды, жел турбинасының құрылымдық элементтерінің ресурсын және температурасын бақылауды қамтамасыз етеді.

Қаржыландыру туралы ақпарат

Мақала ЖТН №AP19677354 Қазақстан Республикасының Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті гранттық қаржыландыру шеңберінде орындалды.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Piotr Bórawski, Aneta Bełdycka-Bórawska, Krzysztof Józef Jankowski, Bogdan Dubis, James W. Dunn. Development of wind energy market in the European Union. Renewable Energy. Volume 161 (December 2020) Pages 691-700.
2. Eric Williamsa, Eric Hittingerb, Rexon Carvalhoa, Ryan Williamsa. Wind power costs expected to decrease due to technological progress. Energy Policy. Energy Policy. 106 (2017) Pages 427-435.
3. Na Yang, Juhua Yang, Mingyue Pang, Pengpeng Zhang, Yuan Chang, Lixiao Zhang, Yan Hao, Yunzhao Chen. Decarbonization of the wind power sector in China: Evolving trend and driving factors. Environmental Impact Assessment Review Volume 103, November 2023, 107292.
4. David Hopwood. Generation innovation: Part two: We continue our focus on cost reduction in wind energy, and ask some major innovators in the sector where we are heading for in the major markets. Renewable Energy Focus. Volume 12, Issue 2, March-April 2011, pp. 36-41.
5. Qiang Gao, Jennifer A. Hayward, Nataliia Sergiienko, Salman Saeed Khan, Mark Hemer, Nesimi Ertugrul, Boyin Ding. Detailed mapping of technical capacities and economics potential of offshore wind energy: A case study in South-eastern Australia. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 189, Part A January 2024.
6. A. Lebsir A. Bentounsi, M.E.H. Benbouzid, H. Mange Electric Generators Fitted to Wind Turbine Systems: An Up-to-Date Comparative Study. J. Electrical Systems 11-3 (2015): 281-295.
7. Mohanrajan, S.R., A Study of Motor – Generator Topologies for Pumped Storage Applications / S.R. Mohanrajan, S. Vamsi Krishna, L. Narayana Reddy, A. Surya Teja, B. Vishal // Conf. on Advances In Engineering And Technology – ICAET-2014. – 2014. – Pp. 627-335. DOI: 10.15224/ 978-1-63248-028-6-02-132.
8. T.A. Enany, M.A. Mostafa and E.S. Othman, "Direct Current Signal Injection Enhanced with Artificial Intelligence Technique for Asynchronous Motors Thermal Monitoring", 2018 Twentieth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON), Cairo, Egypt, 2018, pp. 828-833, doi: 10.1109/ MEPCON.2018.8635124.
9. Patents CN102487191A Motor overheating protection relay / Xi'an Huaao; Application filed 2010-12-05; Priority to 2010-12-06; Publication 2012-06-06.
10. Patents US2463935A Thermal motor protector / Mortimer W Fish, Donald F. Alexander; Application filed 1945-07-09; Priority to 1945-07-09; Publication 1949-03-08.

Разработка комбинированной системы защиты ветрогенераторных установок от аварийных режимов

[1]КАВЕРИН Владимир Викторович, *к.т.н., и.о. профессора, kaverinkz@inbox.ru,*
[2]*НУРМАГАНБЕТОВА Гулим Сахитовна, *PhD, и.о. ассоциированного профессора, g_sahitovna@mail.ru,*
[1]ЭМ Геннадий Аркадиевич, *магистр, старший преподаватель, egaapp@mail.ru,*
[1]НУРМАГАНБЕТОВА Жанара Сахитовна, *магистр, старший преподаватель, janaraaru@mail.ru,*
[3]ДЖАНИЗЕВСКИ Дариуш, *PhD, ассоциированный профессор, Dariusz.Janiszewski@put.poznan.pl,*
[1]Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
[2]Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан,
[3]Познаньский технический университет, Познань, Польша,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *В статье обоснована актуальность разработки комбинированной системы защиты ветрогенератора. Система аппаратно представляет собой трёхуровневую структуру. Нижний, первый уровень обеспечивает сбор текущей информации контролируемых параметров. Второй уровень выполняет сохранение текущей информации контролируемых параметров, вычисление средствами наблюдателей недостающих координат, генерирование предупреждающих сообщений об аварийных ситуациях оператору ветрогенератора. К третьему, верхнему уровню относится компьютер оператора. Комбинированная система защиты ветрогенераторной установки является важным элементом, который обеспечит снижение аварийных ситуаций, а также повышение надёжности и увеличение ресурса ветрогенераторной установки.*

Ключевые слова: *комбинированная система защиты, ветрогенераторная установка, аварийные ситуации, превышение температуры, скорость ветра, наблюдатель.*

Development of a Combined Protection System for Wind Generator Units Against Emergency Operating Conditions

[1]KAVERIN Vladimir, *Cand. of Tech. Sc., Acting Professor, kaverinkz@inbox.ru,*
[2]*NURMAGANBETOVA Gulim, *PhD, Acting Associate Professor, g_sahitovna@mail.ru,*
[1]EM Gennadiy, *Master's Degree, Senior Lecturer, egaapp@mail.ru,*
[1]NURMAGANBETOVA Zhanara, *Master's Degree, Senior Lecturer, janaraaru@mail.ru,*
[3]JANISZEWSKI Dariuzs, *PhD, Associate Professor, Dariusz.Janiszewski@put.poznan.pl,*
[1]Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
[2]S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Kazakhstan,
[3]Poznan University of Technology, Poznan, Poland,
**corresponding author.*

Abstract. *The article substantiates the relevance of developing a combined protection system for a wind turbine. The system is implemented as a three-level hardware structure. The lower, first level provides the collection of current data on monitored parameters. The second level is responsible for storing the current data of monitored parameters, calculating missing state variables using observer methods, and generating warning messages about emergency situations to the wind turbine operator. The third, top level corresponds to the operator's computer. The combined protection system of the wind turbine installation is a crucial element that will help reduce emergency incidents, increase reliability, and extend the service life of the wind turbine installation.*

Keywords: *combined protection system, wind power plant, emergency situations, temperature rise, wind speed, observer.*

REFERENCES

1. Piotr Bórawski, Aneta Bełdycka-Bórawska, Krzysztof Józef Jankowski, Bogdan Dubis, James W. Dunn. Development of wind energy market in the European Union. Renewable Energy. Volume 161 (December 2020) Pages 691-700.
2. Eric Williamsa, Eric Hittingerb, Rexon Carvalhoa, Ryan Williamsa. Wind power costs expected to decrease due to technological progress. Energy Policy. Energy Policy. 106 (2017) Pages 427-435.
3. Na Yang, Juhua Yang, Mingyue Pang, Pengpeng Zhang, Yuan Chang, Lixiao Zhang, Yan Hao, Yunzhao Chen. Decarbonization of the wind power sector in China: Evolving trend and driving factors. Environmental Impact Assessment Review Volume 103, November 2023, 107292.
4. David Hopwood. Generation innovation: Part two: We continue our focus on cost reduction in wind energy, and ask some major innovators in the sector where we are heading for in the major markets. Renewable Energy Focus. Volume 12, Issue 2, March-April 2011, pp. 36-41.
5. Qiang Gao, Jennifer A. Hayward, Nataliia Sergiienko, Salman Saeed Khan, Mark Hemer, Nesimi Ertugrul, Boyin Ding. Detailed mapping of technical capacities and economics potential of offshore wind energy: A case study in South-eastern Australia. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 189, Part A January 2024.
6. A. Lebsir A. Bentounsi, M.E.H. Benbouzid, H. Mange Electric Generators Fitted to Wind Turbine Systems: An Up-to-Date Comparative Study. J. Electrical Systems 11-3 (2015): 281-295.
7. Mohanrajan, S.R., A Study of Motor – Generator Topologies for Pumped Storage Applications/ S.R. Mohanrajan, S. Vamsi Krishna, L. Narayana Reddy, A. Surya Teja, B. Vishal // Conf. on Advances In Engineering And Technology – ICAET-2014. – 2014. – Pp. 627-335. DOI: 10.15224/ 978-1-63248-028-6-02-132.
8. T.A. Enany, M.A. Mostafa and E.S. Othman, "Direct Current Signal Injection Enhanced with Artificial Intelligence Technique for Asynchronous Motors Thermal Monitoring", 2018 Twentieth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON), Cairo, Egypt, 2018, pp. 828-833, doi: 10.1109/MEPCON.2018.8635124.
9. Patents CN102487191A Motor overheating protection relay / Xi'an Huaao; Application filed 2010-12-05; Priority to 2010-12-06; Publication 2012-06-06.
10. Patents US2463935A Thermal motor protector / Mortimer W Fish, Donald F. Alexander; Application filed 1945-07-09; Priority to 1945-07-09; Publication 1949-03-08.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_427 ӘОЖ 330.4:338.27:004.4:004.8

Қазақстанның макроэкономикалық деректеріне негізделген интеллектуалды талдау және болжамының ақпараттық жүйесі модулі

[1]***АДАЛБЕК Алибек,** докторант, adalbek_a@enu.kz,*
*[1]**КЕРІМҚҰЛ Сейіт Есілбайұлы,** э.ғ.д., профессор, kerimkul_sye@enu.kz,*
*[2]**ТЛЕУЖАНОВА Манатжан Ашимкуловна,** э.ғ.к., қауымдастырылған профессор, manatzhankz@gmail.com,*
*[3]**МЕКЕШ Оралбек,** магистр, аға оқытушы, obk.kshk@gmail.com,*
*[1]**ТАЖИБАЕВА Жумагуль Орашовна,** магистр, аға оқытушы, tazhibayeva_zho@enu.kz,*
[1]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,
[2]Халықаралық инженерлік-технологиялық университет, Алматы, Қазақстан,
[3]С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

***Аңдатпа.** Қазақстан Республикасының экономикалық дамуына әсер ететін факторларды дәл әрі жан–жақты талдау, қазіргі заманғы жаһандық экономикалық жүйеде шешім қабылдаудың негізіне айналып отыр. Бұл процесте шешім қабылдаушылардың субъективті пайымдары жиі орын алатындықтан, объективті және статистикаға негізделген тәсілдерді енгізу қажеттілігі туындайды. Осы зерттеуде экономика саласындағы осындай күрделі мәселелерді оңтайландыру және шешім қабылдаудағы субъективтілік деңгейін төмендету мақсатында интеллектуалды ақпараттық жүйенің (ИАЖ) бір модулі ұсынылады. Ұсынылып отырған ИАЖ модулі нақты әрі сенімді бастапқы статистикалық деректер негізінде жұмыс істейді. Нақтырақ айтқанда, жүйе Дүниежүзілік банктің 1990-2024 жылдар аралығындағы ағымдағы баға бойынша Қазақстанның жалпы ішкі өнім (ЖІӨ) көрсеткіштерін өңдей отырып, осы деректерге интеллектуалды талдау жүргізуге бағытталған. Жүйенің негізіне уақыттық қатарларды модельдеуге арналған кумулятивті орташа моделі мен сценарийлік модельдеу әдістері алынған. Кумулятивті орташа моделі (Cumulative average model) ЖІӨ өсімінің шектеулерін бағаласа, сценарийлік модельдеу экономиканың түрлі даму бағыттарын сипаттайды (минималды, баламалық және оптимистік сценарийлер). Тұрақсыздық индексі анықталып, экономикалық даму траекторияларының тәуекел деңгейі бағаланады. Барлық нәтижелер визуализация құралдары арқылы көрнекі түрде ұсынылады.*

***Кілт сөздер:** интеллектуалды ақпараттық жүйе, интеллектуалды талдау мен болжау, Қазақстанның жалпы ішкі өнімі, кумулятивті орташа модель, уақыт фазалары, сценарийлік модельдеу, экономикалық даму.*

Кіріспе

Бұл зерттеудің мақсаты – экономика саласындағы күрделі мәселелерді жүйелі түрде талдап, шешім қабылдау үрдісіндегі субъективтілік деңгейін төмендету үшін нақты статистикалық деректер мен заманауи модельдерге негізделген интеллектуалды ақпараттық жүйенің (ИАЖ) функционалды модулін жобалау және құру.

Қазіргі таңда интеллектуалды ақпараттық жүйелерді (ИАЖ) қолдану аясы күн санап кеңеюде. Бұл жүйелер әртүрлі салаларда – энергетикадан бастап, білім мен экономикалық болжамдауға дейін – тиімді шешім қабылдау процесін автоматтандыру мен оңтайландыру үшін кеңінен пайдаланылады. Осы мақалада ИАЖ-нің экономикалық бағытта қолданылу мәселелерін қарастыру мақсатында бірқатар отандық және шетелдік ғылыми еңбектерге шолу жасалды.

Мәселен, ИАЖ-ді электр энергетикасы саласында қолдану мәселесі [1] еңбекте зерттелсе, мультимодальды тасымалдау процесінде ақпараттық технологиялардың рөлі мен даму келешегі [2] жұмысында талданған. Сонымен қатар, ИАЖ-нің білім беру саласындағы қолданысы [3-4] еңбектерде сипатталған. Ал [5-6] зерттеулерде жасанды интеллект әдістерінің экономикалық болжамдардың дәлдігіне әсері, инфляцияны

болжаудағы тиімділігі, сондай-ақ, мемлекеттік саясатты қалыптастырудағы қолданбалы мүмкіндіктері қарастырылған. Бұған қоса, экономикалық интеллект процесінің кезеңдері, талдау модельдері және ақпараттық құралдарының өзара байланысы [7-8] мақаласында жан-жақты баяндалған.

Осы шолу негізінде, ИАЖ-нің экономикалық салада қолданылуындағы негізгі бағыттар мен ғылыми тәсілдер айқындалып, осы мақалада ұсынылатын жүйелік модельдер мен архитектуралық шешімдердің теориялық базасы қалыптасады.

Әдістемелік бөлім. ИАЖ құрылымы мен жалпы жүйелік архитектурасы сипатталды. Интеллектуалды ақпараттық жүйе келесі негізгі модульдерден (1-суретті қараңыз) тұрады.

1. Мәліметтерді енгізу. Қазақстан Республикасының 1990-2024 жылдар аралығындағы жалпы ішкі өнім (ЖІӨ) көрсеткіштері Дүниежүзілік банктің ресми дерекқорынан алынып, болжау және экономикалық сценарийлерді модельдеу мақсатында интеллектуалды ақпараттық жүйеге енгізіледі.

2. Алдын ала өңдеу. Масштабтау (scaling), жетіспейтін деректерді қалпына келтіру немесе жою.

3. Аналитикалық ядро. Мұнда әртүрлі математикалық модельдер (регрессиялық, логистикалық, эконометрикалық, бұлдыр логика және т.б.) арқылы алынған мәліметтер терең талданады.

4. Қолданбалы есептерді шешу модульдері. Мұнда аналитикалық ядродан алынған нәтижелерді негізге ала отырып, практикалық шешімдер шығарылады.

5. Нәтижелерді шығару мен көрнекілеу. Талдау нәтижелері визуализация құралдары (мысалы, Plotly, D3.js, Dash) арқылы көрнекі түрде ұсынылады.

6. Шешім қабылдау (Dashboard/Expert System). Алынған нәтижелер негізінде сарапшылар мен шешім қабылдаушы тұлға-



1-сурет – Интеллектуалды ақпараттық жүйенің негізгі архитектурасы

ларға ұсыныс беріледі.

Қолдануға ұсынылатын математикалық модельдер. Уақыттық қатарларды модельдеу және сценарийлік симуляцияны қолдану арқылы ЖІӨ баламасын жасау әдістемесі қарастырылды [9].

$$\bar{y}_{1989+t} = \sum_{j=1990}^{1990+t} \frac{x_j}{t^{\alpha}}, t = 1, 2, \ldots, 35,$$
$$\bar{x}_t = \sum_{j=1990}^{1989+t} x_j, t = 1, 2, \ldots, 35, \quad (1)$$

Мұндағы x_j – бақылау, $\alpha \in [0,1]$, $\bar{y}_t$ – баламаның кумулятивті орташасы, $\bar{x}_t$ – бақылаудың кумулятивті орташасы.

Осылайша, (1) қолданып $\bar{x}_t - \bar{y}_t = 0$ болатындай α табу мақсаттық есебі қойылады. Осы мән келесі алгоритмдер арқылы табылады:

Алгоритм 1: Input: x_j – бақылау деректері, $j = 1990, \ldots, 1989 + T$, $T = 35$, $\alpha = 0.1$, $\Delta\alpha = 0.01$.

1. Берілген $\alpha = 0.1$.
2. Қайталаймыз, $\alpha \in [0,1]$ аралығында:
3. Барлық $t = 1, 2, \ldots, T$ үшін:
4. $\bar{y}_{1989+t} = \sum_{j=1990}^{1990+t} \frac{x_j}{t^{\alpha}}$.
5. $\bar{x}_t = \sum_{j=1990}^{1989+t} x_j$.
6. $\Delta t = \bar{x}_t - \bar{y}_t$.
7. Егер $\max|\Delta t| \le \varepsilon$ (кіші ε мәні, мысалы 0.0001) болса, онда:
8. Оптималды α табылды $\rightarrow$ тоқтат.
9. Әйтпесе, $\alpha = \alpha + \Delta\alpha$.

Python бағдарламасының көмегімен эксперимент жасау арқылы $\alpha = 0.7432$ мәні табылды.

Алгоритмі 2: Уақыттық қатарлар негізінде балама ЖІӨ мәндері төмендегідей минимум және максимум сценарийлер арқылы бағаланды:

$$y_t^{\min} = \min(\bar{x}_t, \bar{y}_t), \ t = 1, 2, \ldots, 35,$$
$$y_t^{\max} = \max(\bar{x}_t, \bar{y}_t), \ t = 1, 2, \ldots, 35.$$

Уақыттық фазаларды автоматты түрде анықтау үшін келесі ассоциативті ереже құрылды [10]:

$$Rule_t = \begin{cases} 1, & if\ \bar{x}_t \ge \bar{y}_t \\ 0, & otherwise \end{cases}, t = 1, 2, \ldots, 35.$$

Егер $Rule_t = 1$ болса, бақылау деректері баламадан жоғары, экстенсивті өсу фазасы. Егер $Rule_t = 0$ болса, баламадан төмен, потенциалдық кему фазасы.

Бұл жүйеде уақыттық қатарларды өңдеуге және болжауға бағытталған бірнеше математикалық модельдер кешені қолданылған:

– кумулятивті орташа моделі – бұл модель экономикалық даму қисығын сипаттайды, яғни балама стратегия анықталды.

– Минималды, балама, максималды сценарийлері арқылы болжам траекториясы табылып визуализацияланды.

– Алынған нәтижелер веб интерфейс арқылы қолданушыға ұсынылды.

Нәтижелер. Болжау және экономикалық сценарийлерді модельдеу мақсатында Дүниежүзілік банктің ресми дерекқорынан алынған бастапқы мәліметтер жинақталды (1-кестені қараңыз).

Кумулятивті орташа моделі және *Алгоритм 1, Алгоритмі 2* арқылы бастапқы мәліметтердің экономикалық даму қисығы сипатталды, яғни балама стратегия мен минималды, балама, максималды сценарийлері табылды (2-кестені қараңыз).

Осылайша, алынған нәтижелер визуализация жасалып талқыланды (2-сурет).

1-кесте – Дүниежүзілік банктің ағымдағы баға бойынша ЖІӨ-нің бастапқы деректер статистикасы, АҚШ доллары, 1990-2024 жж.

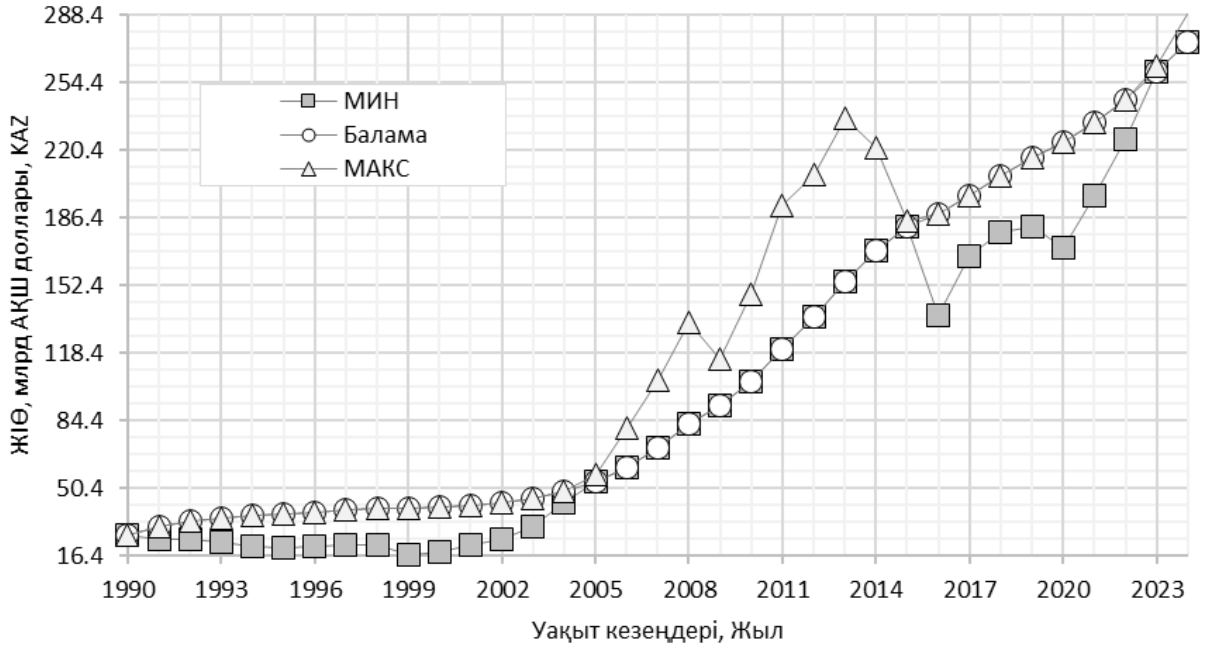
I	II	I	II	I	II	I	II
1990	26.9	1999	16.9	2008	133.4	2017	166.8
1991	24.9	2000	18.3	2009	115.3	2018	179.3
1992	24.9	2001	22.2	2010	148.0	2019	181.7
1993	23.4	2002	24.6	2011	192.6	2020	171.1
1994	21.3	2003	30.8	2012	208.0	2021	197.1
1995	20.4	2004	43.2	2013	236.6	2022	225.5
1996	21.0	2005	57.1	2014	221.4	2023	262.6
1997	22.2	2006	81.0	2015	184.4	2024	288.4
1998	22.1	2007	104.8	2016	137.3		

Ескерту: I – жыл, II – бақылау.

2-кесте – ЖІӨ-нің альтернативті стратегиясы, млрд АҚШ доллары, 1990-2024 жж.

I	II	III	IV	I	II	III	IV
1990	26.9	26.9	26.9	2008	82.6	82.6	133.4
1991	31.0	24.9	31.0	2009	91.9	91.9	115.3
1992	33.9	24.9	33.9	2010	104.0	104.0	148.0
1993	35.7	23.4	35.7	2011	119.7	119.7	192.6
1994	36.6	21.3	36.6	2012	136.0	136.0	208.0
1995	37.4	20.4	37.4	2013	153.9	153.9	236.6
1996	38.3	21.0	38.3	2014	169.5	169.5	221.4
1997	39.3	22.2	39.3	2015	180.9	180.9	184.4
1998	40.4	22.1	40.4	2016	187.7	137.3	187.7
1999	40.3	16.9	40.3	2017	196.7	166.8	196.7
2000	40.7	18.3	40.7	2018	206.2	179.3	206.2
2001	41.6	22.2	41.6	2019	215.5	181.7	215.5
2002	42.8	24.6	42.8	2020	223.6	171.1	223.6
2003	44.9	30.8	44.9	2021	233.3	197.1	233.3
2004	48.4	43.2	48.4	2022	244.7	225.5	244.7
2005	53.3	53.3	57.1	2023	258.4	258.4	262.6
2006	60.8	60.8	81.0	2024	274.5	274.5	288.4
2007	70.5	70.5	104.8				

Ескерту: I – жыл, II – балама, III – минимум сценарий, IV – максимум сценарий.



2-сурет – Қазақстан Республикасының жалпы ішкі өнімінің (ЖІӨ) ағымдағы баға бойынша динамикасы, 1990-2024 жж. (АҚШ долларымен, Дүниежүзілік банктің деректері бойынша)

Сонымен, ИАЖ көмегімен және ассоциативті ережелерді қолданып, келесі уақыт фазалары анықталды:

1. *1990-2000 жж.: Трансформациялық дағдарыс және төмен өсу.* 1990-2000 жылдар аралығында Қазақстан экономикасы теріс өсу қарқыны мен төмен ЖІӨ деңгейін бастан кешірді. Бұл кезеңде минимум сценарийі мен нақты деректер шамалас болған. Нарықтық экономикаға көшу, өндірістің құлдырауы және инвестициялық тоқырау ЖІӨ көлемін ұзақ уақыт бойы 16,4-47,2 млрд АҚШ доллары аралығында ұстап тұрды.

2. *2001-2007 жж.: Шикізаттық серпіліс пен экспоненциалды өсу.* 2000-жылдардың басынан бастап мұнай бағасының өсуі мен шетелдік инвестициялар экономикалық өсуді жеделдетті. Бұл кезеңде балама сценарий нақты көрсеткіштерге сәйкес келіп, ал максимум сценарийі бойынша елдің әлеуеті одан да жоғары болар еді деген болжам ұсынылды. ЖІӨ 47,2-ден 139,6 млрд долларға дейін өсті.

3. *2008-2009 жж.: Әлемдік қаржы дағдарысы.* Глобалдық қаржы дағдарысы 2008-2009 жылдары ЖІӨ өсу қарқынының тежелуіне әкелді. МИН(С;Е) сценарийі төменгі шекті көрсетсе де, нақты деректер орта деңгейде сақталды. Бұл Қазақстан үкіметінің дағдарысқа қарсы шараларының салыстырмалы түрде тиімділігін көрсетеді.

4. *2010-2019 жж.: Тұрақты даму мен институционалдық өзгерістер.* Бұл кезең ЖІӨ-нің орташа және жоғары өсу қарқынымен сипатталады. 2013 жылы максимум сценарий траекториясы мен нақты көрсеткіш арасындағы айырма айтарлықтай болды, бұл ішкі институционалдық реформалар мен сыртқы сауда қатынастарының әсерін көрсетті.

5. *2020-2024 жж.: COVID-19 пандемиясы және кейінгі қалпына келу.* Пандемия кезіндегі жаһандық шектеулер мен мұнай бағасының құбылмалылығы ЖІӨ-ге қысым түсірді. 2020 жылы нақты көрсеткіш төменгі шекке (минимум сценарий) жақындады. Алайда, 2021 жылдан бастап қалпына келу үрдісі байқалып, 2024 жылы ЖІӨ шамамен 288,4 млрд доллар қамтыды.

Талқылау. Ұсынылған сценарийлер арқылы Қазақстанның ЖІӨ өсімі көпфакторлы, ішкі және сыртқы конъюнктураға тәуелді екенін көруге болады. Экономикалық циклдар (өсу, дағдарыс, қалпына келу) нақты көрсеткіштер мен сценарийлік модельдер арасындағы алшақтықтарды анықтайды:

– Минималды сценарий – құрылымдық реформаларсыз, тек табиғи ресурстарға тәуелді жағдайды көрсетеді;

– Максималды сценарий – инновация, индустриялық әртараптандыру және адами капиталға инвестиция артқан жағдайда мүмкін болатын нәтижені көрсетеді;

ИАЖ ерекшеліктері мен артықшылықтары. Ашық деректерге негізделген: Дүниежүзілік банк мәліметтерін автоматты түрде жаңарту мүмкіндігі бар. Пайдаланушыға ыңғайлы визуалды интерфейс: веб-интерфейс арқылы шешім қабылдаушы тұлғалар, сарапшылар модель нәтижелерін көре алады. Интеллектуалды логика: классикалық модельдермен қатар бұлдыр логика мен сценарийлік симуляцияны қолдану арқылы шешім қабылдаудың сапасы артады. Келешек зерттеулерде бұлдыр логикаға басым көңіл бөлінеді. Ұлғайтылмалы құрылым: жүйеге басқа макроэкономикалық көрсеткіштер (инфляция, инвестиция, экспорт, жұмысбастылық) оңай қосылады.

Қорытынды. Ұсынылып отырған интеллектуалды ақпараттық жүйе Қазақстанның ЖІӨ-сін талдау, болжау және макроэкономикалық саясатты оңтайландыру мақсатында құрастырылған. Жүйе нақты статистикалық деректерге, көпмодельдік болжау әдістеріне және визуалды шешім қабылдау құралдарына негізделіп, елдің ұзақ мерзімді экономикалық даму стратегияларын объективті бағалауға мүмкіндік береді.

Бұл ИАЖ тек академиялық зерттеулермен шектелмей, сонымен қатар, цифрлық экономикалық мониторинг пен аналитикалық басқарудың нақты құралдарының бірі ретінде қолданыла алады. Экономика саласында шешім қабылдау үдерісіндегі субъективтілік деңгейін төмендету мақсатында, жүйе деректерге негізделген интеллектуалды талдау жүргізе отырып, сарапшылар мен шешім қабылдаушылардың жұмыс жүктемесін азайтады және тиімді шешімдер қабылдауға жағдай жасайды. Сонымен қатар, жасанды интеллектінің бір элементі ретінде қолдануға болады.

Алғыс білдіру

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасының Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті тарапынан қаржыландырылды (Грант № AP26196337).

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Толегенова Г.Б., Закирова А.Б., Ахаева Ж.Б., Бердымуратов Д.Б., Сыздыков А.Е. Машиналық оқытуға негізделген интеллектуалды электр жүйелері. // Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ Хабаршысы. Техникалық ғылымдар және технологиялар сериясы, 141 (4). – Астана, 2022. – Б. 30-37.
2. Арпабеков М. И., Ахметбеков Е. К., және Арпабек А. М. Мультимодальдық тасымалдарда ақпараттық технологияларды қолдану және басқару // Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения: IX Международная научно-практическая конференция. – Нур-Султан, 19 марта 2021 года – Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева.: Б. и., 2021. – С. 128-134. – EDN MYDLZF.
3. Даркенбаев Д.К., Жакшиликова Г.Ж., & Мекебаев Н.О. Білім беруге арналған ақпараттық жүйе әзірлеу // Вестник КазУТБ, 2024, 4 (25).
4. Халикова К.З., Сейсенбекова П.Б. Оқушылардың ақпараттық-интеллектуалдық құзыреттілігін қалыптастыруға болашақ информатика мұғалімдерін даярлау мәселелері. Абай атындағы ҚазҰПУ хабаршысы. физика-математика ғылымдары сериясы, 85 (1). – Б. 305-319.
5. Channe P.S. The Impact of AI on Economic Forecasting and Policy-Making: Opportunities and Challenges for Future Economic Stability and Growth. – 2024, York University.
6. Das P.K., & Das P.K. Artificial Intelligence and Inflation Forecasting: A Contemporary Perspective // – South Asian Journal of Macroeconomics and Public Finance, 14 (1). – 2025. – Pp. 133-164.
7. Briciu S., Vrîncianu M., & Mihai F. Towards a new approach of the economic intelligence process: Basic concepts, analysis methods and informational tools // – Theoretical and Applied Economics 4 (4), – 2009. – 21 p.
8. Chen, J. Construction and application of an economic intelligent decision-making platform based on artificial intelligence technology. Informatica, 48 (9). – 2024.
9. Tleubayev A., Kerimkhulle S., Tleuzhanova M., Uchkampirova A., Bulakbay Z., Mugauina R., ... & Toleubay D. Econometric analysis of the sustainability and development of an alternative strategy to gross value added in Kazakhstan's agricultural sector. Econometrics, 12(4), 29. – 2024.
10. Паклин Н.Б., & Орешков В.И. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям. – СПб.: Питер, 2009. – 624 с.

Модуль информационной системы интеллектуального анализа и прогнозирования на основе макроэкономических данных Казахстана

[1]*АДАЛБЕК Алибек, *докторант, adalbek_a@enu.kz,*
[1]КЕРИМКУЛОВ Сеит Есилбаевич, *д.э.н., профессор, kerimkul_sye@enu.kz,*
[2]ТЛЕУЖАНОВА Манатжан Ашимкуловна, *к.э.н., ассоциированный профессор, manatzhankz@gmail.com,*
[3]МЕКЕШ Оралбек, *магистр, старший преподаватель, obk.kshk@gmail.com,*
[1]ТАЖИБАЕВА Жумагуль Орашовна, *магистр, старший преподаватель, tazhibayeva_zho@enu.kz,*
[1]Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,
[2]Международный инженерно-технологический университет, Алматы, Казахстан,
[3]Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Точный и всесторонний анализ факторов, влияющих на экономическое развитие Республики Казахстан, становится основой принятия решений в современной глобальной экономической системе. Поскольку в этом процессе часто имеют место субъективные суждения лиц, принимающих решения, возникает необходимость внедрения объективных и статистически обоснованных подходов. В данном исследовании предлагается модуль интеллектуальной информационной системы (ИИС) для оптимизации решения таких сложных вопросов в области экономики и снижения уровня субъективности*

при принятии решений. Предлагаемый модуль ИИС функционирует на основе точных и достоверных первичных статистических данных. В частности, система предназначена для обработки показателей Всемирного банка по валовому внутреннему продукту (ВВП) Казахстана в текущих ценах за период 1990-2024 годов и проведения интеллектуального анализа этих данных. Система основана на методах моделирования временных рядов: модели кумулятивного среднего и сценарного моделирования. Модель кумулятивного среднего оценивает пределы роста ВВП, а сценарное моделирование описывает различные направления экономического развития (минимальный, альтернативный и оптимистичный сценарии). Определен индекс нестабильности и оценена степень риска траекторий экономического развития. Все результаты представлены наглядно с использованием средств визуализации.

Ключевые слова: *интеллектуальная информационная система, интеллектуальный анализ и прогнозирование, валовой внутренний продукт Казахстана, кумулятивная средняя модель, временные фазы, сценарное моделирование, экономическое развитие.*

Module of the Information System for Intelligent Analysis and Forecasting Based on Macroeconomic Data of Kazakhstan

[1]*ADALBEK Alibek, *Doctoral Student, adalbek_a@enu.kz,*
[1]KERIMKHULLE Seyit, *Dr. of Econ. Sc., Professor, kerimkul_sye@enu.kz,*
[2]TLEUZHANOVA Manatzhan, *Cand. of Econ. Sc., Associate Professor, manatzhankz@gmail.com,*
[3]MEKESH Oralbek, *Master's Degree, Senior Lecturer, obk.kshk@gmail.com,*
[1]TAZHIBAYEVA Zhumagul, *Master's Degree, Senior Lecturer, tazhibayeva_zho@enu.kz,*
[1]L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
[2]International Engineering and Technological University, Almaty, Kazakhstan,
[3]S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *Accurate and comprehensive analysis of factors influencing the economic development of the Republic of Kazakhstan becomes the basis for decision-making in the modern global economic system. Since this process often involves subjective judgments of decision makers, there is a need to implement objective and statistically sound approaches. This study proposes an intelligent information system (IIS) module to optimize the solution of such complex issues in the field of economics and reduce the level of subjectivity in decision-making. The proposed IIS module operates on the basis of accurate and reliable primary statistical data. In particular, the system is designed to process the World Bank indicators on the gross domestic product (GDP) of Kazakhstan at current prices for the period 1990-2024 and conduct intelligent analysis of these data. The system is based on time series modeling methods: the cumulative average model and scenario modeling. The cumulative average model estimates the limits of GDP growth, and scenario modeling describes various directions of economic development (minimum, alternative and optimistic scenarios). The instability index was determined and the risk level of economic development trajectories was assessed. All results are presented visually using visualization tools.*

Keywords: *intelligent information system, intelligent analysis and forecasting, gross domestic product of Kazakhstan, cumulative average model, time phases, scenario modeling, economic development.*

REFERENCES

1. Tulegenova G.B., Zakirova A.B., Akhaeva Zh.B., Berdymuratov D.B., Syzdykov A.E. Mashinalyq oqytuga negizdelgen intellektualdy elekr zhuyeleri. L.N. Gumilev at. ENU Khabarshysy. Tekhnikalyk gylymdar zhane tekhnologiyalar seriyasy, 141 (4). Astana, 2022, pp. 30-37.
2. Arpabekov M.I., Akhmetbekov E.K., & Arpabek A.M. Mul'timodal'dyq tasymaldarda aqparattyq tekhnologiyalardy qoldanu zhane basqaru. Aktual'nye problemy transporta i jenergetiki: puti ih innovacionnogo reshenija: IX Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija. – Nur-Sultan, 19 marta 2021 goda – Evrazijskij nacional'nyj universitet im. L.N. Gumileva.: B. i., 2021. – Pp. 128-134. – EDN MYDLZF.
3. Darkenbaev D.K., Zhakshilikova G.Zh., & Mekebaev N.O. Bilim beruge arnalgan aqparattyq zhuye azirleu // Vestnik KazUTB, 2024, 4 (25).
4. Khalikova K.Z., Seisenbekova P.B. Oqushylardyn aqparattyq-intellektualdyq quzyrettiligin qalyptastyruga bolashaq informatika mugalimderin dayarlau maseleleri. Abai atyndagy KazUPU Khabarshysy. Fizika-matematika gylymdary seriyasy, 85 (1), pp. 305-319.
5. Channe P.S. The Impact of AI on Economic Forecasting and Policy-Making: Opportunities and Challenges for Future Economic Stability and Growth. York University, 2024.
6. Das P.K., & Das P.K. Artificial Intelligence and Inflation Forecasting: A Contemporary Perspective. South Asian Journal of Macroeconomics and Public Finance, 14 (1), 2025, pp. 133-164.
7. Briciu S., Vrîncianu M., & Mihai F. Towards a new approach of the economic intelligence process: Basic concepts, analysis methods and informational tools. Theoretical and Applied Economics, 4 (4), 2009, 21 p.
8. Chen J. Construction and application of an economic intelligent decision-making platform based on artificial intelligence technology. Informatica, 48 (9), 2024.
9. Tleubayev A., Kerimkhulle S., Tleuzhanova M., Uchkampirova A., Bulakbay Z., Mugauina R., … & Toleubay D. Econometric analysis of the sustainability and development of an alternative strategy to gross value added in Kazakhstan's agricultural sector. Econometrics, 12 (4), 29, 2024.
10. Paklin N.B., & Oreshkov V.I. Biznes-analitika: ot dannykh k znaniyam St. Petersburg: Publ. Piter, 2009. 624 p.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_435 ӘОЖ 621.313.2

Барабанды ұшқыр қайшының реверсивті тиристорлық тұрақты ток электр жетегін математикалық модельдеу

[1]*БАТЫРБЕК Әлібек Есімбекұлы, докторант, a.batyrbek@tttu.edu.kz,
[1]СИВЯКОВА Галина Александровна, т.ғ.к., доцент, g.sivyakova@tttu.edu.kz,
[2]СМАГУЛОВА Каршига Канатовна, PhD, доцент, k.k.smagulova@ktu.edu.kz,
[2]СМАЙЛ Арайлым Асылханқызы, докторант, arailym1997s@gmail.com,
[1]Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан,
[2]Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Металл илемдеуде қолданылатын барабанды қайшылардың көп массалы механикалық бөлігін математикалық модельдеу қарастырылады. Зерттеудің мақсаты-жүйенің динамикалық сипаттамаларын талдауға және оның параметрлерін оңтайландыруға мүмкіндік беретін барабанды қайшылардың көп массалы механикалық бөлігінің математикалық моделін жасау. Үздіксіз кең жолақты орнағының барабанды қайшылары үшін механикалық байланыстардағы серпімділікпен демпферді ескеретін алты массалық математикалық моделі әзірленді. Металл жолақты кесу кезінде пайда болатын соққы жүктемелерін қалыптастыру моделі ұсынылды, сонымен қатар, кернеу, ток және жылдамдық бойынша ПИД-реттегіштері бар бағынышты реттеудің көп тізбекті жүйесін қамтитын тиристорлы түрлендіргіші бар тұрақты токтың екі қозғалтқышты реверсивті электр жетегінің моделі ұсынылды. Дифференциалдық теңдеулер жүйесінің шешімі MATLAB/Simulink бағдарламасында орындалды және модельдің сәйкестігі эксперименттік деректерді салыстырумен расталды. Алынған нәтижелер серпімді байланыстардың жоғарғы және төменгі барабандардың қозғалысына әсерін бағалауға, сондай-ақ, механикалық бөліктегі динамикалық жүктемелердің мөлшерін анықтауға мүмкіндік береді. Бұл зерттеу қаңылтырды қақтау өндірісін автоматтандыру және электр механикалық жүйелерді жобалау саласындағы мамандар үшін пайдалы болуы мүмкін.

Кілт сөздер: модельдеу, көп массалы жүйе, электр механикалық жүйе, электр жетегі, ыстық илектеу орнағы, серпімді байланыстар, барабанды ұшқыр қайшылар, автоматтандыру.

Кіріспе. 1700 үздіксіз кең жолақты ыстық илемдеу орнағы (ҮКЖО-1700) «Qarmet» АҚ №1 қаңылтыр қақтау цехының негізгі жабдығы болып табылады. Ол ыстықтай илектеген жолақтарды өндіруге және оларды орамдарға орауға арналған. ҮКЖО-1700 он екі жұмыс клетінен, екі қақ жарғышы және бірқатар қосалқы механизмдерден тұрады. Бұл ағындық желілердегі өте жауапты агрегат-металды кесуге арналған қайшы [1].

Қайшылар металл жоғары жылдамдықпен қозғалған кезде кесуге арналған. Көптеген жағдайларда бұл қайшылардың өнімділігі жайма орнағының өнімділігін анықтайды [2].

Ғылыми зерттеулерде [3-7] инерцияны, демпферді және біліктердің серпімді деформациясын ескере отырып, жүйелерді сипаттайтын бір, екі және үш массалы модельдер жиі кездеседі. Алайда, күрделі өндірістік қондырғыларда, мысалы, барабанды қайшылар көп массалы модельдерді (төрт, бес массалы және одан жоғары) әзірлеу қажеттілігін тудыратын динамиканың егжей-тегжейлі көрінісін қажет етеді. Жұмыстың мақсаты-серпімді байланыстары бар баламалы алты массалық жүйе түрінде олардың механикалық бөлігінің математикалық моделін жасау арқылы барабан қайшыларының пышақтарының қозғалыс динамикасын есептеу дәлдігін арттыру.

Мақсатқа жету үшін келесі міндеттер шешілді:

- барабанды қайшының кесу күшін анықтау;
- тұрақты токтың реверсивті тиристорлық

электр жетегінің моделін жасау;

- эксперименттік деректерді математикалық өңдеу;

- эксперименттік деректермен салыстыру арқылы модельдің сәйкестігін бағалау, зерттеу нәтижелерін талқылау.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Барабанды қайшының механикалық бөлігін математикалық модельдеуде ең маңызды параметр қайшының кесу күшін анықтау. Бірінші суретте металдың серпімді деформациясын жүзеге асырған кезде барабан мен кесілген жолақтың өзара орналасу сызбасы көрсетілген.

1-ші суретте келесі белгілер қабылданды:

h – металл жолағының биіктігінің жартысы;

2h – жолақтың толық биіктігі екі барабанмен өңделеді, м;

R_{drum}, R_0 – барабанның және кесу жиегінің радиусы (пышақтың шығыңқы бөлігін ескере отырып), м;

ϕ – барабанның ағымдағы орнын сипаттайтын бұрыш, рад;

X, Y – барабанның қозғалысын қарастыратын координаттар жүйесінің осьтері;

O – айналу бұрышындағы кесу жиегінің орны, ϕ;

b – сыну аймағының биіктігі;

F_{CUT}, $F_{CUT\tau}$ кесу күші және бұл күштің барабан бетіне жанасатын O нүктесіндегі проекциясы.

Металды кесу кезінде сыну аймағы 1-ші суретте сұр түсті аймақ ретінде бейнеленген. Кесу күшін және осы күшпен жасалған қарсылық моментін есептеу үшін келесі өрнектерді жазамыз:

$$F_{CUT} = \frac{b \cdot t \cdot \tau_{shift}}{\cos\left(\frac{\pi}{2} - \phi\right)},$$

$$T_{CUT} = F_{CUT} \cdot R_0 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \phi\right).$$

Жоғарыда келтірілген өрнектерді қолдана отырып, ыстық илектеу орнағының жағдайлары үшін барабанды қайшылардың қарсылық моментінің тәуелділігін есептейміз. Алынған нәтижелер 2-ші суретте көрсетілген.

Тұрақты токтың реверсивті тиристорлық электр жетегін математикалық модельдеу. Тәуелсіз қозуы бар тұрақты ток қозғалтқышын модельдеу кезінде келесі жалпы қабылданған болжамдар қолданылады:

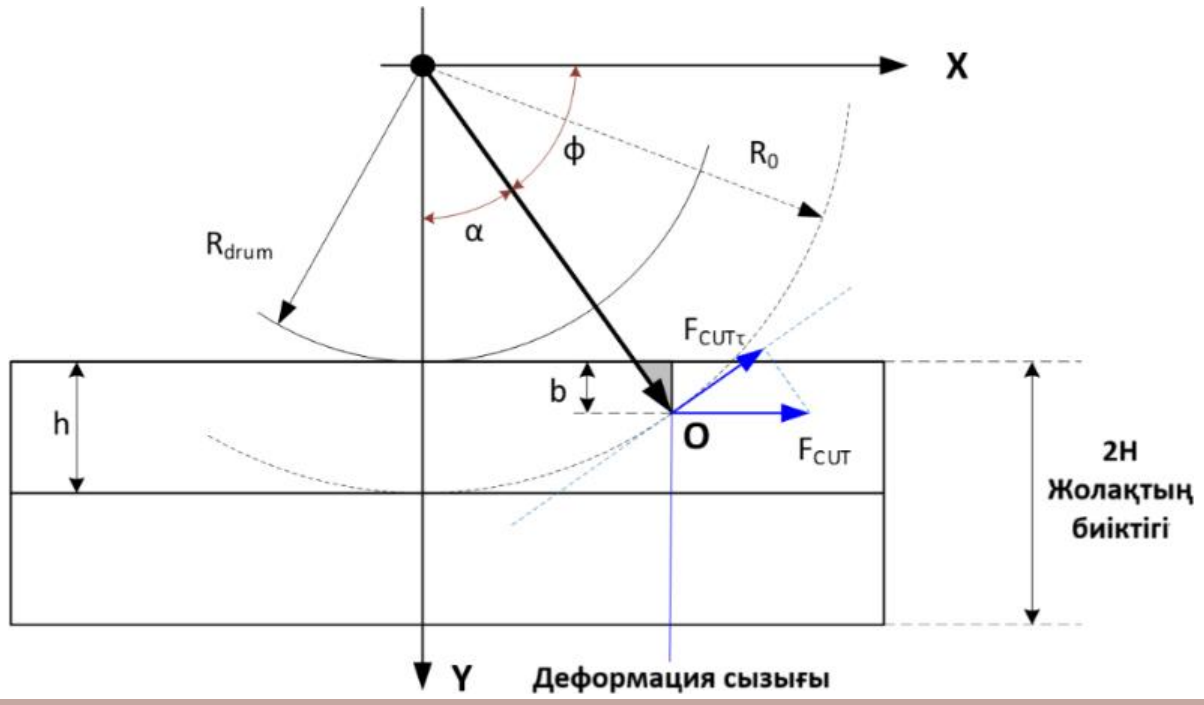
1) қозу тогы тұрақты мәнге ие;

2) құйынды токтар тізбегінің әсері ескерілмейді;

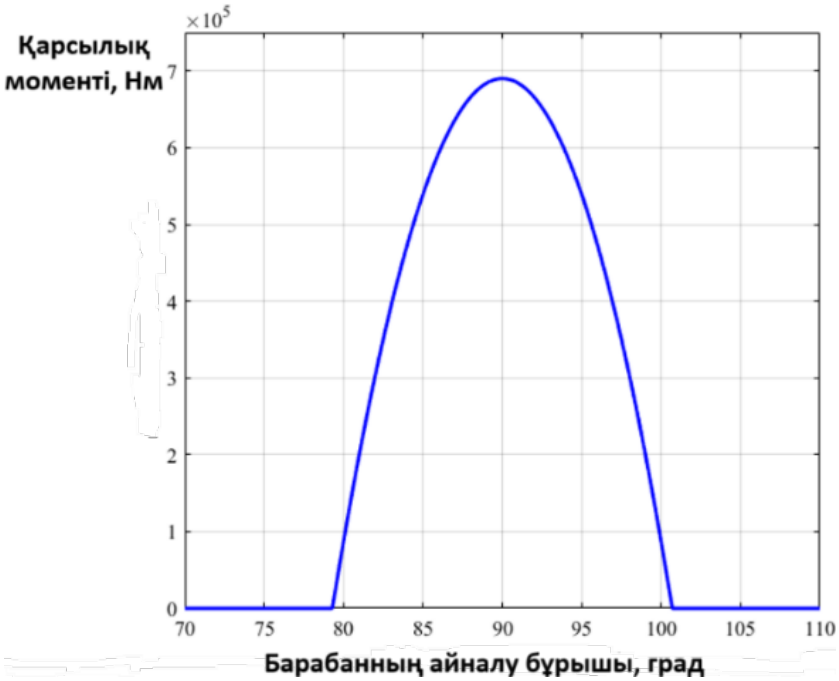
3) машина толығымен өтеледі, яғни зәкір реакциясының әсері жоқ.

Канондық түрдегі тұрақты ток қозғалтқышының теңдеулер жүйесі келесі түрге ие [8, 9]:

$$\begin{cases} L_\Sigma \frac{dI_A}{dt} = U_A - k\phi \cdot \omega - I_A R_\Sigma \\ j\frac{d\omega}{dt} = k\phi \cdot I_A - TL \end{cases}$$



1-сурет – Барабанды қайшылар үшін күш пен қарсылық моменттерін есептеу схемасы



2-сурет – Барабанның айналу бұрышына қарсылық моментінің есептелген тәуелділігінің мысалы

мұндағы $L_Σ$ – зәкір тізбегінің жалпы индуктивтілігі, Гн;

$R_Σ$ – зәкір тізбегінің жалпы белсенді кедергісі, Ом;

U_A – зәкір кернеуі, В;

I_A – зәкір тогы, А;

ω – зәкірдің бұрыштық жылдамдығы 1/с;

J – зәкірдің инерция моменті, кг·м^2;

kФ – қозғалтқыш ағынының коэффициенті;

В·с; T_L – электр жетегінің кедергі моменті, Н·м.

Сондай-ақ, жұмыста орташа мәндер бойынша модельдеуді қолдана отырып, реттелетін тиристорлық түрлендіргіштің дискреттілігін ескермейміз.

Барабанды қайшылардың электр жетегінің жылдамдығын реттеу жүйесі ретінде электр жетегінің оңтайлы энергетикалық, массалық және экономикалық көрсеткіштерін сақтай отырып, жылдамдықты реттеудің кең ауқымын қамтамасыз ету үшін көп тізбекті реттеу жүйесі қолданылады [10].

Барабанды қайшылардың электр механикалық жүйесін математикалық модельдеу. Үшінші суретте MATLAB/Simulink бағдарламасында механикалық бөлігі алты массалық және тұрақты ток тиристорлық электр жетегі бар барабанды қайшылардың электр механикалық жүйесінің математикалық моделін енгізу көрсетілген.

MATLAB/Simulink кітапханасынан төрт квадрантты үш фазалы реверсивті электр жетек блогы көп тізбекті бағынышты реттеу жүйесі бар тұрақты ток электр жетегінің негізгі моделі ретінде пайдаланылды.

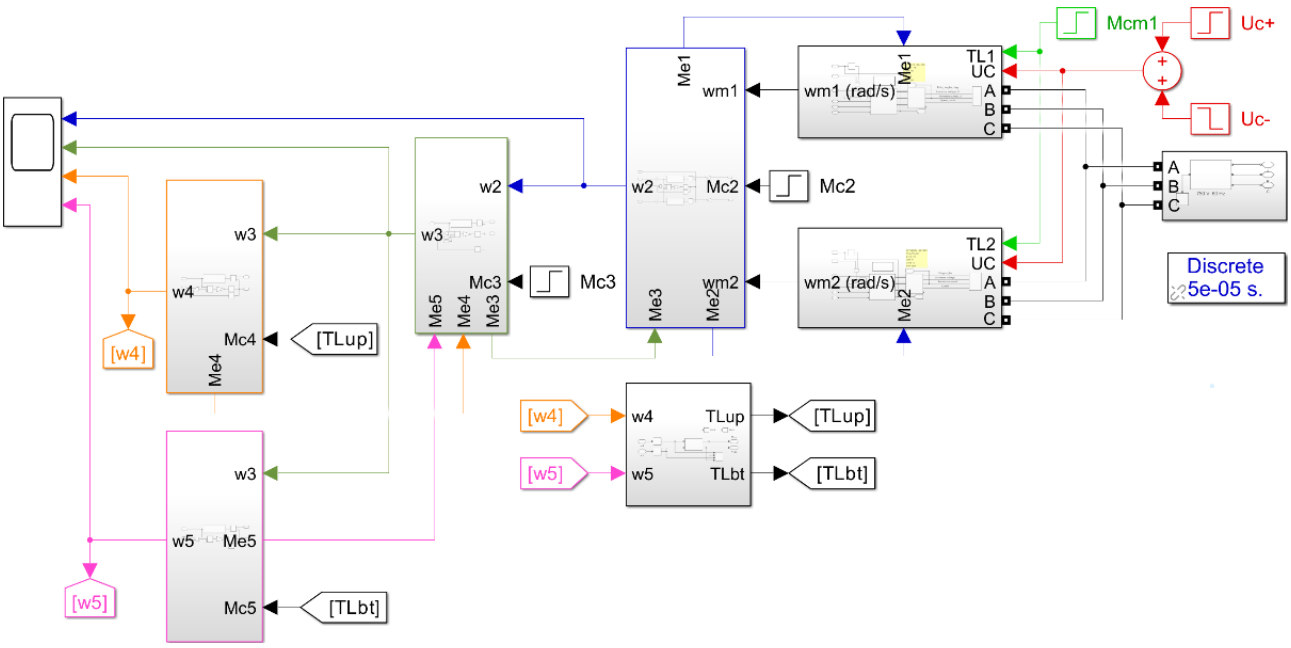
Реттегіштерді реттеу ток тізбегінің модульдік оптимумға, ал жылдамдық тізбегінің симметриялы оптимумға сәйкестігін қамтамасыз етеді.

Қайшы қозғалтқыштарының электр жетектерінің ерекшеліктерін ескере отырып, бұл модель ток пен жылдамдық тізбектерінен басқа, тиристорлық түрлендіргіштің кернеуін реттеудің үшінші ішкі тізбегімен толықтырылған.

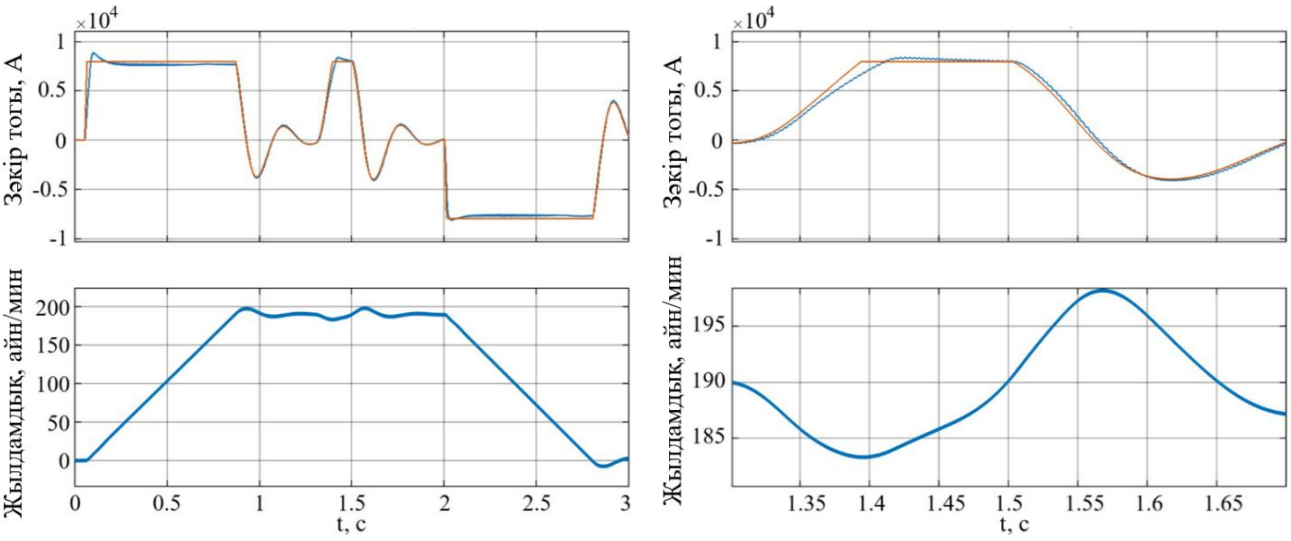
Мұндай реттегіштің үзіліссіз ток режимінде тиристорлық түрлендіргіштің эквивалентті күшейту коэффициентін тұрақтандыруды қамтамасыз етеді және ток тізбегінің тербелісін одан әрі төмендетеді.

Реттелген электр жетектерінің және барабан қайшыларының серпімді, көп массалы механикалық бөлігінің өзара әрекеттесуі кесу процесінде жылдамдықтың айтарлықтай өзгеруіне әкеледі (182...199 айн/мин диапазонында, $Δω_1$ = 17 айн/мин бұрыштық жылдамдықтың тербеліс ауқымы). Бұл жылдамдықты реттегішті толығымен қанағаттандырады және осы процестің көп бөлігі үшін максималды рұқсат етілген токпен электр жетектерінің жұмысына, сондай-ақ, тербеліс процесінің 1 секундқа созылуына әкеледі, бұл кесу процесінің ұзақтығынан 5 есе көп (4-ші сурет).

Барабанды қайшының көп массалы меха-



3-сурет – MATLAB/Simulink бағдарламасындағы барабанды қайшылардың электр механикалық жүйесінің моделі



а) б)

4-сурет – Барабанды қайшының жұмыс циклiндегі ток пен жылдамдықтың өтпелі графиктері (а), кесу үрдісінің үлкейтілген бөлігі (б)

никалық жүйесінің математикалық моделінің сәйкестігі эксперименттің зерттеулердің нәтижелерімен расталады. Бесінші суретте жайма орнағының тіркеу құралдарымен алынған барабан қайшыларының бұрыштық жылдамдығының графигі көрсетілген.

Жайма орнағының диспетчерлік жүйесінің мақсаты – зерттеу жұмысы үшін дәл өлшеу емес, жабдықтың жұмысын бағалау. 4-ші және 5-ші суреттерде көрсетілген графиктер процестердің абсолютті мәні мен сипатына жеткілікті жақын деп айтуға болады, ал әзірленген модель барабанды қайшылардың электр жетегін дәл сипаттайды.

Нәтижелер және оларды талқылау

Жұмыста металл жолақты кесу кезінде пайда болатын соққы жүктемелерін қалыптастырудың жеңілдетілген моделі ұсынылған.



5-сурет – Барабанды қайшы механизмінде тіркелген өтпелі кезең. Ақпарат «Qarmet» АҚ №1 қаңылтырды қақтау цехында эксперименттік зерттеулер арқылы алынған

Сондай-ақ, әзірленген модельге кернеу, ток және жылдамдық бойынша ПИД-реттегіштері, көп тізбекті бағынышты басқару жүйесі және тиристорлық түрлендіргіші бар екі қозғалтқышты реверсивті тұрақты ток жетегінің моделі кіреді.

Барабанды қайшының әзірленген моделінің сәйкестігін бағалау үшін модельдеу нәтижелерін, барабан қайшысының жұмысын басқару жүйесінен алынған эксперименттік деректермен салыстыру арқылы жүзеге асырылды. Нәтижелер барабанды қайшының электр жетегінің математикалық моделінің сәйкестігін растайды.

Металл жолағын кесу процесінде жылдамдық тербелісінің ауқымы $\Delta\omega 1 = 17$ айн/мин екендігі анықталды. Бұл жылдамдықты реттегіштің дұрыс жұмыс жасауына және осы процестің көп бөлігі үшін максималды рұқсат етілген токпен электр жетектерінің жұмысына, сондай-ақ тербеліс процесінің 1 секундқа созылуына әкеледі, бұл кесу процесінің ұзақтығынан 5 есе көп.

Әрі қарайғы зерттеулердің бағыты металл жолақты кесу үрдісінде динамикалық өнімділікті арттыру мақсатында барабан қайшыларының электр жетегін басқару жүйесін жетілдіру болуы мүмкін.

Қорытынды

1700 үздіксіз кең жолақты орнағының барабанды қайшыларының алты массалық механикалық бөлігінің серпімді байланыстар мен ішкі тұтқыр үйкелістің әсерін ескеретін математикалық моделі әзірленді.

Жұмыста металл жолақты кесу кезінде пайда болатын соққы жүктемелерін қалыптастыру моделі ұсынылған. Әзірленген математикалық модель кернеу, ток және жылдамдық бойынша ПИД-реттегіштері бар көп тізбекті бағынышты басқару жүйесін қамтитын тиристорлық түрлендіргіші бар екі қозғалтқышты реверсивті тұрақты ток электр жетегінің моделін қамтиды.

Бұл модельдің теңдеулерін шешу MATLAB/Simulink көмегімен жүзеге асырылды. Әзірленген модельдің сәйкестігін бағалау эксперименттік зерттеулердің нәтижелерімен салыстыру негізінде жүзеге асырылды.

Алынған нәтижелер қайшының механикалық бөлігіндегі серпімді байланыстардың жоғарғы және төменгі барабандарының қозғалысына әсерін нақтылауға, механикалық бөліктегі динамикалық жүктемелердің мөлшерін бағалауға мүмкіндік берді.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Ыстықтай илектелген өнім. – [Электрондық ресурс]. – URL: https://sales.qarmet.kz/produce/hotrolled?lang=kk_KZ. (Жүгінген күні 06.10.2025).
2. Батырбек Ә.Е., Левченко И.В., Сивякова Г.А. Сравнительная характеристика конструкции летучих ножниц, применяемых на станах горячей прокатки // Сборник трудов LV республиканской научно-практической конференции «Роль науки в повышении престижа инженерного труда». – Темиртау: КарИУ, 2025. – С. 263-268.
3. Nazarova O. Computer Modeling of Multi-Mass Electromechanical Systems // Computer Modeling and Intelligent Systems. – 2020. – 2608. DOI: 10.32782/cmis/2608-36.
4. Kaniuk G., Vasylets T., Varfolomiyev O., Mezeria A., Antonenko N. Development of neural-network and fuzzy models of multimass electromechanical systems // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. – № 3/2 (99). – pp. 51-63. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.169080.
5. Tolcha M., Altenbach H. Numerical Modeling Rolling Contact Problem and Elasticity Deformation of Rolling Die under Hot Milling // Metals. – 2019. – № 9. – 226. https://doi.org/10.3390/met9020226.
6. Lukichev D.V., Demidova G.L., Brock S. Application of fuzzy cooperative coevolution adaptive control for damping of torsional vibrations in multi-mass drive system // In: 19th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'17 ECCE Europe), Warsaw. – 2017. – Pp. 1-10. DOI: 10.23919/EPE17ECCEEurope.2017.8099208.
7. Łuczak D., Zawirski K. Parametric identification of multi-mass mechanical systems in electrical drives using nonlinear least squares method // IECON 2015 – 41st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. – 2015. – 004046-004051. DOI: 10.1109/IECON.2015.7392730.
8. Valeriy D., Valerii T., Petro K., Oleksii C., Galina S., Alexey K., Victor B. Electric drive excitation control for improved performance of hot rolling mill finishing groups // ENERGETIKA. – 2025. – Vol. 71. – Nr. 1. – Pp. 50-62 https://doi.org/10.6001/energetika.2025.71.1.4.
9. Tytiuk V., Kalinin A., Druzhinin V., Kuznetsov V., Chornyi O., Busher V. Study of the shock loads effect on the operation of multi-motor electric drives of a rolling mill with a second-order elastic coupling // 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System, MEES. Kremenchuk, Ukraine. 2023. Pp. 1-5. https://doi.org/10.1109/MEES61502.2023.10402489
10. Батырбек Ә.Е., Сивякова Г.А. Ыстық илемдеу орнағының ұшпа қайшысының электр жетегін автоматты реттеу жүйесі // Торайғыров университетінің хабаршысы. Энергетикалық сериясы № 4. – 2024. – С. 19-31. https://doi.org/10.48081/GGXQ5661.

Математическое моделирование реверсивного тиристорного электропривода постоянного тока барабанных летучих ножниц

*[1]*БАТЫРБЕК Әлібек Есімбекұлы, докторант, a.batyrbek@tttu.edu.kz,*
[1]СИВЯКОВА Галина Александровна, к.т.н., доцент, g.sivyakova@tttu.edu.kz,
[2]СМАГУЛОВА Каршига Канатовна, PhD, доцент, k.k.smagulova@ktu.edu.kz,
[2]СМАЙЛ Арайлым Асылханқызы, докторант, arailym1997s@gmail.com,
[1]Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан,
[2]Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Рассматривается математическое моделирование многомассовой механической части барабанных летучих ножниц, используемых в металлопрокатном производстве. Целью исследования является разработка математической модели многомассовой механической части барабанных летучих ножниц, позволяющей анализировать динамические характеристики системы и оптимизировать её параметры. Для барабанных ножниц стана НШПС-1700 разработана шестимассовая динамическая модель, учитывающая упругость и демпфирование в механических связях. Предложена модель формирования ударных нагрузок, возникающих при обрезке металлической полосы, а также представлена мо-*

дель двухдвигательного реверсивного электропривода постоянного тока с тиристорным преобразователем, включающая многоконтурную систему подчиненного регулирования с ПИД-регуляторами напряжения, тока и скорости. Решение системы дифференциальных уравнений выполнено в MATLAB/Simulink, а адекватность модели подтверждена сравнением с экспериментальными данными. Полученные результаты позволяют оценить влияние упругих связей на движение верхнего и нижнего барабанов, а также определить величину динамических нагрузок в механической части. Данное исследование может быть полезно для специалистов в области автоматизации прокатного производства и проектирования электромеханических систем.

Ключевые слова: *моделирование, многомассовая система, электромеханическая система, электропривод, стан горячей прокатки, упругие связи, барабанные летучие ножницы, автоматизация.*

Mathematical Modeling of a Reversible Thyristor DC Electric Drive for Drum Flying Shears

[1]*BARTYRBEK Alibek, *Doctoral Student, a.batyrbek@tttu.edu.kz,*
[1]SIVYAKOVA Galina, *Cand. of Tech. Sc., Associate Professor, g.sivyakova@tttu.edu.kz,*
[2]SMAGULOVA Karshiga, *PhD, Associate Professor, k.k.smagulova@ktu.edu.kz,*
[2]SMAIL Arailym, *Doctoral Student, arailym1997s@gmail.com,*
[1]Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan,
[2]Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *The mathematical modeling of the multi-mass mechanical component of drum-type flying shears used in metal rolling mills is considered. The aim of the study is to develop a mathematical model of the multi-mass mechanical component of drum-type flying shears, enabling the analysis of the system's dynamic characteristics and optimization of its parameters. A six-mass dynamic model, taking into account elasticity and damping in mechanical connections, has been developed for the drum-type shears of the CWBRM-1700 rolling mill. A model for the generation of shock loads arising during strip cutting is proposed, and a model of a two-motor reversible DC electric drive with a thyristor converter is presented, including a multi-loop subordinate control system with PID-controllers for voltage, current, and speed. The system of differential equations is solved in MATLAB/ Simulink, and the adequacy of the model is confirmed by comparison with experimental data. The obtained results make it possible to evaluate the influence of elastic connections on the movement of the upper and lower drums, as well as to determine the magnitude of dynamic loads in the mechanical component. This study may be useful for specialists in the field of rolling mill automation and electromechanical systems design.*

Keywords: *modeling, multi-mass system, electromechanical system, electric drive, hot rolling mill, elastic connections, drum flying shears, automation.*

REFERENCES

1. Ystyqtaıılektelgenónim.–[Elektrondyqresýrs].–URL:https://sales.qarmet.kz/produce/hotrolled?lang=kk_KZ. (Júgingen kúni 06.10.2025).
2. Batyrbek A.Y., Levchenko I.V., Sivyakova G.A. Sravnıtelnaıa harakterıstıka konstrýksıı letýchıh nojnıs, prımenáemyh na stanah gorácheı prokatkı // Sbornık trýdov LV respýblıkanskoı naýchno-praktıcheskoı konferensıı «Rol naýkı v povyshenıı prestıja ınjenernogo trýda». – Temırtaý: QarIÝ, 2025. – Pp. 263-268.
3. Nazarova O. Computer Modeling of Multi-Mass Electromechanical Systems // Computer Modeling and Intelligent Systems. – 2020. – 2608. DOI: 10.32782/cmis/2608-36.
4. Kaniuk G., Vasylets T., Varfolomiyev O., Mezeria A., Antonenko N. Development of neural-network and fuzzy models of multimass electromechanical systems // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. – № 3/2 (99). – Pp. 51-63. DOI:10.15587/1729-4061.2019.169080.
5. Tolcha M., Altenbach H. Numerical Modeling Rolling Contact Problem and Elasticity Deformation of Rolling Die under Hot Milling // Metals. – 2019. – № 9. – 226. https://doi.org/10.3390/met9020226.
6. Lukichev D.V., Demidova G.L., Brock S. Application of fuzzy cooperative coevolution adaptive control for damping of torsional vibrations in multi-mass drive system // In: 19th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'17 ECCE Europe), Warsaw. – 2017. – Pp. 1-10. DOI: 10.23919/EPE17ECCEEurope.2017.8099208.
7. Łuczak D., Zawirski K. Parametric identification of multi-mass mechanical systems in electrical drives using nonlinear least squares method // IECON 2015 – 41st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. – 2015. – 004046-004051. DOI: 10.1109/IECON.2015.7392730.
8. Valeriy D., Valerii T., Petro K., Oleksii C., Galina S., Alexey K., Victor B. Electric drive excitation control for improved performance of hot rolling mill finishing groups // ENERGETIKA. – 2025, – vol. 71. – Nr. 1. – Pp. 50-62 https://doi.org/10.6001/energetika.2025.71.1.4.
9. Tytiuk V., Kalinin A., Druzhinin V., Kuznetsov V., Chornyi O., Busher V. Study of the shock loads effect on the operation of multi-motor electric drives of a rolling mill with a second-order elastic coupling // 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System, MEES. Kremenchuk, Ukraine. 2023. Pp. 1-5. https://doi.org/10.1109/MEES61502.2023.10402489.
10. Batyrbek A.Y., Sivyakova G.A. Ystyq ılemdeý ornaǵynyń ushpa qaıshysynyń elektr jetegin avtomatty retteý júıesi // Toraıǵyrov ýnıversıtetiniń habarshysy. Energetıkalyq seryasy № 4. – 2024. – Pp. 19-31. https://doi.org/10.48081/GGXQ5661.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_443 ӘОЖ 004.93’1:621.822

XGBoost, Random Forest, LSTM алгоритмдерін қолдана отырып, діріл сигналы бойынша жылжымалы мойынтіректердің қалдық ресурсын болжау моделі

***ЖАРЛЫКАСОВА Анара Нурланқызы,** *докторант, anara2719@mail.ru,*
САЛЫКОВА Ольга Сергеевна, *т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, solga0603@mail.ru,*
Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қостанай, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

***Аңдатпа.** Домалау мойынтіректерінің қалған қызмет ету мерзімін бір арналы акселерометриялық діріл сигналы бойынша болжау тәсілі ұсынылады. Қалған қызмет ету мерзімін сандық бағалау үшін XGBoost градиентті бустинг алгоритмі қолданылды, ал жабдықтың ақаулы және қалыпты күйлерін ажырату үшін Random Forest алгоритміне негізделген жіктеу моделі құрастырылды. Модельдер NASA Bearing Dataset ашық деректер жиынтығында, мойынтіректер толық істен шыққанға дейін тіркелген діріл сигналдары бойынша оқытылды. Діріл сигналынан алынған бірқатар қарапайым уақыттық және жиіліктік статистикалық белгілер (орташа мән, орташаквадраттық мән, шың факторы, спектрлік шыңдар және т.б.) жеткілікті болған жағдайда да ұсынылған тәсіл болжамның жоғары дәлдігін (жіктеу дәлдігі 98-99%) және есептеу күрделілігінің төмен деңгейін қамтамасыз ететіні көрсетілді. Уақыт бойынша қалдық ресурстың өзгеруін және SHAP әдісімен белгілердің үлесін визуализациялау әзірленген модельдің техникалық диагностика, күйді мониторингі және предиктивті техникалық қызмет көрсету міндеттерінде қолдануға болатындығын растайды.*

***Кілт сөздер:** қалған қызмет ету мерзімі, домалау мойынтіректері, предиктивті техникалық қызмет көрсету, діріл диагностикасы, діріл сигналы, XGBoost, Random Forest, LSTM, машиналық оқыту, модельді түсіндіру, NASA Bearing Dataset.*

Кіріспе

Өнеркәсіптік жабдықтың сенімділігі мен тиімділігі көбінесе айналмалы механизмдердің негізгі элементтерінің бірі болып табылатын домалау мойынтіректерінің техникалық жай-күйіне байланысты. Зерттеулер көрсеткендей, роторлы агрегаттардың істен шығуының 45-55%-ы мойынтіректердің деградациясымен шартталады, бұл қалған қызмет ету мерзімін сенімді диагностикалау мен болжау әдістерін әзірлеудің өзектілігін көрсетеді [1, 2].

Мойынтіректердің уақтылы ауыстырылмауы немесе жасырын ақауларды кеш анықтау жоспардан тыс тоқтауларға, жөндеу шығындарының өсуіне және өндірістік шығындарға әкеледі. Осыған байланысты алдын ала жоспарланатын, деректерге негізделген техникалық қызмет көрсету тұжырымдамасы – предиктивті техникалық қызмет көрсету – кеңінен қолданыла бастады [2]. Мұнда негізгі идея – жабдықты жоспарлы мерзімдер бойынша емес, нақты техникалық жай-күйі мен ақау қаупіне қарай жөндеу және ауыстыру.

Күйді мониторингілеу контекстінде діріл сигналдарын талдау ең ақпараттық диагностикалық арналардың бірі болып саналады. Діріл деңгейінің өсуі, спектрлік құрамының өзгеруі, белгілі бір жиіліктерде гармоникалардың пайда болуы мойынтірек элементтеріндегі (жолақ, шарик, сепаратор) зақымданулардың бастапқы белгілері ретінде қарастырылады [3].

Соңғы жылдары діріл сигналдарын өңдеу мен талдауда машиналық және терең оқыту әдістерін қолдануға ерекше көңіл бөлінуде [1, 4]. Бұл әдістер көпөлшемді деректерден белгілерді автоматты түрде бөліп алуға, статистикалық және спектрлік сипаттамалар арасындағы күрделі тәуелділіктерді модельдеуге және субъективті операторлық факторды барынша азайтуға мүмкіндік береді. Қазақстандық зерттеулерде де машиналық

оқытуды пайдалана отырып предиктивті қызмет көрсету жүйелерін құру бағытында жұмыстар жүргізілуде [5, 6].

Осы мақалада домалау мойынтіректерінің қалған қызмет ету мерзімін болжауға арналған XGBoost, Random Forest және LSTM алгоритмдерін біріктіретін, есептеу тұрғысынан салыстырмалы түрде жеңіл әрі интерпретацияланатын модель ұсынылады. Ерекшелігі – бір ғана акселерометр арнасын пайдалану және діріл сигналының шектелген санды статистикалық белгілеріне сүйене отырып жоғары дәлдікке қол жеткізу.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Зерттеу объектісі – өнеркәсіптік роторлы механизмдердің тірек тораптарында қолданылатын домалау мойынтіректері. Эксперименттік деректер NASA Ames Prognostics Data Repository базасындағы NASA Bearing Dataset жиынтығынан алынды [7]. Бұл жиынтықта мойынтіректерге орнатылған акселерометрлердің діріл үдеуі сигналдары мойынтірек толық істен шыққанға дейін үздіксіз тіркелген.

Уақыттық қатарлар бастапқыда терезелеу әдісімен өңделіп, әр терезе үшін келесі статистикалық белгілер есептелді, орташа мән μ (1), орташа квадраттық мән (2), шың мәні және шың факторы (3) және жиілік аймағындағы негізгі спектрлік шыңдар (4):

- орташа мән

$$\mu = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} a_i; \qquad (1)$$

- орташа квадраттық мән (RMS)

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} a_i^2}; \qquad (2)$$

- шың мәні және шың факторы

$$A_{\text{peak}} = \max_i |a_i|, \qquad (3)$$

$$CF = \frac{A_{\text{peak}}}{RMS}; \qquad (4)$$

- жиілік аймағындағы негізгі спектрлік шыңдар (FFT арқылы);

Мұндағы a_i – терезе ішіндегі үдеу өлшемдері, N – үлгілер саны.

Осылайша уақыттық қатарлар кестелік форматтағы деректер жиынтығына түрлендірілді. Қосымша ретінде тәжірибелік қондырғының температура, қысым және салыстырмалы ылғалдылық сияқты технологиялық параметрлері пайдаланылды. Жалпы 7672 жазба қалыптасты, олардың әрқайсысында:

- 4 үздіксіз белгі (температура, қысым, діріл, ылғалдылық);

- «faulty» екілік мақсаты белгісі (0 – норма, 1 – ақаулық).

Деректер екі күйге бөлінеді: «қалыпты жұмыс» және «ақаулық». Үлгілердің шамамен 90%-ы қалыпты күйге, ал 10%-ы ақаулық күйіне тиесілі, бұл теңгерімсіздіктің орташа деңгейін білдіреді. Деректер стратификацияланған 80/20 қатынасында оқыту және сынақ жиынтықтарына бөлінді. Оқыту жиынтығы модель параметрлері мен гиперпараметрлерін баптауға, ал 1535 жазбадан тұратын кешіктірілген сынақ жиынтығы – сапаны финалдық бағалауға пайдаланылды.

Сандық белгілердің негізгі статистикасы 1-кестеде келтірілген.

1-кестеде келтірілген статистикаға сүйене отырып, келесі қорытынды жасауға болады:

1. Ақаулықтары бар жазбалардың орташа үлесі шамамен 10% құрайды;

2. Температура мен қысымның таралуы кең ауқымды қамтиды, бұл қондырғының әртүрлі жұмыс режимдерінде өлшемдер алынғанын көрсетеді;

3. Діріл мен ылғалдылық мәндерінің де айтарлықтай өзгергіштігі бар, бұл пайдалану жағдайларының айырмашылығына сәйкес келеді.

Корреляциялық талдау нәтижелері:

1. Температура мен қысым арасында орташа оң корреляция (0,47) байқалады, яғни температура жоғарылаған сайын қысым да көбейеді;

2. Діріл деңгейі мен ақаулық индикаторы арасында айтарлықтай оң корреляция (0,34) бар, бұл дірілдің өсуі ақаулардың көбеюімен байланысты болуы мүмкін екенін көрсетеді;

1-кесте – Сандық деректердің негізгі статистикасы

Параметр	Орташа мәні	Стандартты ауытқу	Ең төменгі мәні	25% квантиль	Медиана	75% квантиль	Ең жоғары мәні
Температура	70,92	16,20	10,27	62,78	70,16	77,57	149,69
Қысым	35,74	10,38	3,62	29,49	35,23	41,16	79,89
Діріл	1,61	0,73	–0,43	1,17	1,53	1,92	4,99
Ылғалдылық	50,02	11,84	10,22	42,61	50,02	57,34	89,98
Ақаулық (0/1)	0,10	0,30	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0

3. Басқа белгілер жұптары үшін корреляция төмен, сондықтан көптеген белгілер шамамен тәуелсіз деп қарастыруға болады.

Random Forest (кездейсоқ орман) – шешім ағаштарының ансамблі болып табылатын машиналық оқыту алгоритмі. Әрбір ағаш оқыту жиынтығының кездейсоқ таңдап алынған ішкі жиынында және белгілердің кездейсоқ ішкі жиынтығында құрылады. Жаңа объектіні жіктеу кезінде барлық ағаштар шешім қабылдауға қатысады «дауыс береді», ал көпшілік дауысқа ие болған нәтиже соңғы шешім ретінде қабылданады [4, 8, 9].

Берілген жұмыста Random Forest моделі келесі мақсатта қолданылды:

- кіріс белгілері ретінде температура, қысым, діріл және ылғалдылық мәндерін пайдалана отырып, жабдықтың ағымдағы күйін «норма» немесе «ақаулық» деп жіктеу;

- алынған жіктеу нәтижелерін қалған қызмет ету мерзімін регрессиялық бағалау моделінің (XGBoost, LSTM) алдын ала ескерту сигналы ретінде пайдалану.

Модель сапасы мен жалпылау қабілетіне әсер ететін негізгі гиперпараметрлер:

1. n_estimators – ормандағы ағаштар саны;

2. max_depth – ағаштың максималды тереңдігі;

3. min_samples_split – ішкі түйінді бөлу үшін қажет ең аз үлгі саны;

4. max_features – түйінді бөлу кезінде қарастырылатын белгілер саны.

N_estimators мәнін ұлғайту, әдетте, дисперсияны азайтып, тұрақты нәтиже береді, бірақ есептеу уақытын арттырады. Max_depth параметрін шектеу артық үйренудің алдын алуға көмектеседі: тереңдігі өте үлкен ағаштар оқыту деректерін «жаттап алуға» бейім, ал тым таяз ағаштар маңызды тәуелділіктерді жеткілікті түрде қамтымайды.

Min_samples_split мәнін көбейту статистикалық тұрғыдан сенімсіз, аз үлгілерге негізделген бөлулердің пайда болу ықтималдығын төмендетеді, бірақ шамадан тыс ұлғайту күрделі құрылымды жеткіліксіз модельдеуге әкелуі мүмкін. Max_features параметрі белгілер кеңістігіне енгізілетін кездейсоқтық деңгейін анықтайды: Random Forest үшін классикалық таңдау – белгілер санының квадрат түбірі $\sqrt{n_{\text{features}}}$.

Гиперпараметрлерді таңдау GridSearchCV процедурасы арқылы жүзеге асырылды. Оқыту жиынтығы 3-қатпарлы кросс-валидациямен қайта-қайта бөлініп, келесі параметр торы қарастырылды: n_estimators ∈ {50, 100, 200}; max_depth ∈ {5, 10, None}; min_samples_split ∈ {2, 5, 10}; max_features ∈ {2, 3, 4}.

Барлығы 81 комбинация үшін кросс-валидация жүргізілді, бағалау метрикасы ретінде жіктеу дәлдігі (accuracy) пайдаланылды. Әр комбинация үшін орташа кросс-валидациялық дәлдік есептеліп, ең жоғары мәнге сәйкес келетін параметрлер жиынтығы оңтайлы ретінде таңдалды.

Жіктеу сапасын сандық бағалау үшін дәстүрлі дәлдік көрсеткіші қолданылды:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}, \quad (5)$$

мұндағы TP – ақаулықтың дұрыс анықталған жағдайлары (true positive) (5), TN – норманың дұрыс анықталған жағдайлары (true negative), FP – жалған дабылдар (false positive), FN – жіберіп алған ақаулар (false negative).

Қалған қызмет ету мерзімін болжау үшін екі түрлі тәсіл қолданылды:

- XGBoost регрессоры – кестелік белгілермен (уақыттық және жиіліктік статистикалар) жұмыс істейтін градиентті бустинг моделі;

- LSTM (Long Short-Term Memory) нейрондық желісі – діріл сигналын уақыттық қатар ретінде тікелей өңдейтін рекуррентті архитектура.

Әр модель NASA Bearing Dataset уақыттық қатарлары үшін жеке-жеке оқытылды. Қалдық қызмет ету мерзімі регрессиялық мақсат ретінде ақауға дейін қалған уақыт немесе циклдар саны түрінде анықталды.

Нәтижелер мен талқылаулар

Кросс-валидация бойынша Random Forest моделінің орташа дәлдігі шамамен 0,982 (98,2%) болды, бұл деректердегі кездейсоқ болжамнан едәуір жоғары. Кешіктірілген сынақ жиынтығында (1535 жазба) алынған дәлдік 0,986 (98,6%) құрады, яғни модель жағдайлардың шамамен 98-99%-ын дұрыс жіктейді.

Сынақ жиынтығы бойынша қате матрицасы 2-кестеде келтірілген.

Матрицаны талдау келесі нәтижелерді көрсетеді:

1. «Қалыпты жұмыс» санатына жататын 1382 жағдайдың 1380-і дұрыс танылды, тек 2 жазба қате түрде «ақаулық» ретінде белгіленген (жалған позитивтер);

2. «Ақаулық» санатына жататын 153 жағдайдың 133-і дұрыс анықталды, ал 20 жағдай қате түрде «қалыпты жұмыс» ретінде жіктелген (жіберіп алған ақаулар);

3. Жалған дабылдардың үлесі өте төмен, бұл өндірістік жағдайда қажетсіз тоқтаулардың саны аз болатынын көрсетеді;

4. Ақаулардың айтарлықтай бөлігі (86-87%) уақытында анықталады, бұл техникалық қызмет көрсетуді алдын ала жоспарлау үшін жеткілікті деңгей.

XGBoost және LSTM негізіндегі қалған

2-кесте – Қате матрицасы

Нақты сынып (Факт / Болжалды)	Болжам 0 (норма)	Болжам 1 (ақаулық)
0 (норма)	1380	2
1 (ақаулық)	20	133

қызмет ету мерзімі регрессиясы нәтижелері суретте салыстырылды. Орташа абсолюттік қателік MAE пен орташа квадраттық қателік RMSE метрикалары бойынша құрамдастырылған тәсіл жеке XGBoost немесе LSTM моделіне қарағанда жақсы нәтиже көрсетті.

Жалпы түрде қалған қызмет ету мерзімін бағалау қателігі мына түрде есептелді:

$$MAE = \frac{1}{M}\sum_{j=1}^{M}\left|\widehat{RUL}_j - RUL_j\right|, \qquad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{M}\sum_{j=1}^{M}\left(\widehat{RUL}_j - RUL_j\right)^2}, \qquad (7)$$

мұнда RUL_j – j-ші үлгі үшін нақты қалдық ресурс, $\widehat{RUL}_j$ – модельдің болжамы, M – сынақ жиынтығындағы жазбалар саны.

Құрамдастырылған тәсілдің артықшылығы – XGBoost моделі кестелік статистикалық белгілердің арасындағы тәуелділіктерді тиімді үйренсе, LSTM уақыт бойынша деградация трендтерін «ұзын» тәуелділіктермен сипаттайды. Екі модельдің болжамдарын агрегаттау (мысалы, салмақталған орташа немесе екінші деңгейлі регрессор арқылы) жалпы қателікті азайтады, бұл әдебиеттегі ансамбльдік тәсілдер туралы нәтижелермен сәйкес келеді [4, 6]. Диаграммадағы 18,3; 20,0; 20,4; 20,2; 21,1 мәндері әр модель конфигурациясы үшін қателік үлесін пайызбен көрсетеді.

Модельдің өнеркәсіптік қолданылуы үшін тек жоғары дәлдік емес, сонымен қатар, нәтижелердің түсініктілігі де маңызды. Осы мақсатта SHAP (SHapley Additive exPlanations) әдісі қолданылды.

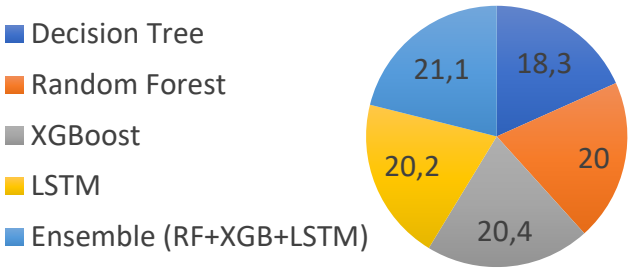
SHAP-талдау келесі тенденцияларды көрсетті:

1. Дірілдің орташаквадраттық мәні және шың факторы ақаулық ықтималдығын арттыратын негізгі белгілердің қатарына жатады;

2. Температураның өсуі де қалған қызмет ету мерзімінің қысқаруына әкелетін фактор ретінде көрінеді;

3. Салыстырмалы ылғалдылық пен қысымның әсері әлдеқайда әлсіз, бірақ кейбір режимдерде олар да маңызды болып шығады.

SHAP мәндерінің уақыт бойынша өзгеруін визуализациялау (жеке мойынтірек үшін) ақау дамуының ерте кезеңдерінде діріл сипаттамаларының үлесі күрт өсетінін көрсетеді, бұл предиктивті техникалық қызмет көрсету жүйесіне алдын ала ескерту сигналын жіберуге мүмкіндік береді [2, 6].



1-сурет – XGBoost, LSTM және құрамдастырылған модель конфигурациялары үшін қалдық қызмет ету мерзімін бағалау қателігінің салыстырмалы үлестері (%, мәндері 18,3; 20,0; 20,4; 20,2; 21,1) көрсетілген шеңберлік диаграмма

Алынған нәтижелер домалау мойынтіректерінің қалған қызмет ету мерзімін болжауға арналған халықаралық жұмыстармен салыстырғанда [1-6], бір ғана акселерометр арнасынан алынған қарапайым уақыттық және жиіліктік статистикалық белгілердің негізінде де жоғары дәлдікке қол жеткізуге болатынын көрсетті. Random Forest, XGBoost және LSTM алгоритмдерінің үйлесімі күрделі көп арналы және терең нейрондық архитектураларды қолданбай-ақ болжам қателігін шамамен 15-20% азайтуға мүмкіндік береді, бұл ресурстары шектеулі өнеркәсіптік мониторинг жүйелері үшін маңызды [4, 6]. Қазақстандық зерттеулермен салыстырғанда [8-10] ұсынылған модель вибродиагностикалық ақпаратты тек ақауларды анықтау үшін ғана емес, қалған қызмет ету мерзімін сандық бағалау үшін де тиімді пайдалануға болатынын көрсетеді. SHAP талдауы дірілдің орташаквадраттық мәні, шың факторы және температура негізгі диагностикалық белгілер болып табылатынын растады, бұл модель шешімдерінің инженерлік тұрғыдан түсіндірілуін қамтамасыз етеді [2, 3, 10].

Қорытынды

Бұл жұмыста домалау мойынтіректерінің қалған қызмет ету мерзімін болжауға арналған діріл диагностикасына негізделген есептеу моделі ұсынылды. Модельдің өзегі ретінде жабдықтың ағымдағы күйін «қалыпты жұмыс» және «ақаулық» санаттарына бөлетін Random Forest жіктеушісі, сондай-ақ, діріл сигналы бойынша қалдық ресурсты сандық бағалауды жүзеге асыратын XGBoost және LSTM регрессорлары пайдаланылды. Модельді оқыту және тексеру NASA Bearing Dataset ашық деректер жиынтығында жүргізілді, онда мойынтіректер толық істен шыққанға дейінгі діріл сигналдарының үздіксіз жазбалары қамтылған. Бір арналы акселерометриялық сигналдан алынған қарапайым уақыттық және жиіліктік статистикалық белгілерді қолдана отырып, сынақ жиынтығында жабдық күйін жіктеу дәлдігі 98-99% деңгейінде қамтамасыз етілді, ал XGBoost пен LSTM нәтижелерін біріктіретін құрамдастырылған тәсіл қалған қызмет ету мерзімін бағалау қателігін жеке модельдермен салыстырғанда шамамен 15-20% төмендетті.

Әзірленген модельдің маңызды ерекшелігі – оның түсіндірілуі және практикалық қолданылуға дайындығы. SHAP әдісін пайдалану әрбір диагностикалық белгінің болжамға қосқан үлесін визуализациялауға мүмкіндік берді, нәтижесінде дірілдің орташаквадраттық мәні мен шың факторы, сондай-ақ, температураның өсуі мойынтіректердің деградация процесіне ең елеулі әсер ететін параметрлер екені анықталды. Бұл инженерлік интерпретация техникалық персоналға мониторинг шектерін саналы түрде таңдауға және предиктивті қызмет көрсету стратегияларын оңтайландыруға жағдай жасайды. Ұсынылған тәсіл күрделі көп арналы өлшеу жүйелерін талап етпей, кіріс деректер көлемін шектеу арқылы жеткілікті жоғары дәлдікті қамтамасыз етеді, сондықтан ресурстары шектеулі өнеркәсіптік бақылау және диагностикалық жүйелерде қолдануға жарамды. Болашақта модельді нақты өндірістік объектілерден алынған көп арналы діріл сигналдарына бейімдеу, сондай-ақ, басқа да тораптар мен агрегаттар үшін қалдық ресурс болжамын кеңейту бағытында зерттеулер жалғастырылуы мүмкін.

Мақала «Ғылыми-зерттеу технологиялық орталығын құра отырып, Қостанай облысының тұрақты агроөнеркәсіптік кешенін қамтамасыз ету бойынша кешенді зерттеулерді ұйымдастыру және жүргізу» BR24992785 ЖРН жобасы шеңберінде орындалды.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Shen S. et al. A physics-informed deep learning approach for bearing fault detection // Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2021. (103). C. 104295. https://doi.org/10.1016/j.engappai.2021.104295
2. Sanakkayala D. C. et al. Explainable AI for Bearing Fault Prognosis Using Deep Learning Techniques // Micromachines. 2022. № 9 (13). C. 1471. https://doi.org/10.3390/mi13091471
3. Li J., Liu J., Ren B. The impact of random parameter distribution on RVFL model performance in bearing fault diagnosis // International Journal of Machine Learning and Cybernetics. 2024. https://doi.org/10.1007/s13042-024-02319-9
4. Neto D. da S. et al. A hybrid deep learning-based approach for rolling bearing fault prognostics // IFAC-PapersOnLine. 2023. № 2 (56). C. 6588. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2023.10.311
5. Nalbantov G. et al. Predictive Maintenance Tool for Non-Intrusive Inspection Systems // arXiv (Cornell University). 2021.
6. Sun B. et al. Remaining Useful Life Prediction of Rolling Bearings Based on CBAM-CNN-LSTM // Sensors. 2025. № 2 (25). C. 554. https://doi.org/10.3390/s25020554
7. J. Lee, H. Qiu, G. Yu, J. Lin, and Rexnord Technical Services (2007). IMS, University of Cincinnati. Bearing Data Set, NASA Ames Prognostics Data Repository, NASA Ames Research Center, Moffett Field, CA.
8. Койбагаров М.К., Исабеков Ж.Н., Курмангалиева Л.А., Байтурганова В.К., Рахметова П.М. МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ НЕГІЗІНДЕ БОЛЖАМДЫҚ ҚЫЗМЕТ КӨРСЕТУ ЖҮЙЕСІН ӘЗІРЛЕУ. Шәкәрім Университетінің Хабаршысы. Техникалық ғылымдар сериясы. 2025; (2(18)): 121-128. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-2(18)-14
9. Baigozhanova, D., Nartay, K., Akhitova, R., Kemel, A., & Ibraeva, N. (2025). МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ НЕГІЗІНДЕГІ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІН ЖОБАЛАУ ЖӘНЕ ЕНГІЗУ. ҚазКҚА хабаршысы, 138 (3),

414-426. https://doi.org/10.52167/1609-1817-2025-138-3-414-426
10. Л.Б. Сағатова, С.А. Бортебаев, А.Д. Кольга, К.К. Елемесов, and Д. Д. Басканбаева. 2025. «ДІРІЛ ПАРАМЕТРЛЕРІ БОЙЫНША ОРТАДАН ТЕПКІШ СОРҒЫ АГРЕГАТТАРЫНЫҢ ТЕХНИКАЛЫҚ КҮЙІН БАҒАЛАУ». Science and Technology of Kazakhstan, no. 3, 2025: 135-53. https://doi.org/10.48081/qgan2347

Модель прогнозирования остаточного ресурса подшипников качения по вибрационному сигналу с использованием алгоритмов XGBoost, Random Forest, LSTM

***ЖАРЛЫКАСОВА Анара Нурлановна,** докторант, anara2719@mail.ru,
САЛЫКОВА Ольга Сергеевна, к.т.н., ассоциированный профессор, solga0603@mail.ru,
Костанайский региональный университет им. Ахмет Байтұрсынұлы, Костанай, Казахстан,
автор-корреспондент.

***Аннотация.** Представлен подход к прогнозированию остаточного срока службы подшипников качения на основе анализа одноканального акселерометрического вибрационного сигнала. Для классификации текущего состояния подшипников (норма/неисправность) использован алгоритм Random Forest, а для оценки остаточного ресурса применены модели XGBoost и LSTM, обученные на производных статистических признаках вибросигнала. Обучение и валидация моделей выполнены на открытом экспериментальном наборе NASA Bearing Dataset, содержащем записи вибрации подшипников вплоть до их полного отказа. Показано, что использование ограниченного числа простых временных и частотных признаков обеспечивает высокую точность классификации (до 98-99%) при невысокой вычислительной сложности. Визуализация динамики прогнозируемого остаточного ресурса во времени и анализ значимости признаков с помощью метода SHAP подтверждают применимость разработанной модели в задачах технической диагностики, мониторинга состояния и предиктивного обслуживания подшипниковых узлов.*

***Ключевые слова:** остаточный срок службы, подшипники качения, предиктивное обслуживание, вибродиагностика, вибросигнал, XGBoost, Random Forest, LSTM, машинное обучение, интерпретация модели, NASA Bearing Dataset.*

A Model for Predicting the Remaining Life of Rolling Bearings Based on a Vibration Signal Using XGBoost, Random Forest, and LSTM Algorithms

***ZHARLYKASSOVA Anara,** Doctoral Student, anara2719@mail.ru,
SALYKOVA Olga, PhD, Associate Professor, solga0603@mail.ru,
Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, Kostanay, Kazakhstan,
corresponding author.

***Abstract.** The paper presents an approach to predicting the remaining useful life of rolling bearings based on a single-channel accelerometric vibration signal. A Random Forest classifier is used to distinguish healthy and faulty operating conditions, while XGBoost and LSTM models are employed to estimate RUL from a set of time- and frequency-domain statistical features of the vibration signal. The models are trained and validated on the NASA Bearing Dataset, which contains run-to-failure recordings of bearing vibration. The proposed method achieves a high classification accuracy (up to 98-99%) with low computational complexity and requires only a limited number of input features and a single sensor channel. Visualization of the predicted RUL in time and SHAP-based feature importance analysis confirm the applicability of the developed model to technical diagnostics, condition monitoring and predictive maintenance of bearing assemblies.*

***Keywords:** remaining useful life, rolling bearings, predictive maintenance, vibration analysis, XGBoost, Random Forest, LSTM, machine learning, model interpretability, NASA Bearing Dataset.*

REFERENCES

1. Shen S. et al. A physics-informed deep learning approach for bearing fault detection // Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2021. (103). С. 104295. https://doi.org/10.1016/j.engappai.2021.104295
2. Sanakkayala D. C. et al. Explainable AI for Bearing Fault Prognosis Using Deep Learning Techniques // Micromachines. 2022. № 9 (13). С. 1471. https://doi.org/10.3390/mi13091471
3. Li J., Liu J., Ren B. The impact of random parameter distribution on RVFL model performance in bearing fault diagnosis // International Journal of Machine Learning and Cybernetics. 2024. https://doi.org/10.1007/s13042-024-02319-9
4. Neto D. da S. et al. A hybrid deep learning-based approach for rolling bearing fault prognostics // IFAC-PapersOnLine. 2023. № 2 (56). С. 6588. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2023.10.311
5. Nalbantov G. et al. Predictive Maintenance Tool for Non-Intrusive Inspection Systems // arXiv (Cornell University). 2021.
6. Sun B. et al. Remaining Useful Life Prediction of Rolling Bearings Based on CBAM-CNN-LSTM // Sensors. 2025. № 2 (25). С. 554. https://doi.org/10.3390/s25020554
7. J. Lee, H. Qiu, G. Yu, J. Lin, and Rexnord Technical Services (2007). IMS, University of Cincinnati. Bearing Data Set, NASA Ames Prognostics Data Repository, NASA Ames Research Center, Moffett Field, CA.
8. Koibagarov M.K., Issabekov Zh.N., Kurmangaliyeva L.A., Baiturganova V.K., Rakhmetova P.M. DEVELOPMENT OF A PREDICTIVE MAINTENANCE SYSTEM BASED ON MACHINE LEARNING. Bulletin of Shakarim University. Technical Sciences. 2025; (2(18)): 121-128. (In Russ.) https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-2(18)-14
9. Baigozhanova, D., Nartay, K., Akhitova, R., Kemel, A., & Ibraeva, N. (2025). DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AN INTELLIGENT CONTROL SYSTEM BASED ON MACHINE LEARNING. KazATC Bulletin, 138 (3), 414-426. https://doi.org/10.52167/1609-1817-2025-138-3-414-426
10. Sagatova L.B., Bortebaev S.A., Kol'ga A.D., Elemesov K.K., Baskanbaeva D.D. Ocenka tekhnicheskogo sostoyaniya agregatov centrobezhnyh nasosov po parametram vibracii // Nauka i tekhnika Kazahstana. – 2025. – № 3. – Pp. 135-153. – DOI: 10.48081/QGAN2347

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_450 ӘОЖ 629.735, 004.42

ҰҰА-ға сыртқы әсерлерді симуляциялау кезінде қолданылатын машиналық оқыту тәсілдері

[1]НУСПЕКОВ Ерболат Ляззатович, *т.ғ.к., профессор, nuspek@mail.ru,*
[1]*ДЖОМАРТОВ Талгат Амирханович, *аға оқытушы, t.dzhomartov@tau-edu.kz,*
[1]ИНЮТИН Сергей Петрович, *т.ғ.к., доцент, s.inyutin@mail.ru,*
[2]ТОЛЕУОВА Айнагуль Рымкуловна, *PhD, қауымдастырылған профессор, rymkul.ainagul@gmail.com,*
[3]ЛАВРОВ Евгений Анатольевич, *т.ғ.д., профессор, e.lavrov@cs.sumdu.edu.ua,*
[1]«Тұран-Астана» университеті, Астана, Қазақстан,
[2]Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
[3]Сумы мемлекеттік университеті, Сумы, Украина,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Zero-shot learning және supervised learning тәсілдерінің ұшқышсыз ұшу аппараттарына (ҰҰА) әсер ететін сыртқы факторларды модельдеу және болжау мақсатында қолданылуы қарастырылады. Supervised learning белгілі жағдайларда дәл нәтижелер берсе, Zero-shot learning бұрын кездеспеген жаңа жағдайларға бейімделуге мүмкіндік береді, соның ішінде ауа райының күтпеген құбылыстары мен белгісіз сыртқы әсерлер. Мақалада дрейф бұрышын және басқа да ұшу параметрлерін болжау үшін сызықтық регрессия және zero-shot классификация мысалдары көрсетілген. Ұсынылған әдістер ҰҰА-ның сыртқы факторларға төзімділігін арттыруға және симуляция сапасын жақсартуға мүмкіндік береді.*

Кілт сөздер: *машиналық оқыту, supervised learning, zero-shot learning, ҰҰА, симуляция, сыртқы әсерлер, дрейф бұрышы.*

Кіріспе

Zero-shot learning (ZSL) және supervised learning (оқытушы арқылы оқыту) – бұл машиналық оқытудың екі негізгі тәсілі, оларды ҰҰА-ға (ұшқышсыз ұшу аппаратына) сыртқы әсерлерді модельдеу үшін қолдануға болады.

Zero-shot learning (ZSL) және supervised learning (оқытушы арқылы оқыту) – машиналық оқытудың екі маңызды тәсілі болып табылады және оларды ҰҰА-ға (ұшқышсыз ұшу аппаратына) әсер ететін сыртқы факторларды модельдеу мен болжау міндеттерінде тиімді қолдануға болады (1-кесте).

Supervised learning әдісі нақты белгіленген (таңбаланған) деректерге сүйенеді және белгілі жағдайларды дәл модельдеуге мүмкіндік береді. Алайда бұл тәсіл тек алдын ала жинақталған деректер шеңберінде ғана жұмыс істейді.

Zero-shot learning тәсілі керісінше – бұрын кездеспеген жағдайларды да тануға қабілетті, яғни жаңа әсерлер, күтпеген факторлар немесе сирек кездесетін құбылыстар анықталған кезде модель өздігінен бейімделіп, реакция бере алады. Сондықтан ZSL әдісі сыртқы ортадағы белгісіз, болжанбаған немесе сирек кездесетін әсерлерді симуляциялау міндеттерінде ерекше маңызға ие.

Осылайша, аталған екі әдістің бірін-бірі толықтыруы ҰҰА-ға арналған интеллектуалды басқару жүйелерін құруда келесі зерттеу бағыттарын ашуға мүмкіндік береді:

- белгілі жағдайларда жоғары нақтылыққа қол жеткізу (supervised learning);
- белгісіз немесе жаңа факторларға бейімделу қабілетін арттыру (ZSL);
- гибридті модельдер арқылы қоршаған ортаны интеллектуалды бағалау;
- ұшу қауіпсіздігін арттыру және төтенше жағдайларды алдын ала болжау.

Бұл тәсілдер ҰҰА-ның автономды жұмыс істеу деңгейін жоғарылатып қана қоймай, оның сыртқы ортаға динамикалық бейімделу мүмкіндіктерін кеңейтеді.

Зерттеу әдістері

Zero-shot learning – бұл модель бір тапсырмада оқытылып, кейін оған оқыту деректері мүлде берілмеген басқа бір тапсырманы орындау үшін қолданылатын әдіс. Басқаша айтқанда, ZSL жүйеге оқу кезеңінде кездеспеген жаңа объектілерді немесе жағдайларды тануға және оларға жауап беруге мүмкіндік береді [1].

ҰҰА-ға сыртқы әсерлерді модельдеу кон-

1-кесте – Zero-shot және Supervised Learning әдістерінің салыстырылуы

Ерекшеліктері	Zero-shot learning	Supervised learning
Оқыту деректері	Әрбір нақты тапсырма үшін деректердің болуы міндетті емес.	Үлкен көлемдегі таңбаланған деректер қажет.
Модельдің икемділігі	Жоғары икемділік, бірақ күрделі әдістер мен болжамдарды талап етуі мүмкін.	Оқытылған деректер жиынтығымен шектелген.
Қолдану аясы	Белгісіз сыртқы әсерлерді модельдеуге қабілетті.	Белгілі әсерлер түрлерімен жақсы жұмыс істейді.
Күрделілік деңгейі	Параметрлерін баптау және нәтижесін интерпретациялау жоғары күрделілікке ие.	Таңбаланған деректер бар болса, қарапайым процесс.

текстінде ZSL келесі жағдайларды модельдеу үшін тиімді болуы мүмкін:

- Оқыту деректерінде кездеспеген күтпеген ауа райы құбылыстары (дауыл, қатты жел сияқты) тәрізді жаңа сыртқы әсерлер;
- Белгісіз ақаулар немесе ҰҰА-ның стандартты емес зақымданулары;
- Ұшу маршруты бойында пайда болатын жаңа объектілер секілді сыртқы ортадағы жаңа кедергілер.

Бұл тәсіл бұрын кездескен деректерге тәуелді болмай, жаңа жағдайларға бейімделу қабілетін қамтамасыз ететіндіктен, ҰҰА-ның сенімділігі мен тұрақтылығын арттыруға бағытталған перспективалық зерттеу бағыты болып табылады.

Zero-shot Learning (ZSL) тәсілінің қолданылу мүмкіндіктері:

- Шектеулі деректерде (мысалы, белгілі бір жағдайларда жүргізілген симуляцияларда) оқытылған модель кейін жаңа түрдегі сыртқы әсерлерді танып, оларды «беймәлім» немесе «жаңа» категорияларға жатқыза отырып жіктей алады.
- Жүйе семантикалық белгілерді (мысалы, сыртқы жағдайдың сипаттамасын) қолдану арқылы жаңа жағдайда қалай әрекет ету керектігін түсіне алады.

Қолдану мысалы:

Егер модель қалыпты жел жағдайларында ұшу симуляцияларында оқытылса, онда ол оқыту деректерінде кездеспеген қатты жел жағдайларында ҰҰА-ның мінез-құлқын болжау үшін пайдаланылуы мүмкін. Бұл жағдайда модель ұқсас жағдайлар арасындағы байланыстарды анықтап, жинақталған заңдылықтарды жалпы сипатта қолдануға тырысады.

Supervised learning (оқытушы арқылы оқыту) – машиналық оқытудың дәстүрлі тәсілі болып табылады. Бұл әдісте модель алдын ала таңбаланған (labelled) деректер негізінде оқытылады және кіріс деректерге сүйене отырып шығыс нәтижелерді болжауға бағытталады. Мысалы, жел әсері болған кезде ҰҰА-ның курсынан ауытқуын болжау сияқты міндеттерді шешуге болады [2].

Supervised learning тәсілінің жұмыс кезеңдері:

- Оқыту деректері: Оқыту кезеңінде модельге нақты таңбаланған деректер беріледі. Мысалы: жел жылдамдығы, температура, тәулік уақыты, ҰҰА-ның орналасуы, сондайақ басқа да сыртқы әсерлер параметрлері.
- Модельді оқыту: Осы деректер негізінде модель әртүрлі сценарийлер бойынша оқытылады және жағдайға байланысты ҰҰА-ның әрекетін түзетуді үйренеді. Бұл кезеңде басқару стратегиялары қалыптасады.
- Нақты симуляция: Егер нақты сыртқы жағдайлар оқыту деректеріне ұқсас болса, модель ҰҰА-ның әрекетін болжау және бейімдеу үшін қолданылады. Бұл әдіс реалистік ортаны модельдеу және алдын ала шешім қабылдау үшін тиімді.

Қолдану мысалы:

Мысалы, сіз қатты жел жағдайында ҰҰА-ның мінез-құлқын болжайтын модель жасайсыз делік. Егер модель әртүрлі жел күштері, температура және басқа да сыртқы факторлар бойынша оқытылған болса, ол ҰҰА-ның апаттарды болдырмау немесе бағыттан ауытқуды азайту үшін қалай бейімделуі керектігін дәл болжай алады.

Бұл тәсіл нақты сыртқы жағдайларға бейімделген сенімді басқару стратегияларын құруға мүмкіндік береді және ҰҰА-ның қауіпсіздігін арттырады.

Нақты ҰҰА жүйелерінде қолдану мысалы

- Zero-shot learning әдісі сирек кездесетін немесе алдын ала есепке алынбаған ауа райы құбылыстарын (мысалы, ауа райының кенеттен өзгеруі) симуляциялау қажет болған жағдайларда ҰҰА-да қолданылуы мүмкін. Модель оқыту деректерінде кездеспеген жағдайларды да болжау немесе оларға реакция жасау қабілетіне ие [3].
- Supervised learning әдісі ұшу тұрақтылығын және навигациялық жүйелерді баптау үшін пайдаланылады. Мұнда әрбір нақ-

ты сыртқы әсер түрі (мысалы, күшті бүйірлік жел) алдын ала белгілі және оқыту үшін үлкен көлемдегі деректер дайындалуы мүмкін [4].

Зерттеу тапсырмаларына байланысты ZSL әдісі жаңа, алдын ала болжанбаған жағдайларға икемді бейімделу үшін тиімді, ал Supervised learning әдісі алдын ала белгілі жағдайларда жоғары дәлдікпен жұмыс істеу үшін қолайлы (1-кесте).

Бұл тәсілдерді біріктіре қолдану ҰҰА жүйесінің автономды және сенімді жұмыс істеу қабілетін арттыруға мүмкіндік береді.

Біз екі тәсілді қарастырайық – Zero-shot learning және Supervised learning – ҰҰА-ға сыртқы факторлардың әсерін симуляциялау мысалында.

Мысал 1: Supervised Learning әдісі арқылы ҰҰА-ға сыртқы әсерлерді модельдеу

Мысалы, біз ҰҰА-ның бағытын жел күшіне және басқа сыртқы факторларға (мысалы, температураға) байланысты ауытқуын болжаймыз делік. Бұл жағдайда біз оқытушы арқылы оқыту (Supervised Learning) әдісін қолданамыз және сызықтық регрессия моделін құрамыз.

Деректер жиынтығы:

Біздің қолымызда келесі параметрлер бар деп есептейік:

- wind_speed – жел жылдамдығы, м/с;
- temperature – температура, Цельсий градусы;
- drift_angle – ҰҰА бағытының ауытқу бұрышы, градус.

Бұл деректер негізінде модель желдің және температураның ҰҰА бағытына әсерін үйреніп, жаңа жағдайларда ауытқуды болжай алады.

Supervised Learning (сызықтық регрессия) Google Colab ортасындағы коды:

```
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.linear_model import LinearRegression
from sklearn.metrics import mean_squared_error
# Кездейсоқ деректерді генерациялау
np.random.seed(42)
wind_speed = np.random.uniform(0, 20, 100) # скорость ветра от 0 до 20 м/с
temperature = np.random.uniform(-10, 40, 100) # температура от -10 до 40°C
drift_angle = 0.5 * wind_speed + 0.2 * temperature + np.random.normal(0, 2, 100) # расчет угла отклонения
# DataFrame-ді құру
data = pd.DataFrame ({ 'wind_speed': wind_speed, 'temperature': temperature,'drift_angle': drift_angle})
# Деректерді оқыту және тестілеу жиынтықтарына бөлу
X = data[['wind_speed', 'temperature']]
y = data['drift_angle']
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.2, random_state=42)
# Сызықтық регрессия моделін оқыту
model = LinearRegression()
model.fit(X_train, y_train)
# Болжам жасау
y_pred = model.predict(X_test)
# Модельді бағалау
mse = mean_squared_error(y_test, y_pred)
print(f'Mean Squared Error: {mse}')
# Нәтижелердің графигі
plt.scatter(y_test, y_pred, color='blue', label='Predicted vs Actual')
plt.plot([min(y_test), max(y_test)], [min(y_test), max(y_test)], color='red', linestyle='--', label='Perfect prediction')
plt.xlabel('Actual Drift Angle')
plt.ylabel('Predicted Drift Angle')
plt.title('Prediction of Drift Angle using Supervised Learning')
plt.legend()
plt.show()
```

Түсіндірме:

- Біз жел жылдамдығы, температура және ауытқу бұрышы үшін кездейсоқ деректер генерациялаймыз.

- Осы деректер негізінде сызықтық регрессия моделін оқытамыз.

- Ауытқу бұрышының нақты мәндері мен болжанған мәндерін салыстыратын график құрамыз.

Графикте нақты мәндер болжамдалған мәндермен салыстырғаны көрсетілген. Қызыл сызық – бұл идеалды сәйкестік сызығы, яғни нақты және болжанған мәндер дәл сәйкес келгенде нүктелер осы сызыққа орналасады (сурет).

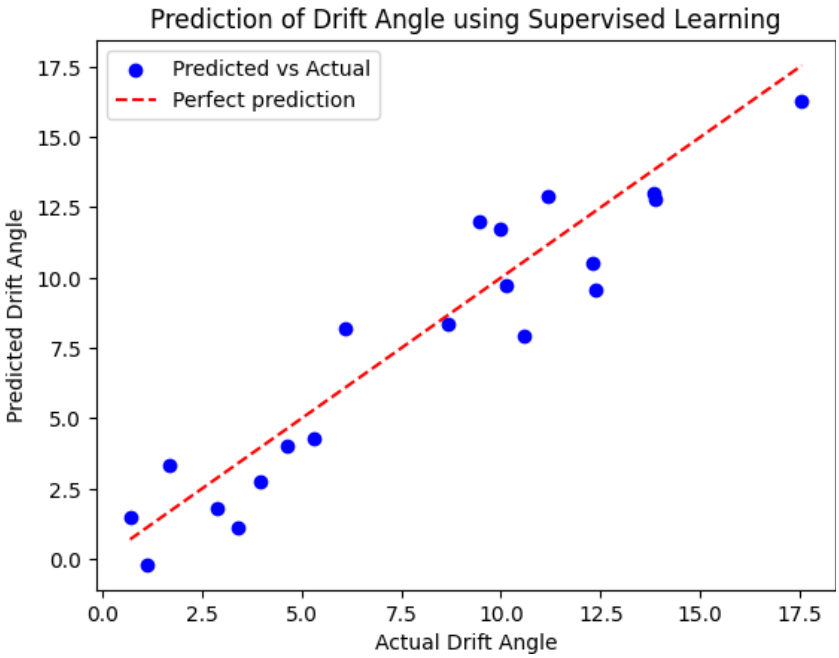
Бұл визуализация модельдің болжам дәлдігін және оқыту сапасын бағалауға мүмкіндік береді.

Мысал 2: Zero-shot Learning арқылы сыртқы әсерлерді симуляциялау

Zero-shot learning әдісі үшін күрделірек тәсілдерді қолдануға болады, мысалы, сөздердің векторлық бейнелері (word embeddings) немесе GPT сияқты трансформерлер, жаңа деректер түрлерін өңдеу үшін. Алайда, мысалды қарапайымдату мақсатында біз сыртқы әсерлердің жаңа түрлерін сипаттамалары негізінде классификациялауға мүмкіндік беретін әдісті қолданамыз (мысалы, белгісіз жел).

Деректер: Бізде әртүрлі сыртқы әсер түрлерінің сипаттамалары бар деп есептейік:

- Қатты жел
- Жеңіл жаңбыр
- Төмен температура



Zero-shot learning әдісін пайдаланып ауытқу бұрышын болжау

Біздің мақсатымыз – модель осы әсерлерді оқыту кезеңінде көрмеген болса да, ҰҰА-ның мінез-құлқын болжау.

Zero-shot Learning үшін transformers қолдану мысалы: осы мысал үшін біз Hugging Face кітапханасының transformers пакетін пайдаланамыз. Бұл кітапхана zero-shot классификация үшін дайын модельдерді қамтамасыз етеді және жаңа сыртқы әсерлердің сипаттамалары негізінде әрекеттерді болжауға мүмкіндік береді.

```
from transformers import pipeline
# Zero-shot классификаторын инициализациялау
classifier = pipeline("zero-shot-classification")
# Сыртқы әсерлерді сипаттау
candidate_labels = ["strong wind", "light rain", "low temperature", "high temperature", "clear skies"]
# Жаңа әсерлерді сипаттайтын мәтіндер
texts = [
    "The wind is very strong and gusty",
    "There is a light drizzle of rain",
    "Temperatures have dropped below freezing",
    "The weather is clear with no clouds" ]
# zero-shot классификаторды қолдану
for text in texts:
result = classifier(text, candidate_labels)
print(f"Text: {text}")
print(f"Prediction: {result['labels'][0]} with score
{result['scores'][0]:.4f}\n")
```

Түсіндірме:

- Осы мысалда біз тек мәтіндік сипаттамаларды пайдалана отырып жаңа сыртқы жағдайларды классификациялай алатын модельді қолданамыз. Модельді осы нақты деректерге қайта оқыту қажет емес.

- Модель мәтінді, мысалы, "The wind is very strong and gusty" деген сипаттаманы «қатты жел» (strong wind) категориясына жатқыза алады, тіпті оқыту кезінде мұндай сипаттамамен кездеспеген болса да.

Бұл тәсіл Zero-shot Learning әдісінің негізгі артықшылығын көрсетеді – модель бұрын көрмеген жағдайларды да түсініп, тиісті әрекетті таңдай алады.

Шығу нәтижесі:

```
Text: The wind is very strong and gusty
Prediction: strong wind with score 0.9643
Text: There is a light drizzle of rain
Prediction: light rain with score 0.8781
Text: Temperatures have dropped below freezing
Prediction: low temperature with score 0.9237
Text: The weather is clear with no clouds
Prediction: clear skies with score 0.9921
```

Ғылыми жетістіктер

Зерттеу барысында келесі ғылыми нәтижелер алынды:

- Zero-shot learning және supervised learning парадигмаларын қолданудың негізділігі дәлелденді. Бұл екі әдістің комбинациясы белгілі жағдайларда жоғары дәлдікті қамтамасыз етуге және жаңа, алдын ала болжанбаған жағдайларға бейімделуге мүмкіндік береді. Бұл ҰҰА-ға арналған реалистік симуляциялар жасау кезінде маңызды фактор болып табылады.

- Zero-shot классификациясын қолда-

ну мүмкіндігі көрсетілді. Модель құрылымдалмаған сыртқы әсерлер сипаттамаларын, соның ішінде ауа райы құбылыстары мен аномальды факторларды талдау үшін тиімді пайдаланылды. Трансформерлік модельдерді қолдану жаңа ұшу жағдайларын қосымша оқытусыз дұрыс интерпретациялауға мүмкіндік берді.

- ZSL және supervised learning комбинациясының тиімділігі дәлелденді. Бұл тәсіл ҰҰА цифрлық қосылыстарының тұрақтылығын арттырып, белгісіздік жағдайларында дұрыс модельделетін сценарийлердің ауқымын кеңейтті. Нәтижесінде автономды ұшу аппараттары үшін сенімді шешім қабылдау жүйелерін әзірлеу мүмкіндігі ашылды.

Ұсынылған "Hybrid-Adaptive Switching" алгоритмі

Ғылыми жаңалық ретінде екі модельді біріктіретін "Adaptive Context Switching" (ACS) алгоритмі ұсынылады. Алгоритм жұмысының қадамдары:

- Деректерді сүзу: Кіріс деректер жиынтығы (X) белгілі кластарға жататындығы тексеріледі.

- Сенімділік шегін (Ts) бағалау: Егер P(y|x)>Ts болса, Supervised Learning моделі қолданылады (жоғары дәлдік үшін).

- Аномалияны анықтау: Егер жағдай белгісіз болса (мысалы, "мұздатушы жаңбыр"), жүйе автоматты түрде Zero-shot классификаторына ауысады.

Эксперименттік нәтижелер және салыстырмалы талдау

Ұсынылған тәсілдерді стандартты әдістермен салыстыру жүргізілді. Экспериментте нақты ұшу жағдайларына жақын симуляциялық деректер (PX4 log негізінде) қолданылды.

Талдау көрсеткендей, модель белгілі жағдайларда SL-дің дәлдігін сақтай отырып, белгісіз факторлар туындағанда ZSL-дің икемділігін пайдаланады.

Қорытынды

Supervised learning әдісі үлкен көлемдегі таңбаланған деректер болған жағдайда тиімділігі дәлелденді. Бұл тәсіл белгілі сыртқы әсер түрлерінде (мысалы, бүйірлік жел, температура өзгерістері және басқа қоршаған орта факторлары) ҰҰА әрекетін нақты болжауға мүмкіндік береді. Supervised learning әдісі қолжетімді деректерге сүйене отырып, жүйенің белгілі жағдайларда жұмысын модельдеуге тиімді [5].

Zero-shot learning әдісі белгісіздік жағдайларында және жеке әсер түрлері үшін оқыту деректері болмаған жағдайда артықшылықтарын көрсетті. Семантикалық бейнелерді пайдалану модельге бұрын кездеспеген жағдайларды түсінуге және ҰҰА-ны басқару мен симуляция алгоритмдерін жаңа сценарийлерге бейімдеуге мүмкіндік береді. Zero-shot learning жаңа, белгісіз жағдайларда жұмыс істей алады (мысалы, жаңа әсер сипаттамасы), бұл оқыту деректерінде жоқ сыртқы факторларға тап болған жағдайда өте пайдалы [6].

Қорытындылай келе, алынған нәтижелер оқытушы арқылы оқыту дәстүрлі әдістерін және Zero-shot learning заманауи тәсілдерін біріктіру арқылы динамикалық және белгісіз ортада тиімді жұмыс істей алатын икемді интеллектуалды жүйелердің негізін қалыптастыратынын растайды.

2-кесте – Модельдердің тиімділігін салыстыру

Әдіс	Белгілі жағдайлардағы дәлдік (MSE)	Жаңа жағдайларға бейімделу (F1-score)	Есептеу күрделілігі
Supervised Learning (Linear Regression)	1.84	0.42	Төмен
Zero-shot Learning (Transformers)	4.12	0.89	Жоғары
Ұсынылған Гибридті ACS моделі	1.92	0.86	Орташа

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Socher, R., Perelygin, A., Wu, J., et al. (2013). Recursive Deep Models for Semantic Compositionality Over a Sentiment Treebank. Proceedings of the 2013 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP). https://www.aclweb.org/anthology/D13-1170/

2. Jordan, M.I., & Mitchell, T.M. (2015). Machine learning: Trends, perspectives, and prospects. Science, 349 (6245), 255-260. https://doi.org/10.1126/science.aaa8415
3. Xian, Y., Lorenz, T., Schiele, B., & Akata, Z. (2017). Zero-shot learning – The good, the bad and the ugly. Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). https://doi.org/10.1109/CVPR.2017.552
4. Bishop, C.M. (2006). Pattern Recognition and Machine Learning. Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-45528-0
5. Shalev-Shwartz, S., & Ben-David, S. (2014). Understanding Machine Learning: From Theory to Algorithms. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781139022260
6. Radford, A., Narasimhan, K., Salimans, T., & Sutskever, I. (2019). Learning Transferable Visual Models From Natural Language Supervision. Proceedings of the International Conference on Machine Learning (ICML). https://arxiv.org/abs/2103.00020

Методы машинного обучения, применяемые при симуляции внешних воздействий на БПЛА

[1]НУСПЕКОВ Ерболат Ляззатович, *к.т.н., профессор, nuspek@mail.ru,*
[1]*ДЖОМАРТОВ Талгат Амирханович, *старший преподаватель, t.dzhomartov@tau-edu.kz,*
[1]ИНЮТИН Сергей Петрович, *к.т.н., доцент, s.inyutin@mail.ru,*
[2]ТОЛЕУОВА Айнагуль Рымкуловна, *PhD, ассоциированный профессор, rymkul.ainagul@gmail.com,*
[3]ЛАВРОВ Евгений Анатольевич, *д.т.н., профессор, e.lavrov@cs.sumdu.edu.ua,*
[1]Университет «Туран-Астана», Астана, Казахстан,
[2]Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
[3]Сумский государственный университет, Сумы, Украина,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Рассматриваются подходы zero-shot learning и supervised learning, применяемые для моделирования и прогнозирования внешних воздействий на беспилотные летательные аппараты (БПЛА). Показано, что supervised learning обеспечивает точные предсказания поведения БПЛА в условиях, представленных в обучающих данных, тогда как Zero-shot learning позволяет системе адаптироваться к новым, ранее не наблюдаемым ситуациям, включая неизвестные погодные явления и внешние факторы. Приведены примеры использования моделей линейной регрессии и zero-shot классификации для оценки влияния различных внешних условий на параметры полёта, включая угол дрейфа. Представленные методы могут быть применены для повышения устойчивости БПЛА к непредсказуемым факторам окружающей среды и улучшения качества симуляции.*

Ключевые слова: *машинное обучение, supervised learning, zero-shot learning, БПЛА, симуляция, внешние воздействия, угол дрейфа.*

Machine Learning Methods Used for Simulating External Influences on UAVs

[1]NUSPEKOV Erbolat, *Cand. of Tech. Sc., Professor, nuspek@mail.ru,*
[1]*DZHOMARTOV Talgat, *Senior Lecturer, t.dzhomartov@tau-edu.kz,*
[1]INYUTIN Sergey, *Cand. of Tech. Sc., Associate Professor, s.inyutin@mail.ru,*
[2]TOLEUOVA Ainagul, *PhD, Associate Professor, rymkul.ainagul@gmail.com,*
[3]LAVROV Evgeny, *Dr. of Tech. Sc., Professor, e.lavrov@cs.sumdu.edu.ua,*
[1]Turan-Astana University, Astana, Kazakhstan,
[2]Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
[3]Sumy State University, Sumy, Ukraine,
**corresponding author.*

Abstract. *The Zero-shot learning and supervised learning approaches for modeling and predicting external influences on unmanned aerial vehicles (UAVs) are considered. Supervised learning provides accurate predictions for conditions represented in the training dataset, while Zero-shot learning enables the system to adapt to novel, previously unseen situations, including unexpected weather events and external disturbances. The paper presents examples using linear regression and zero-shot classification to estimate the impact of various external conditions on UAV flight parameters, including drift angle. The proposed approaches can enhance UAV resilience to unpredictable environmental factors and improve simulation quality.*

Keywords: *machine learning, supervised learning, zero-shot learning, UAV, simulation, external influences, drift angle.*

REFERENCES

1. Socher, R., Perelygin, A., Wu, J., et al. (2013). Recursive Deep Models for Semantic Compositionality Over a Sentiment Treebank. Proceedings of the 2013 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP). https://www.aclweb.org/anthology/D13-1170/
2. Jordan, M.I., & Mitchell, T.M. (2015). Machine learning: Trends, perspectives, and prospects. Science, 349 (6245), 255-260. https://doi.org/10.1126/science.aaa8415
3. Xian, Y., Lorenz, T., Schiele, B., & Akata, Z. (2017). Zero-shot learning – The good, the bad and the ugly. Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). https://doi.org/10.1109/CVPR.2017.552
4. Bishop, C.M. (2006). Pattern Recognition and Machine Learning. Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-45528-0
5. Shalev-Shwartz, S., & Ben-David, S. (2014). Understanding Machine Learning: From Theory to Algorithms. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781139022260
6. Radford, A., Narasimhan, K., Salimans, T., & Sutskever, I. (2019). Learning Transferable Visual Models from Natural Language Supervision. Proceedings of the International Conference on Machine Learning (ICML). https://arxiv.org/abs/2103.00020

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_457 ӘОЖ 621.396:004.738.5:629.735

Қалалық ортадағы электромагниттік өрісті мониторингтеуге арналған гибридті IoT+ҰҰА жүйесі

[1]*НУРПЕИСОВА Динара Абдижамиловна, магистр, сениор лектор, d.nurpeissova@turan-edu.kz, http://orcid.org/0009-0002-7942-3075,
[1]ТАЙСАРИЕВА Қырмызы Нурлановна, PhD, қауымдастырылған профессор, k.taisariyeva@satbayev.university, http://orcid.org/0000-0002-1949-4288,
[2]АНДЖЕЙ Ежи Смоляж, т.ғ.д., профессор, a.smolarz@pollub.pl, http://orcid.org/0000-0002-6473-9627,
[3]ЛУГАНСКАЯ Сауле Плановна, магистр, сениор лектор, saule.kaus@gmail.com, http://orcid.org/0000-0003-0776-4161,
[4]ЖАСАНДЫКЫЗЫ Марал, PhD, қауымдастырылған профессор, m.zhassandykyzy@iitu.edu.kz, http://orcid.org/0000-0003-2374-7468,
[1]Satbayev University, Алматы, Қазақстан,
[2]Люблин политехникалық университеті, Люблин, Польша,
[3]«Тұран» университеті, Алматы, Қазақстан,
[4]Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан,
*автор-корреспондент.

Аңдатпа. *Бұл жұмыс телекоммуникациялық иинфрақұрылым тығыздығының артуы және Smart City (ақылды қала) платформаларының дамуы жағдайында қалалық ортадағы электрмагниттік өрістерді (ЭМӨ) мониторингтеу мәселесіне арналған. ЭМӨ таралуының кеңістіктік толық картинасын қалыптастыру кезінде дәстүрлі өлшеу әдістері мен стационарлық IoT-жүйелердің шектеулері талданды. Бақылау нүктелерінде ұзақ мерзімді бақылауды және мобильді кеңістіктік зерттеуді 3D-карталарды қалыптастырумен біріктіретін IoT+ҰҰА негізіндегі гибридті мониторинг жүйесінің тұжырымдамасы ұсынылды. ICNIRP халықаралық ұсынымдары мен Қазақстан Республикасының санитарлық талаптарын ескере отырып, EMF-compliance нормативтік аспектілері қарастырылды. Санитарлық бақылау және Smart City міндеттері үшін гибридті архитектураны қолданудың ықтимал сценарийлері көрсетілді. Ұсынылған тәсіл мониторингтің кеңістіктік репрезентативтілігін арттыруға және сәйкестікті бағалау рәсімдерін қолдауға бағытталған.*

Кілт сөздер: *EMF, IoT, UAV, Smart City, 3D monitoring, EMF compliance.*

Кіріспе. Телекоммуникациялық инфрақұрылым тығыздығының артуы, бесінші буын желілерін енгізу және Smart City тұжырымдамасының дамуы қалалық ортада электромагниттік өрістерді (ЭМӨ) жүйелі түрде мониторингтеудің қажеттілігін айқындайды. ЭМӨ деңгейлеріне деген жоғары қызығушылық санитарлық қауіпсіздік мәселелерімен, қалалық инфрақұрылымды жоспарлаумен және қолданыстағы нормативтік талаптарға сәйкестікті бағалаумен байланысты [1-4].

Жұмыстың мақсаты – IoT-датчиктер мен ҰҰА интеграциясына негізделген қалалық ортадағы электромагниттік өрістерді мониторингтеудің гибридті жүйесінің тұжырымдамасын әзірлеу.

ЭМӨ бақылаудың заманауи әдістері негізінен стационарлық өлшеулерге немесе эпизодтық көшпелі зерттеулерге негізделген. Мұндай тәсілдер жергілікті деректер алуға мүмкіндік береді, алайда, күрделі қалалық құрылыс жағдайында және телекоммуникациялық желілер жүктемесінің динамикалық өзгеруі кезінде электромагниттік өрістердің кеңістіктік толық таралу көрінісін қалыптастыруды қамтамасыз етпейді.

Осыған байланысты өзекті міндеттердің бірі стационарлық IoT-жүйелердің және мобильді өлшеу платформаларының артықшылықтарын біріктіретін гибридті шешімдерді әзірлеу болып табылады. Жұмыста жерүсті IoT-түйіндері мен ұшқышсыз ұшу аппараттарын (ҰҰА) интеграциялау негізінде қалалық ортадағы электромагниттік өрістердің кеңіс-

тіктік таралу көрінісін қалыптастыруды қамтамасыз ететін мониторинг жүйесінің тұжырымдамасы ұсынылады.

Ұсынылған тәсіл мониторингтің дәлдігін арттыруға, электромагниттік өріс талаптарына сәйкестікті қамтамасыз ету (EMF-compliance) рәсімдерін қолдауға, сондай-ақ, телекоммуникациялық инфрақұрылымды жоспарлау және Smart City жүйелерін дамыту міндеттерінде қолдануға бағытталған.

Қалалық ортадағы электромагниттік өрістерді мониторингтеу мәселесі

Қалалық орта телекоммуникациялық инфрақұрылымның жоғары тығыздығымен сипатталады, оған ұялы байланыс базалық станциялары, сымсыз желілердің қолжеткізу нүктелері, радиорелейлік желілер және электромагниттік сәулеленудің басқа да көздері кіреді. 4G/5G желілерінің дамуы [5, 6] және қосылған құрылғылар санының артуы жағдайында электромагниттік өрістердің кеңістіктік құрылымы барған сайын күрделене түсіп, біркелкі еместігі арта түсуде.

ЭМӨ деңгейлерінің таралуы көптеген факторларға байланысты:

- таратқыш құрылғылардың қуатына;
- антенналардың орналастыру биіктігіне;
- құрылыс тығыздығына;
- ғимараттардан шағылу және қайта шағылу құбылыстарына; телекоммуникациялық желілер жүктемесінің динамикасына.

Нәтижесінде электромагниттік сәулеленудің кеңістікте өзгермелі көрінісі қалыптасады, ол тіпті бір қалалық квартал шегінде де едәуір айырмашылық көрсетуі мүмкін.

Электромагниттік өрістерді (ЭМӨ) мониторингтеудің қолданыстағы тәсілдері, әдетте, жекелеген бақылау нүктелерінде өлшеулер жүргізуге бағытталған. Мұндай тәсіл сәулеленудің жергілікті деңгейлерін бағалауға мүмкіндік береді, алайда, ЭМӨ таралуының үздіксіз кеңістіктік көрінісін алуды қамтамасыз етпейді.

Қосымша қиындық ретінде сәулелену параметрлерінің уақыт бойынша өзгермелілігі табылады, ол желілер жүктемесінің өзгеруіне, базалық станциялардың жұмыс режимдеріне және абоненттік құрылғылардың қозғалысына байланысты. Нәтижесінде белгілі бір уақыт сәтінде алынған деректер электромагниттік жағдайдың нақты динамикасын әрдайым көрсете бермейді.

Осылайша, қалалық ортада ЭМӨ деңгейлерін бағалау үшін нүктелік өлшеулерден кеңістікте таралған мониторингке көшу қажет, бұл электромагниттік сәулелену карталарын қалыптастыруды және олардың уақыт бойынша өзгерістерін талдауды қамтамасыз етеді.

ЭМӨ мониторингінің қолданыстағы әдістерінің шектеулері

Қалалық ортада электромагниттік өрістерді мониторингтеудің заманауи тәсілдері шартты түрде стационарлық өлшеу кешендерін, мобильді зерттеу құралдарын және үлестірілген IoT-жүйелерін қамтиды [7, 8]. Бұл тәсілдердің әрқайсысы белгілі бір артықшылықтарға ие болғанымен, ЭМӨ таралуының үздіксіз кеңістіктік-уақыттық көрінісін қалыптастыруға мүмкіндік бермейтін елеулі шектеулерге де ие.

Стационарлық өлшеу кешендері нәтижелердің жоғары дәлдігін және метрологиялық негізділігін қамтамасыз етеді, бұл оларды санитарлық бақылау мен нормативтік талаптарға сәйкестікті растаудың негізгі құралына айналдырады. Сонымен қатар, олардың қолданылуы бекітілген орналастыру нүктелерімен шектеледі және сәулеленудің таралуы туралы кеңістікте үздіксіз деректер алуға мүмкіндік бермейді. Стационарлық посттар желісін кеңейту елеулі қаржылық және ұйымдастырушылық шығындармен байланысты.

Жылжымалы зертханалар мен тасымалданатын аспаптарды пайдалану арқылы жүргізілетін мобильді өлшеу зерттеулері мониторингтің аумақтық қамтуын кеңейтуге және қалалық инфрақұрылымның әртүрлі учаскелерін тексеруге мүмкіндік береді. Алайда, мұндай өлшеулер эпизодтық сипатқа ие, жүргізу жағдайларына тәуелді және электромагниттік жағдайдың тек белгілі бір сәттегі күйін ғана көрсетеді.

Үлестірілген IoT-жүйелері орта параметрлерін ұзақ мерзімді мониторингтеуге және өлшеулердің уақыттық қатарларын қалыптастыруға мүмкіндік береді. Дегенмен, олардың қолданылуы датчиктердің шектеулі дәлдігімен, орналастыру жағдайларына тәуелділігімен және белгісіздігі жоғары аймақтарды жедел түрде тексеру мүмкіндігінің болмауымен байланысты.

Осылайша, электромагниттік өрістерді мониторингтеудің қолданыстағы әдістері не шектеулі кеңістіктік қамту жағдайында жоғары дәлдікпен, не жеткіліксіз уақыттық және метрологиялық толықтық кезінде кеңейтілген қамтумен сипатталады. Бекітілген нүктелерде бір мезгілде бақылау жүргізуді және қалалық аумақты мобильді түрде зерттеуді қамтамасыз ететін кешенді тәсілдің болмауы стационарлық IoT-түйіндері мен ұшқышсыз ұшу аппараттары негізіндегі мобильді платформаларды біріктіретін гибридті мониторинг жүйесін әзірлеу қажеттігін айқындайды.

IoT және ұшқышсыз ұшу аппараттары (ҰҰА) негізіндегі мониторинг жүйесінің ұсынылатын гибридті архитектурасы

Қалалық ортадағы электромагниттік өрістің кеңістіктік біркелкі еместігі және қолданыстағы мониторинг әдістерінің шектеулері

Қалалық ортадағы ЭМӨ мониторинг әдістерін салыстыру

Әдіс	Артықшылықтары	Шектеулері
Стационарлық бекеттер	Жоғарғы дәлдік	Кеңістіктік толықтықтың болмауы
Мобильді зертханалар	Кеңейтілген қамту	Эпизодтық сипат
IoT-желі	Ұзақ мерзімді мониторинг	3D-карталаудың болмауы
Гибрид IoT+ҰҰА	Мониторингтің кеңістіктік-уақыттық толықтығы	Интеграцияның күрделілігі

жағдайында стационарлық және мобильді өлшеу құралдарын біріктіретін гибридті жүйелерді әзірлеу перспективалы бағыт болып табылады. Жұмыста өлшеу модульдерімен жабдықталған үлестірілген IoT-датчиктер желісі мен ұшқышсыз ұшу аппараттарын (ҰҰА) интеграциялауға негізделген электромагниттік сәулеленуді мониторингтеу жүйесінің архитектурасы ұсынылады [9, 10].

Ұсынылатын жүйе өзара толықтыратын екі деңгейден тұрады: қалалық инфрақұрылымның негізгі нүктелерінде орналастырылған IoT-түйіндер желісі түріндегі стационарлық деңгей және берілген аймақтарда және әртүрлі биіктіктерде өлшеулер жүргізетін ҰҰА-мен ұсынылған мобильді деңгей [9, 10]. IoT-датчиктер деректерді үздіксіз жинауды және уақыттық қатарларды қалыптастыруды қамтамасыз етеді, ал ҰҰА-тар кеңістіктік карталау мен белгісіздігі жоғары аймақтарда ЭМӨ таралуын нақтылау үшін қолданылады.

Жүйе құрылымдық тұрғыдан IoT өлшеу модульдерінен, ҰҰА негізіндегі мобильді өлшеу кешендерінен және деректерді өңдеу орталығынан тұрады. Стационарлық және мобильді түйіндерден алынған ақпарат бірыңғай өңдеу орталығына түседі, онда деректерді біріктіру, талдау және электромагниттік өрістің таралуының кеңістіктік-уақыттық модельдерін құру жүзеге асырылады.

Ұсынылып отырған жүйенің құрылымы 1-суретте көрсетілген.

Жүйенің жұмыс істеуі стационарлық IoT-түйіндер арқылы деректерді үздіксіз жинауды, ақпарат жеткіліксіз немесе ЭМӨ мәндері жоғары аймақтарды анықтауды, қосымша зерттеу жүргізу үшін ҰҰА-ларды бағыттауды және электромагниттік өрістің таралуының үш өлшемді карталарын қалыптастыруды, кейіннен деректерді аналитикалық жүйелер мен цифрлық басқару платформаларына беруді қамтиды.

Стационарлық және мобильді өлшеулерді интеграциялау қала аумағы бойынша ЭМӨ деңгейлерінің кеңістіктік таралуын, сәулеленудің тік профильдерін, уақыт бойынша өзгеру динамикасын және телекоммуникациялық желілердің жүктемесі жоғары аймақтарын алуға мүмкіндік береді. Бұл электромагниттік жағдайды талдауға, санитарлық бақылауды қолдауға және телекоммуникациялық инфрақұрылымды жоспарлау кезінде шешім қабылдауға жағдай жасайды.

Ұсынылып отырған тәсілдің жаңалығы стационарлық және мобильді мониторингті қалалық ортадағы электромагниттік өрістердің таралуының кеңістіктік-уақыттық көрінісін қалыптастыруды қамтамасыз ететін бірыңғай архитектураға интеграциялауда жатыр.

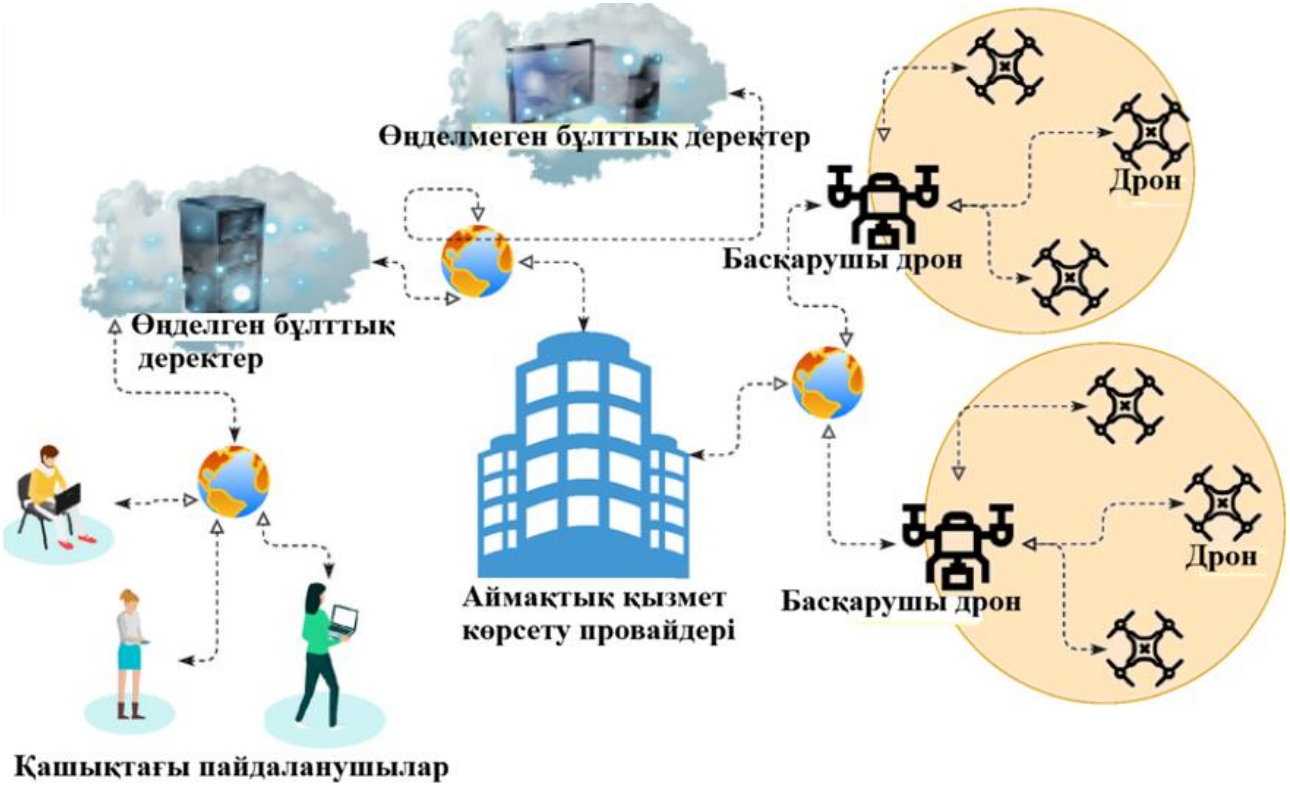
ЭМӨ мониторингінің гибридті жүйесін қолданудың практикалық сценарийлері

Ұсынылып отырған электромагниттік өрістерді мониторингтеудің гибридті архитектурасы қалалық инфрақұрылымды басқару, санитарлық бақылау және телекоммуникациялық желілерді жоспарлау міндеттерінде қолдануға бағытталған. Стационарлық IoT-түйіндер мен ҰҰА негізіндегі мобильді платформаларды интеграциялау кеңістікте таралған деректерді алуға және белгісіздігі жоғары аймақтарды жедел түрде тексеруге мүмкіндік береді.

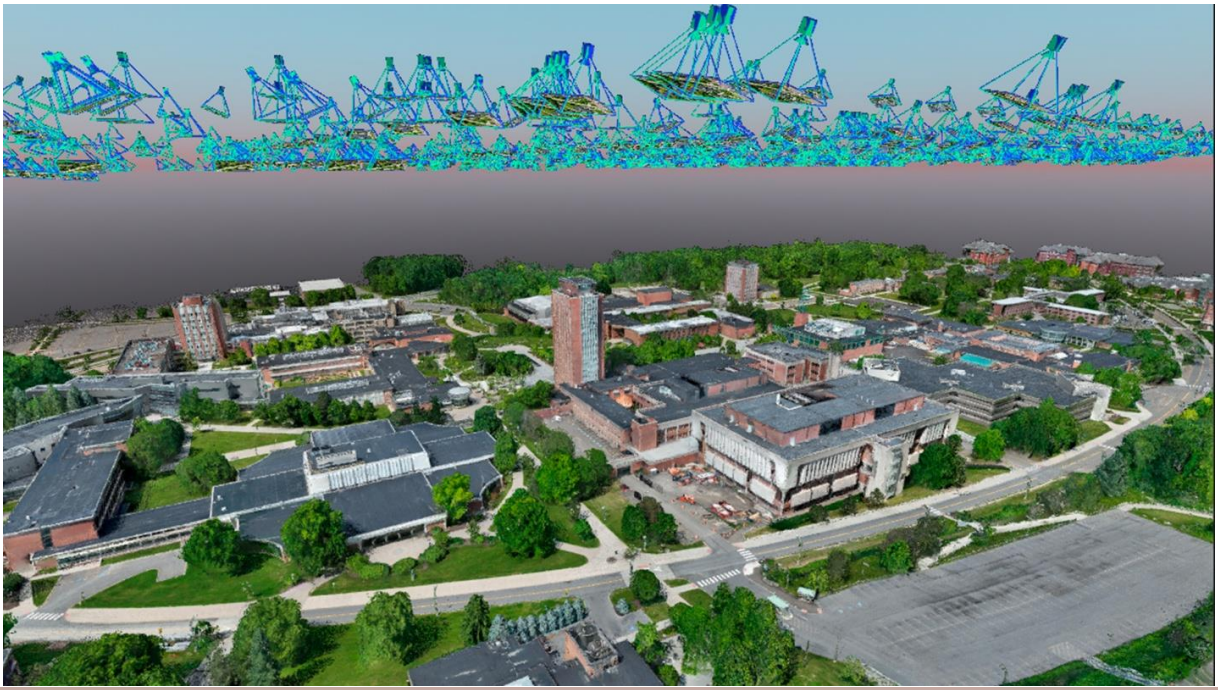
Қолданудың негізгі бағыттарының бірі – халық көп шоғырланатын аймақтарда электромагниттік сәулелену деңгейлерін санитарлық бақылау. Үлестірілген датчиктер желісі мен мобильді өлшеу құралдарын пайдалану ЭМӨ деңгейі жоғары учаскелерді жедел анықтауға және оларды қосымша тексеруге мүмкіндік береді.

Жүйе ұялы байланыс базалық станцияларын орналастыруды жоспарлау және оңтайландыру кезінде қолданылуы мүмкін. Сәулеленудің таралуының кеңістіктік карталарын қалыптастыру инфрақұрылымның қоршаған ортаға әсерін бағалауға және таратқыш құрылғыларды орналастырудың оңтайлы параметрлерін таңдауға мүмкіндік береді.

Қосымша бағыттардың бірі – гибридті мониторингті Smart City тұжырымдамасы аясында пайдалану. ЭМӨ таралуы туралы деректерді қалалық цифрлық платформаларға интеграциялау инфрақұрылымды басқару, экологиялық мониторинг және ақпараттық



1-сурет – IoT-түйіндер мен ҰҰА негізіндегі электромагниттік өрістерді мониторингтеудің гибридті жүйесінің архитектурасы



2-сурет – ҰҰА деректері негізінде ЭМӨ таралуының үшөлшемді кеңістіктік моделін қалыптастыру мысалы

қауіпсіздік салаларында шешім қабылдауды қолдауды қамтамасыз етеді.

Жүйені сәулелену параметрлерін тұрақты бақылау және олардың өзгерістеріне жедел

әрекет ету талап етілетін критикалық инфрақұрылым объектілерінің, көлік тораптарының және өнеркәсіптік аймақтардың маңындағы электромагниттік жағдайды талдау үшін қолдану перспективалы болып табылады.

Қорытынды. Жұмыста телекоммуникациялық инфрақұрылым тығыздығының артуына және сәулеленудің таралуының кеңістіктік біркелкі еместігіне байланысты қалалық ортадағы электромагниттік өрістерді мониторингтеу мәселесі қарастырылды. Стационарлық өлшеулерге, мобильді зерттеулерге және үлестірілген IoT-жүйелеріне негізделген қолданыстағы тәсілдердің бақылаулардың кеңістіктік толықтығы мен уақыттық динамикасының жеткіліксіздігімен байланысты бірқатар шектеулері бар екені көрсетілді.

Стационарлық IoT-түйіндер мен ұшқышсыз ұшу аппараттары негізіндегі мобильді өлшеу платформаларын интеграциялауға негізделген мониторинг жүйесінің гибридті архитектурасы ұсынылды. Мұндай тәсіл электромагниттік өрістердің таралуының кеңістіктік-уақыттық көрінісін қалыптастыруды қамтамасыз етеді және бақылау нүктелеріндегі ұзақ мерзімді бақылауды жекелеген аймақтарды жедел зерттеумен ұштастыруға мүмкіндік береді.

Гибридті архитектураны қолдану санитарлық бақылау мүмкіндіктерін кеңейтетіні, EMF талаптарына сәйкестікті (EMF-compliance) қолдауды және телекоммуникациялық инфрақұрылымды жоспарлауды жетілдіретіні көрсетілді [1-3]. Мониторинг деректерін қалалық ортаны басқарудың цифрлық платформаларына интеграциялау Smart City дамытуының заманауи тәсілдеріне сәйкес келеді.

Ұсынылып отырған жүйе экологиялық мониторинг, электромагниттік жағдайды талдау және телекоммуникациялық желілердің қалалық ортаға әсерін бағалау міндеттерінде қолданылуы мүмкін.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz). 2020.
2. IEEE Std C95.1-2019. Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields.
3. ITU-T Recommendation K.52. Guidance on complying with limits for human exposure to electromagnetic fields. 2021.
4. Министерство здравоохранения РК. Санитарные правила «Санитарно-эпидемиологические требования к радиотехническим объектам». Приказ № ҚР ДСМ-19 от 28.02.2022.
5. Andrews J. et al. What Will 5G Be? IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2014.
6. Rappaport T. et al. Millimeter Wave Mobile Communications for 5G Cellular. IEEE Access, 2013.
7. Gubbi J. et al. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and applications. Future Generation Computer Systems, 2013.
8. Zanella A. et al. Internet of Things for Smart Cities. IEEE Internet of Things Journal, 2014.
9. Colomina I., Molina P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing. ISPRS Journal, 2014.
10. Hassan M. UAV-based wireless sensing architectures. Sensors, 2021.

Гибридная система БПЛА IoT+ для мониторинга электромагнитного поля в городской среде

[1]*НУРПЕИСОВА Динара Абдижамиловна, *магистр, сениор лектор, d.nurpeissova@turan-edu.kz, http://orcid.org/0009-0002-7942-3075,*
[1]ТАЙСАРИЕВА Кырмызы Нурлановна, *PhD, ассоциированный профессор, k.taisariyeva@satbayev.university, http://orcid.org/0000-0002-1949-4288,*
[2]АНДЖЕЙ Ежи Смоляж, *д.т.н., профессор, a.smolarz@pollub.pl, http://orcid.org/0000-0002-6473-9627,*

[3]**ЛУГАНСКАЯ Сауле Плановна,** *магистр, сениор лектор, saule.kaus@gmail.com, http://orcid.org/0000-0003-0776-4161,*
[4]**ЖАСАНДЫКЫЗЫ Марал,** *PhD, ассоциированный профессор, m.zhassandykyzy@iitu.edu.kz, http://orcid.org/0000-0003-2374-7468,*
[1]Satbayev University, Алматы, Казахстан,
[2]Люблинский политехнический университет, Люблин, Польша,
[3]Университет «Туран», Алматы, Казахстан,
[4]Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Работа посвящена проблеме мониторинга электромагнитных полей (ЭМП) в городской среде в условиях роста плотности телекоммуникационной инфраструктуры и развития платформ Smart City. Проанализированы ограничения классических измерительных методов и стационарных IoT-систем при формировании пространственно-полной картины распределения ЭМП. Предложена концепция гибридной IoT+БПЛА системы мониторинга, сочетающей длительное наблюдение в контрольных точках и мобильное пространственное обследование с формированием 3D-карт. Рассмотрен нормативный контекст EMF-compliance с учётом международных рекомендаций ICNIRP и санитарных требований Республики Казахстан. Показаны возможные сценарии применения гибридной архитектуры для санитарного контроля и задач Smart City. Подход ориентирован на повышение пространственной репрезентативности мониторинга и поддержку процедур оценки соответствия.*

Ключевые слова: *EMF, IoT, UAV, Smart City, 3D monitoring, EMF compliance.*

Hybrid IoT+ UAV System for Monitoring the Electromagnetic Field in the Urban Environment

[1]***NURPEISOVA Dinara,** *Master's Degree, Senior Lecturer, d.nurpeissova@turan-edu.kz, http://orcid.org/0009-0002-7942-3075,*
[1]**TAISARIYEVA Kyrmyzy,** *PhD, Associate Professor, k.taisariyeva@satbayev.university, http://orcid.org/0000-0002-1949-4288,*
[2]**ANDRZEJ Jerzy,** *Dr. of Tech. Sc., Professor, a.smolarz@pollub.pl, http://orcid.org/0000-0002-6473-9627,*
[3]**LUGANSKAYA Saule,** *Master's Degree, Senior Lecturer, saule.kaus@gmail.com, http://orcid.org/0000-0003-0776-4161,*
[4]**ZHASANDYKYZY Maral,** *PhD, Associate Professor, m.zhassandykyzy@iitu.edu.kz, http://orcid.org/0000-0003-2374-7468,*
[1]Satbayev University, Almaty, Kazakhstan,
[2]Lublin University of Technology, Lublin, Poland,
[3]Turan University, Almaty, Kazakhstan,
[4]International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan,
**corresponding author.*

Abstract. *The paper addresses the problem of electromagnetic field (EMF) monitoring in urban environments under conditions of increasing telecommunication infrastructure density and Smart City development. The limitations of conventional measurement methods and stationary IoT-based monitoring systems in forming a spatially comprehensive representation of EMF distribution are analyzed. A concept of a hybrid monitoring system integrating IoT sensors and unmanned aerial vehicles (UAVs) is proposed, combining long-term fixed-point observations with mobile spatial surveys and 3D mapping capabilities. The regulatory framework of EMF compliance is considered with reference to ICNIRP guidelines and national sanitary regulations of the Republic of Kazakhstan. Possible application scenarios of the hybrid architecture for sanitary control and Smart City tasks are presented. The proposed approach is aimed at improving the spatial representativeness of monitoring and supporting compliance assessment procedures.*

Keywords: *EMF, IoT, UAV, Smart City, 3D monitoring, EMF compliance.*

REFERENCES

1. ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz). 2020.
2. IEEE Std C95.1-2019. Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields.
3. ITU-T Recommendation K.52. Guidance on complying with limits for human exposure to electromagnetic fields. 2021.
4. Ministers Vo zdravookhraneniya Respubliki Kazakhstan. Sanitarnye pravila «Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k radiotekhnicheskim ob"ektam». 2022.
5. Andrews J. et al. What Will 5G Be? IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2014.
6. Rappaport T. et al. Millimeter Wave Mobile Communications for 5G Cellular. IEEE Access, 2013.
7. Gubbi J. et al. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and applications. Future Generation Computer Systems, 2013.
8. Zanella A. et al. Internet of Things for Smart Cities. IEEE Internet of Things Journal, 2014.
9. Colomina I., Molina P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing. ISPRS Journal, 2014.
10. Hassan M. UAV-based wireless sensing architectures. Sensors, 2021.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_464 UDC 004.9

Adaptation of the Alphazero Neural Network Model of Optimization Methods and Learning Algorithms Using Artificial Intelligence for the Kazakh National Game

***KISSINA Mira,** *Master's Degree, Teacher, motya.2002@mail.ru,*
***DYUSSEMBAYEVA Ainur,** *Master's Degree, Teacher, kz007ua@mail.ru,*
***SAIMANOVA Zagira,** *PhD, Acting Associate Professor, zagira@mail.ru,*
***MUKHAMETZHANOVA Bigul,** *PhD, Acting Associate Professor, grek79@mail.ru,*
***ZHUSSIPOVA Zhibek,** *Master's Degree, Teacher, jussipova_jibek@mail.ru,*
Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
**corresponding author.*

***Abstract.** An adaptation of the AlphaZero model for the game Togyzkumalak, a national Kazakh board game with high combinatorial complexity is presented. The aim of the research was to develop an artificial intelligence capable of independently learning optimal game strategies without using predefined templates. The paper uses an approach based on the modification of the architecture of the AlphaZero neural network, which includes deep learning and the Monte Carlo search method (MCTS). The model was implemented on the PyTorch platform and was trained in the process of self-play, which allowed us to gradually improve strategic skills. The key features of Togyzkumalak's game are taken into account, such as a large number of possible positions on the playing field, and specialized network architectures have been developed for their effective modeling. The results demonstrate the significant potential of combining deep learning and MCTS to solve non-standard game tasks and create effective strategies in Togyzkumalak.*

***Keywords:** neural network, model, Togyzkumalak, layer, integration, game, algorithm, generation, adaptation.*

Introduction

The development of artificial intelligence (AI) in the modern world opens up new horizons for the study, popularization, and preservation of cultural heritage [1]. One important application of AI lies in modeling intellectual games that require complex strategic thinking. In this context, particular attention should be given to national board games such as Togyzkumalak [2], which not only have a rich historical background but also serve as powerful tools for the development of logical thinking.

Togyzkumalak, a traditional Kazakh game, is distinguished by its strategic depth and mathematical foundation. Its rules involve complex calculations, making it a suitable domain for testing AI capabilities. While games such as chess and Go have been extensively researched within the AI community, the application of modern neural network approaches to Togyzkumalak remains insufficiently explored.

The utilization of deep learning algorithms, such as AlphaZero, not only demonstrates a high level of AI proficiency but also contributes to the promotion of cultural heritage by generating global interest in national games. Adapting the AlphaZero model for Togyzkumalak presents a significant scientific challenge. This study examines the development and training of such a model, alongside an analysis of its effectiveness compared to traditional approaches. Special emphasis is placed on optimizing search and learning algorithms tailored to the unique characteristics of Togyzkumalak [3], including its distinctive game mechanics and the critical role of strategic planning. The findings may provide valuable insights for further investigations into mind games and the advancement of AI algorithms applicable within various cultural contexts.

The process of developing and training an AlphaZero-based model for Togyzkumalak is considered herein. The resulting approach has potential utility as a tool for integrating

intellectual games into educational programs aimed at fostering critical and strategic thinking among learners [4]. Furthermore, the application of contemporary neural network technologies to national games can catalyze interest in preserving and popularizing cultural heritage amid ongoing digital transformation, thereby supporting the maintenance and development of national identity.

Togyzkumalak is a Kazakh board game recognized for its strategic depth and mathematical basis. The playing field consists of two rows of nine holes, each containing a certain number of stones – kumalaks. Players take turns sequentially, redistributing the stones from the chosen hole in a clockwise direction across the game board. The objective is to accumulate more kumalaks than the opponent by employing strategic moves and adhering to rules such as the capture of «tuzdyks». Despite the apparent simplicity of the rules, the game exhibits high computational complexity. Research indicates that after 11 half-moves, the number of possible positions in Togyzkumalak reaches approximately 15 billion, underscoring its strategic depth. The estimated total number of possible games is on the order of 10^83, rendering Togyzkumalak comparable in complexity to chess [5-6].

Research objects and methods

To simulate the game, a modified AlphaZero neural network architecture was used, including Monte Carlo Search Graphs (MCTS) [7] and deep learning. AlphaZero is based on two components: a policy network that determines the probabilities of various moves, and a value network that evaluates the winningness of the current position. This approach allows minimizing dependence on pre-programmed strategies and facilitates adaptation to the specifics of Togyzkumalak. The model is implemented in PyTorch and consists of three main modules: an input layer, a set of residual blocks for feature extraction, and an output layer representing the policy and value networks. Each layer is described in more detail below (Figure).

Figure shows that the input layer encodes the game state as a vector of dimension 2×ACTION_SIZE+3, where ACTION_SIZE represents the total number of possible moves, and the additional elements reflect the current phase of the game and the active player. This layer employs a fully connected network with the SiLU activation function and batch normalization [2]. The residual blocks comprise 19 layers, each containing two fully connected layers with normalization, activation, and residual connections, which facilitate the preservation of information about the original state.

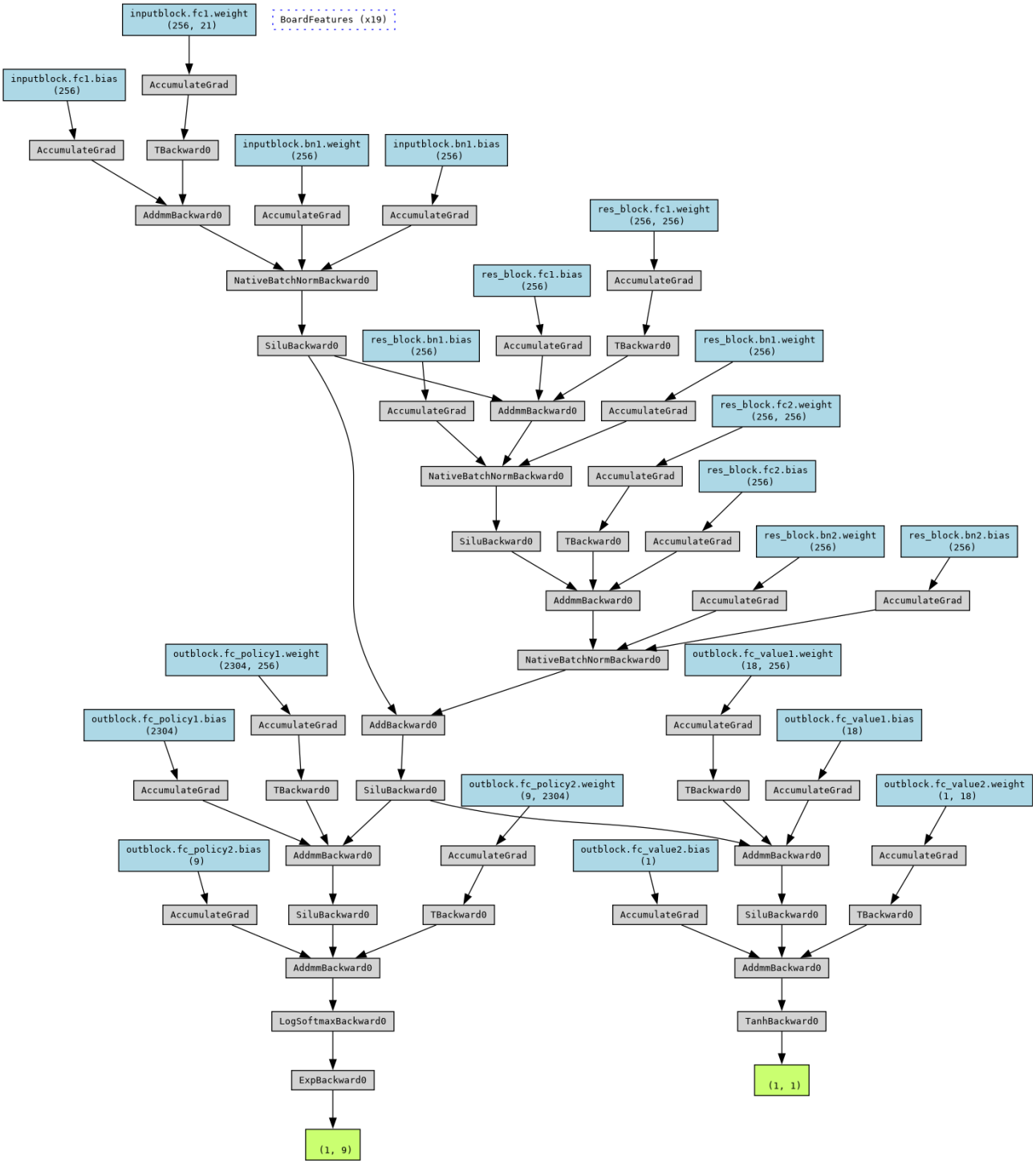
The output layer is divided into two branches. The first generates probabilities for all possible moves (policy) using LogSoftmax and exponential activation. The second calculates a numerical estimate of the state (value) using a hyperbolic tangent, limiting the result to the range from -1 to 1. The environment for simulating the game was developed taking into account the characteristics of Togyzkumalak [8].

It includes:

- Generation of possible moves taking into account rules and exceptional situations, such as «tuzdyk».
- Evaluation of final states (win, defeat, draw) and determination of transitions between states.
- Interface for interaction with the MCTS search algorithm [9].

The model was trained using an iterative approach typical of AlphaZero. At each iteration, the neural network played many games against itself, gradually improving its parameters by combining data on the progress of the game and its outcomes. About 10 thousand games were played during the training. The model was trained using an iterative approach typical of AlphaZero [10]. At each iteration, the neural network played many games against itself, gradually improving its parameters by combining data on the progress of the game and its outcomes. About 10 thousand games were played during the training. Due to limitations in computing power, the results achieved were modest, but the progress of the model was obvious. By comparison, the original AlphaZero for chess used 5,000 TPUs for self-play and 64 TPUs for training, which greatly exceeds the available resources. This approach showed that even with limited computational resources, noticeable progress in the game of the model can be achieved. Using MCTS in combination with a deep neural network allowed us to achieve a basic level of strategy and adaptability [11].

The trained model achieved noticeable progress in the game against other algorithms and people. She consistently beat minimax with an alpha-beta cutoff at a depth of 2 half moves, demonstrating the ability to evaluate positions and choose more promising moves. The model showed confident results against novice players, winning in most games [12-13]. However, when playing with experienced players, her strategic understanding remained limited, due to the relatively small volume of games played and limited computing resources. The model training process took about one week, including all stages of setup and iteration. This time was spent on generating 10 thousand games of self-play and subsequent optimization of network parameters. Using a single NVIDIA RTX 4090 GPU limited the processing speed, making training less extensive



AlphaZero model architecture

than the original AlphaZero implementation.

The AlphaZero model for Togyzkumalak showed significant advantages compared to classical algorithms such as minimax. Unlike minimax, which require an exponential increase in computational costs as the depth of analysis increases, a neural network trained by the self-play method is able to evaluate positions and make decisions using pre-generated knowledge, which makes it more effective in practice [14-15].

However, due to the limited number of batches and resources, the model is inferior to classical algorithms at greater depths of analysis, where minimax with alpha-beta cutoff can calculate accurate position values. However, the AlphaZero approach shows great potential for further development using more powerful computing systems and increasing data volumes.

Results and discussion

Adaptation of the AlphaZero model for Togyzkumalak required significant modifications. Unlike chess, the game Togyzkumalak has unique rules that affect the strategy and possible moves. One of the key features is the need to handle the game state, which includes 18 holes, each of which can contain up to several dozen kumalaks. This results in a huge number of possible positions, estimated at 108310^{83}. To take these features into account, neural network architecture was developed, including specialized input layers to represent the game state, as well as blocks to highlight the features of the playing field. Using Monte Carlo search (MCTS) in combination with a deep neural network allowed the model to independently learn optimal strategies without depending on predefined patterns. However, limited computing power has taken a toll on her performance, highlighting the importance of large-scale resources to realize the full potential of the AlphaZero approach.

The development of a neural network model for the game Togyzkumalak makes a significant contribution in several directions. First, the work demonstrates the versatility of modern deep learning methods and their applicability to solving non-standard problems. This expands the boundaries of the use of artificial intelligence technologies and promotes their integration into educational and cultural projects. Secondly, this work contributes to the popularization of Togyzkumalak, the national Kazakh board game, both locally and internationally. Creating an algorithm that can analyze and play a game at a high level makes it possible to introduce its rules, strategy and cultural heritage to a wider audience. This, in turn, strengthens interest in national culture and contributes to its preservation in the context of digitalization of society. Thus, the adaptation of AlphaZero to Togyzkumalak is not only an example of the successful application of artificial intelligence technologies, but also a significant step in the development of the cultural and educational potential of information technologies.

Conclusions

As part of the research, an adapted version of the AlphaZero model was developed for the game Togyzkumalak. The model showed the ability to learn optimal strategies through self-play, demonstrating results superior to minimax with an alpha-beta cutoff at an analysis depth of two half-moves. Despite limited resources, learning progress was achieved, confirming the applicability of the AlphaZero approach to problems with high combinatorial complexity. The model has demonstrated potential for automated game analysis and training for novices. It also marked the first step towards creating AI that can play at the level of experienced players. The development of the AlphaZero model for Togyzkumalak opens up prospects for both scientific research and practical application, strengthening the connection between technology and culture. In the future, the development of several key areas aimed at improving the adapted AlphaZero model for the game Togyzkumalak is planned. First of all, a multi-level training system will be created, taking into account different skill levels of players, from beginners to professionals, which will allow more accurate modeling of the learning process and adaptation of strategic recommendations.

REFERENCES

1. Zhunusov, A.V. Development of strategic thinking through Kazakh intellectual games. – Almaty: Kazakh University, 2020. – 189 p.
2. Dalieva, A., Matylov, S., Akshurev, A. Togyzkumalak: history, rules and strategies of the game. – Almaty: [ed. not specified], 2021. – 200 p.
3. Kim E. V., Sagynbekova A. R. Application of neural networks in the tasks of cultural heritage analysis // Innovations in science and education. 2019. Vol. 7, No. 4. Pp. 123-130.
4. Zhumanov A.J., Mukhamedyarova N.N. Intellectual games as a tool for developing cognitive skills in educational practice // Education and Science. 2021. Vol. 23, No. 5. Pp. 124-132.
5. Silver, D., Hubert, T., Schrittwieser, J., Antonoglou, I., Lai, M., Guez, A., et al. A General-Purpose Reinforcement Learning Algorithm that Learns Chess, Shogi, and Go Through Self-Supervision. Science, 2018, vol. 362, no. 6419, pp. 1140-1144.
6. Abdrasulov, T.B. Togyzkumalak and its significance in traditional Kazakh culture. – Almaty: Shygarmashylyk, 2017. – 158 p.
7. Turgumbaev T.S., Aliev B.B. Modern approaches to the use of artificial intelligence in solving intellectual

games // Bulletin of KazNU. The series is physical and mathematical. 2019. Vol. 62, No. 2. Pp. 78-89.
8. Smith D. Graph search methods in artificial intelligence systems // Journal of Computational Methods. – 2020. – T. 45. – No. 3. – Pp. 56-67.
9. Shapiyan M.S., Nurgazina L.K. Traditional Kazakh games and their role in the formation of logical thinking in children // Cultural Heritage of Kazakhstan. 2018. Vol. 5, No. 2. Pp. 45-52.
10. Silver D., Schritviser J., Simonyan K. et al. Mastering the game of Go without human knowledge // Nature. 2018. Volume 550, No. 7676. Pp. 354-359. DOI: 10.1038/nature24270
11. Coulomans D., Brouwer H., Bellard M. Monte Carlo Tree Search: A Survey of Methods and Applications // IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games. 2011. Vol. 4, No. 1. Pp. 1-43.
12. Shakhnovich I.L. Methods of artificial intelligence in solving complex game problems // Algorithms and methods for solving problems using AI. Saint Petersburg: SPbGTI, 2017. Pp. 98-102.
13. Mnikh V., Kavukcuoglu K., Silver D. and others. Human-level management through deep reinforcement learning // Nature. 2015. Volume 518, No. 7540. Pp. 529-533. DOI: 10.1038/nature14236
14. Lake B.M., Ulman T.D., Tenenbaum J.B., Gershman S.J. Creation of machines that learn and think like humans // Sciences of behavior and the brain. 2017. Volume 40. P. 253. DOI: 10.1017/S0140525X16001837
15. Smith J.A., Green M. Scientific intelligence and traditional games: possibilities and conclusions // Journal of Artificial Intelligence Research. 2020. Vol. 7, No. 2. Pp. 45-60.

Қазақ ұлттық ойыны үшін жасанды интеллектті қолдану арқылы оңтайландыру әдістері мен оқыту алгоритмдерін Alphazero нейрондық желісінің моделін бейімдеу

***КИСИНА Мира Каиржановна,** магистр, оқытушы, motya.2002@mail.ru,*
***ДЮСЕМБАЕВА Айнұр Нұрланқызы,** магистр, оқытушы, kz007ua@mail.ru,*
***САЙМАНОВА Загира Бекетаевна,** PhD, доцент м.а., zagira@mail.ru,*
***МУХАМЕТЖАНОВА Бигуль Олжабаевна,** PhD, доцент м.а., grek79@mail.ru,*
***ЖҮСІПОВА Жібек Құдайбергенқызы,** магистр, оқытушы, jussipova_jibek@mail.ru,*
Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

***Аңдатпа.** Alphazero моделінің «Тоғызқұмалақ» ойыны – комбинаторлық күрделілігі жоғары ұлттық қазақ үстел ойыны үшін бейімделуі ұсынылған. Зерттеудің негізгі мақсаты – алдын-ала белгіленген шаблондарды қолданбай ойынның оңтайлы стратегияларын өз бетінше үйренуге қабілетті жасанды интеллект жасау. Жұмыста Монте-Карло (MCTS) көмегімен терең оқыту мен іздеу әдісін қамтитын Alphazero нейрондық желі архитектурасының модификациясына негізделген тәсіл қолданылды. Модель PyTorch платформасында жүзеге асырылып, өзін-өзі қарсыласып ойнау әдісі арқылы оқытылды, бұл стратегиялық дағдылардың кезең-кезеңімен жетілуіне мүмкіндік берді. Тоғызқұмалақ ойынның негізгі ерекшеліктерін, ойын алаңындағы мүмкін позициялардың көптігін ескеріп, оларды тиімді модельдеу үшін арнайы желілік архитектуралар әзірленді. Нәтижесінде оқыту мен MCTS әдістерін біріктірудің стандартты емес ойын мәселелерін шешуде және ойында тиімді стратегиялар құруда айтарлықтай потенциалға ие екенін көрсетті.*

***Кілт сөздер:** нейрондық желі, модель, Тоғызқұмалақ, қабат, интеграция, ойын, алгоритм, генерация, бейімделу.*

Адаптация модели нейронной сети Alphazero методов оптимизации и алгоритмов обучения с использованием искусственного интеллекта для казахской национальной игры

***КИСИНА Мира Каиржановна,** магистр, преподаватель, motya.2002@mail.ru,*
***ДЮСЕМБАЕВА Айнұр Нұрланқызы,** магистр, преподаватель, kz007ua@mail.ru,*
***САЙМАНОВА Загира Бекетаевна,** PhD, и.о. доцента, zagira@mail.ru,*
***МУХАМЕТЖАНОВА Бигуль Олжабаевна,** PhD, и.о. доцента, grek79@mail.ru,*

ЖҮСІПОВА Жібек Құдайбергенқызы, *магистр, преподаватель, jussipova_jibek@mail.ru, Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан, *автор-корреспондент.*

Аннотация. *Представлена адаптация модели AlphaZero для игры «Тогызкумалак» – национальной казахской настольной игры с высокой комбинаторной сложностью. Целью исследования являлась разработка искусственного интеллекта, способного самостоятельно обучаться оптимальным стратегиям игры без использования заранее заданных шаблонов. В работе применён подход, основанный на модификации архитектуры нейронной сети AlphaZero, включающей глубокое обучение и метод поиска с помощью Монте-Карло (MCTS). Модель была реализована на платформе PyTorch и обучалась в процессе самоигры, что позволило постепенно улучшать стратегические навыки. Учтены ключевые особенности игры «Тогызкумалака», такие как большое количество возможных позиций на игровом поле, и разработаны специализированные архитектуры сети для их эффективного моделирования. Полученные результаты демонстрируют значительный потенциал сочетания глубокого обучения и MCTS для решения нестандартных игровых задач и создания эффективных стратегий в игре.*

Ключевые слова: *нейронная сеть, модель, Тогызкумалак, слой, интеграция, игра, алгоритм, генерация, адаптация.*

REFERENCES

1. Zhunusov, A.V. Development of strategic thinking through Kazakh intellectual games. – Almaty: Kazakh University, 2020. – 189 p.
2. Dalieva, A., Matylov, S., Akshurev, A. Togyzkumalak: history, rules and strategies of the game. – Almaty: [ed. not specified], 2021. – 200 p.
3. Kim E. V., Sagynbekova A. R. Application of neural networks in the tasks of cultural heritage analysis // Innovations in science and education. 2019. Vol. 7, No. 4. Pp. 123-130.
4. Zhumanov A.J., Mukhamedyarova N.N. Intellectual games as a tool for developing cognitive skills in educational practice // Education and Science. 2021. Vol. 23, No. 5. Pp. 124-132.
5. Silver, D., Hubert, T., Schrittwieser, J., Antonoglou, I., Lai, M., Guez, A., et al. A General-Purpose Reinforcement Learning Algorithm that Learns Chess, Shogi, and Go Through Self-Supervision. Science, 2018, vol. 362, no. 6419, pp. 1140-1144.
6. Abdrasulov, T.B. Togyzkumalak and its significance in traditional Kazakh culture. – Almaty: Shygarmashylyk, 2017. – 158 p.
7. Turgumbaev T.S., Aliev B.B. Modern approaches to the use of artificial intelligence in solving intellectual games // Bulletin of KazNU. The series is physical and mathematical. 2019. Vol. 62, No. 2. Pp. 78-89.
8. Smith D. Graph search methods in artificial intelligence systems // Journal of Computational Methods. – 2020. – T. 45. – No. 3. – Pp. 56-67.
9. Shapiyan M.S., Nurgazina L.K. Traditional Kazakh games and their role in the formation of logical thinking in children // Cultural Heritage of Kazakhstan. 2018. Vol. 5, No. 2. Pp. 45-52.
10. Silver D., Schritviser J., Simonyan K. et al. Mastering the game of Go without human knowledge // Nature. 2018. Volume 550, No. 7676. Pp. 354-359. DOI: 10.1038/nature24270
11. Coulomans D., Brouwer H., Bellard M. Monte Carlo Tree Search: A Survey of Methods and Applications // IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games. 2011. Vol. 4, No. 1. Pp. 1-43.
12. Shakhnovich I.L. Methods of artificial intelligence in solving complex game problems // Algorithms and methods for solving problems using AI. Saint Petersburg: SPbGTI, 2017. Pp. 98-102.
13. Mnikh V., Kavukcuoglu K., Silver D. and others. Human-level management through deep reinforcement learning // Nature. 2015. Volume 518, No. 7540. Pp. 529-533. DOI: 10.1038/nature14236
14. Lake B.M., Ulman T.D., Tenenbaum J.B., Gershman S.J. Creation of machines that learn and think like humans // Sciences of behavior and the brain. 2017. Volume 40. P. 253. DOI: 10.1017/S0140525X16001837
15. Smith J.A., Green M. Scientific intelligence and traditional games: possibilities and conclusions // Journal of Artificial Intelligence Research. 2020. Vol. 7, No. 2. Pp. 45-60.

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_470 UDC 004.4'24(045)

Methods for Selecting Test Items in Adaptive Testing Systems

[1]***ISKAKOVA Almira,** Doctoral Student, n.a.almira.24@gmail.com,
[1]**SALYKOVA Olga,** Cand. of Tech. Sc., Associate Professor, solga0603@mail.ru,
[2]**DIDARBEKOVA Nauzhan,** Cand. of Philol. Sc., Deputy Director, didarbekova.83@gmail.com,
[1]**ABUOV Adilkhan,** Doctoral Student, adilkhan.abuov@gmail.com,
[1]**ARTYKBAEVA Assel,** Doctoral Student, assel4896@gmail.com,
[1]Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, Kostanay, Kazakhstan,
[2]National Testing Center, Astana, Kazakhstan,
*corresponding author.

Abstract. *Computerized adaptive testing (CAT) is a dynamic and interactive process between the test taker and the testing system. Adaptive testing is an assessment method in which the selection and difficulty of test items change dynamically based on the examinee's responses, ensuring an individualized testing process. CAT has become a significant advancement in improving approaches to assessing learning outcomes, as it makes it possible to measure a latent variable – the learners' level of proficiency. The purpose of this study is to investigate methods for selecting test items in computerized adaptive testing, as well as to analyze the effectiveness of adaptive testing in assessing learners' proficiency levels. To achieve this objective, test items from a general secondary school physics course were used. The data obtained are planned to be used further for training a machine learning model.*

Keywords: *computerized adaptive testing, item difficulty, proficiency level, item selection, prior estimation, posterior estimation, measurement error.*

Introduction

Computerized adaptive testing, originating in psychometrics, enables efficient assessment of proficiency levels through personalized item selection. Traditional fixed-length tests are usually used to assess proficiency within a limited range, as most test items are designed for examinees with an average level of preparedness. CAT represents a testing method that ensures accurate estimation of learners' proficiency in a specific domain by adaptively selecting a small number of test items. As shown in Figure 1, unlike traditional paper-based testing, computerized adaptive tests match item parameters to the proficiency level of each examinee, thereby achieving maximum measurement precision with minimal test length [1].

Computer adaptive testing (CAT) assesses the examinee's level of proficiency after each response to an item. This is achieved using a probabilistic model that incorporates responses to previously administered items. The adaptive nature of the testing process allows the selection of items that provide the maximum amount of information about the examinee's current proficiency level [2].

CAT systems ensure more reliable measurement with shorter tests, as the adaptive approach implemented in CAT designs makes it possible to exclude items that are too easy or excessively difficult. This reduces the total number of items in the test and the time required to complete it.

Materials and Methods

Computer adaptive testing systems differ in the algorithms used for item selection, methods for estimating proficiency, and test termination criteria. The CAT workflow is illustrated in Figure 2. At the initial stage, the examinee's prior proficiency level is determined. This level is identified based on the results of an entry pretest conducted before the start of adaptive testing. In practice, some researchers recommend initiating adaptive testing with an item of medium difficulty [3]. The known initial proficiency estimate is required for selecting and presenting the first item to the examinee. After the first item is completed, the posterior proficiency level is estimated using the selected estimation method, and a new item is selected from the item bank in accordance with the previously estimated proficiency level. As a rule, if the examinee answers an item correctly, a

more difficult item that better matches the estimated proficiency level is selected; conversely, an easier item is chosen following an incorrect response. The cycle of item selection and proficiency estimation is repeated until a test termination rule is met. The CAT process typically terminates based on a predefined test length, time constraints, or a precision-based stopping criterion.

At present, adaptive testing systems commonly employ an item selection optimization process based on matching item difficulty levels with examinees' proficiency levels. This necessitates the use of a unified interval scale applied within the framework of Item Response Theory (IRT). IRT plays a key and fundamental role in adaptive testing, as it enables comparison between examinees' proficiency levels and item parameters and allows estimation of response probabilities. IRT typically employs one of the following models: the one-parameter Rasch model, the two-parameter Birnbaum model, or the three-parameter model.

According to Rasch model, examinees' proficiency levels are described by a single latent variable θ, and each test item is characterized by a single difficulty parameter β_i. The probability of a correct response to item i, given a proficiency level θ, is defined as:

$$P(X_i = 1 \mid \theta, \beta_i) = \frac{e^{\theta-\beta_i}}{1+e^{\theta-\beta_i}}.$$

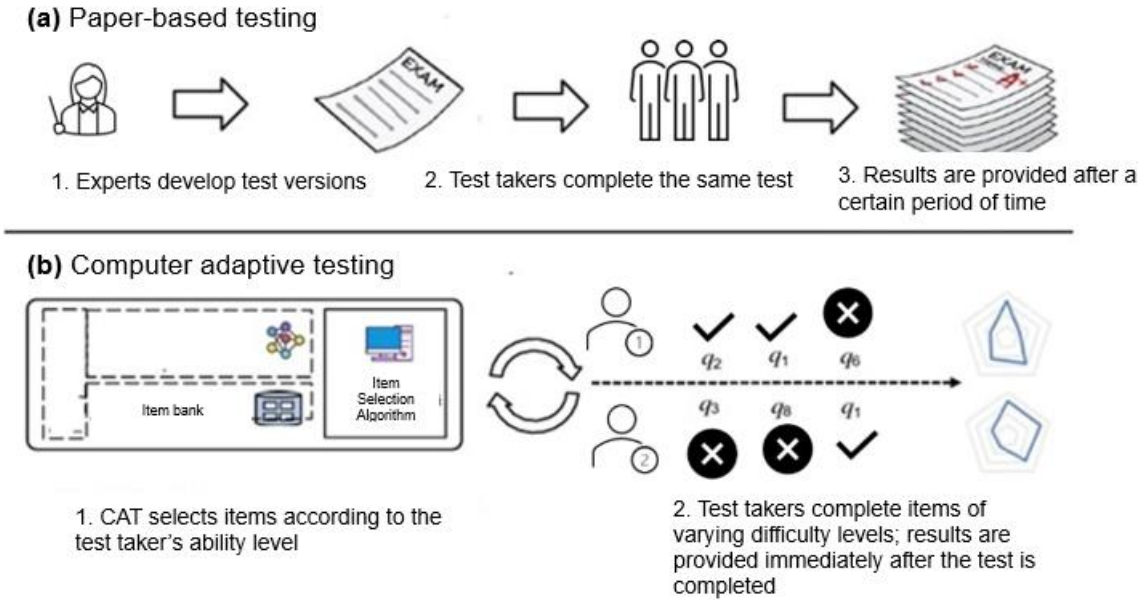


Figure 1 – Stages of Paper-Based and Computer Adaptive Testing

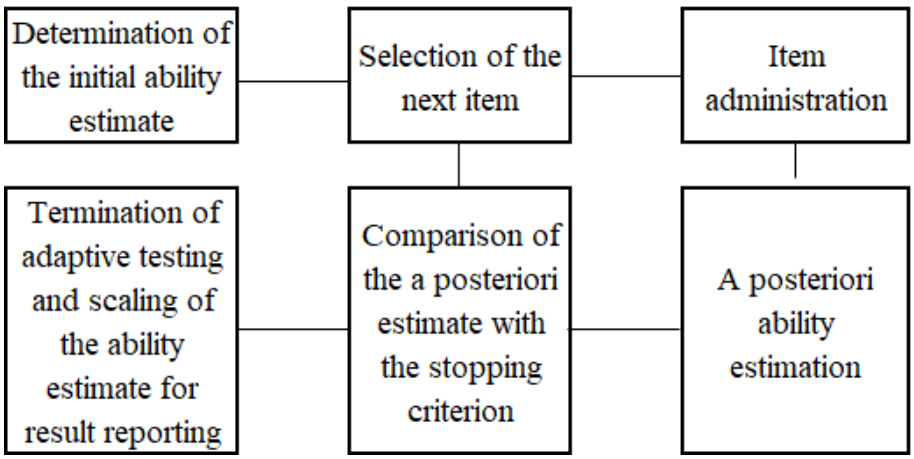


Figure 2 – Multistage testing algorithm

Students' responses are coded in binary form, where $x_i = 1$ corresponds to a correct response and $x_i = 0$ to an incorrect response. When $\theta = \beta_i$, that is, when the examinee's proficiency equals the item difficulty, the probability of a correct response is 0.5 [4].

In CAT, the next item is selected based on Fisher information, which reflects how effectively a particular item can refine the estimation of the examinee's proficiency level. The posterior distribution of the examinee's proficiency level is calculated using Bayes' theorem and is proportional to the product of the likelihood function and the prior distribution:

$$p(\theta \mid x_1, \ldots, x_k) \propto \left[\prod_{i=1}^{k} P_i(\theta)^{x_i} (1 - P_i(\theta))^{1-x_i}\right] \cdot p(\theta).$$

Based on this distribution, the Expected A Posteriori (EAP) mean is calculated and used as the proficiency estimate, while the standard error is derived from the variance of the posterior distribution. This approach helps stabilize the estimation of θ at the early stages of the test. The precision of the proficiency estimate, derived from the posterior distribution, is used as a stopping criterion for the adaptive test and may also be applied in selecting subsequent items [5].

In the Maximum Likelihood Estimation (MLE) method, the proficiency estimate θ is defined as the value that maximizes the likelihood function for the observed responses. For the Rasch model, the likelihood function is calculated as the product of the probabilities of correct and incorrect responses to the administered items:

$$l(\theta) = \log L(\theta) =$$
$$= \sum_{i=1}^{k} x_i \log P_i(\theta) + (1 - x_i) \log (1 - P_i(\theta)).$$

At each step of CAT, the estimate of θ is updated using the MLE method, and the test is terminated once the predefined estimation precision or the maximum number of items has been reached. Below, an algorithm of computerized adaptive testing based on the two methods is presented [6].

Results and Discussion

The system was implemented using a client–server architecture with a MySQL database management system for storing the item bank and test results. The real-time item selection algorithm is executed on the server side. Performance and scalability issues were not considered within the scope of this study and may be addressed in future research. The interfaces of the main functional subsystems of the adaptive testing system are shown in Figure 4.

In the present system, two methods for estimating examinees' ability levels are implemented: the Maximum Likelihood Estimation (MLE) method and the Bayesian Expected A Posteriori (EAP) method. The item bank consisted of 300 test items with difficulty parameters uniformly distributed over the interval [-2,2].

The total number of test participants was 1,030. Of these, 85% were Grade 11 students

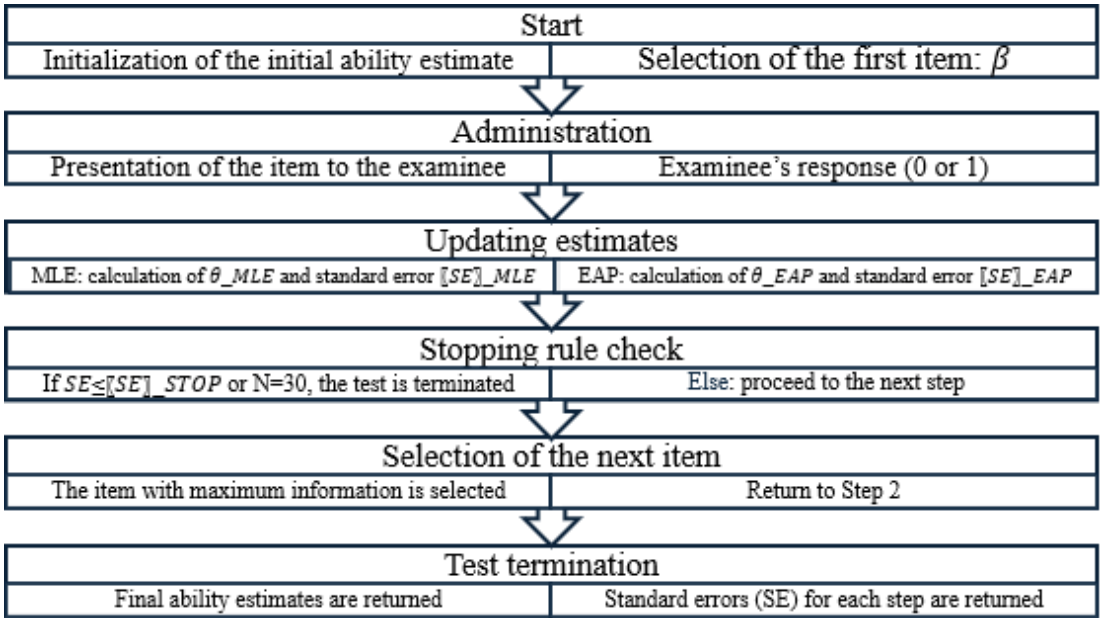


Figure 3 – Computer adaptive testing algorithm based on the Rasch model and EAP & MLE methods

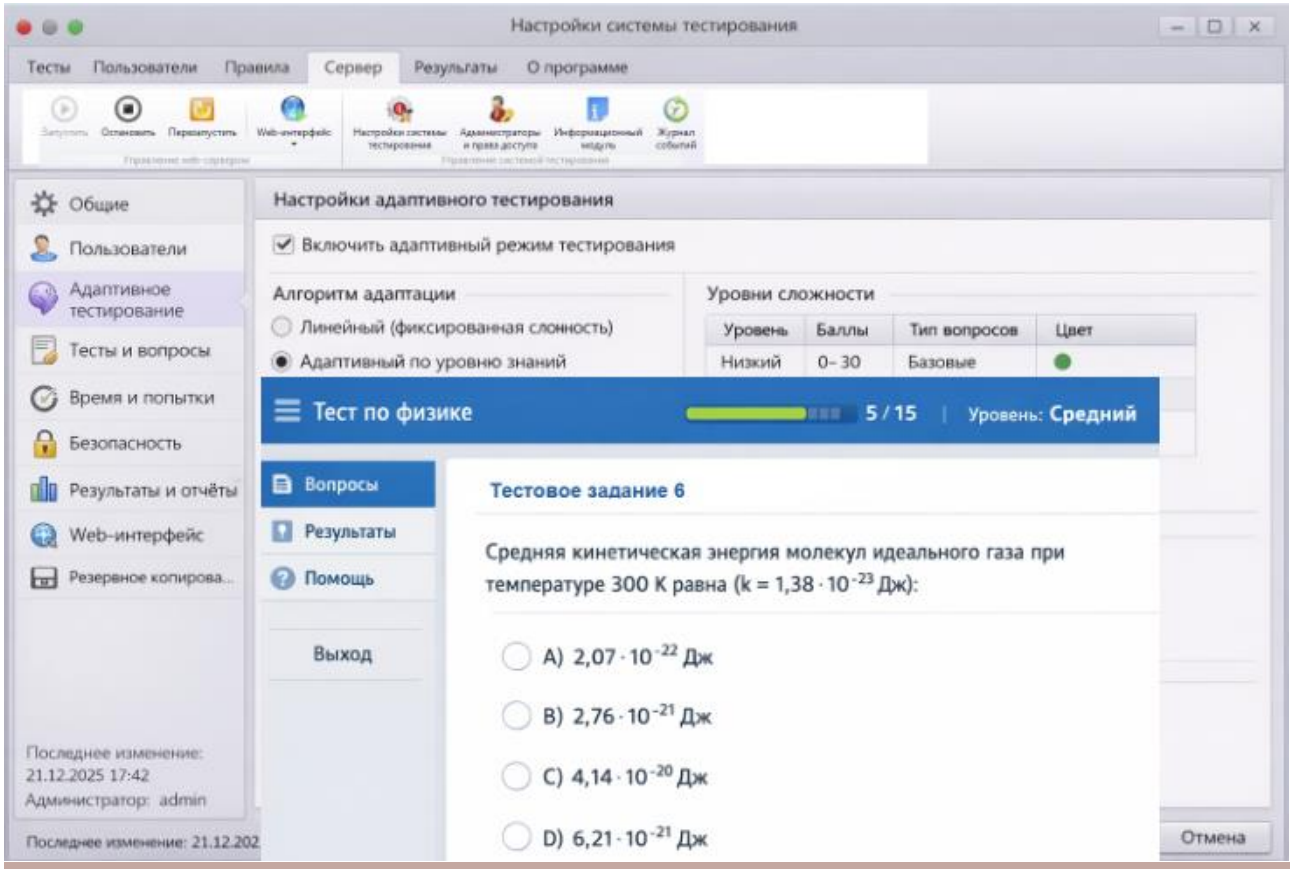


Figure 4 – Adaptive Testing System Interface

and 15% were Grade 10 students from general secondary schools, with an average age of 16 years. The test was terminated either when the standard error of estimation reached SE≤0.3 or when the maximum number of items (30) was administered. The initial estimate of the examinee's ability level was set to $\theta_0 = 0$, which corresponds to the average ability level in the Rasch model. The use of an item with medium difficulty at the initial stage ensures maximum information at the first step, as the probability of a correct response for an examinee with an average ability level is equal to 0.5 [7].

Table presents the results of computer adaptive testing based on two methods. To ensure a valid comparison of the algorithms, identical initial conditions were applied: a common item bank and the same adaptive item selection mechanism based on the maximum information criterion. Analysis of the obtained results showed that, at the initial stages of testing, ability estimates produced by the MLE method are characterized by increased variability and a larger standard error, which is due to the insufficient amount of test information. At certain steps, MLE demonstrates sensitivity to the test-taker's initial responses, confirming the well-known issue of instability of classical estimates when the number of administered items is small.

In contrast, the expected a posteriori (EAP) estimation method demonstrates more stable behavior at the early stages of testing. The use of an a priori distribution reduces the impact of random response fluctuations and provides a smoother trajectory of ability estimation. The standard error of measurement decreases more evenly, facilitating earlier achievement of the predefined measurement precision threshold. The use of an a priori distribution prevents the occurrence of unbounded or extreme ability estimates, which are typical for the MLE method at the beginning of testing, especially in cases of homogeneous response patterns (e.g., all correct or all incorrect responses). The standard error of measurement decreases gradually, ensuring stability of the estimates even under random response patterns in the early items. This property makes the method highly effective in the context of short tests, diagnostic assessments, and situations where limited tolerance for early-stage estimation errors is required in adaptive testing.

Figure 5 shows a comparison of estimates of the ability parameter $\hat{\theta}$ obtained using the two methods with the θ values determined

Adaptive Testing Results

Step	Item ID	Item Difficulty	Examinee Response	θ_{MLE}	Measurement Error	Item ID	Item Difficulty	Examinee Response	θ_{EAP}	Measurement Error
1.	0	0.0	1	3,9	7,52	0	0,0	1	0,4	0,91
2.	262	1.96	0	0,9	1,58	9	0,40	0	0,06	0,83
3.	218	0.98	0	0,18	1,30	28	0,06	1	0,36	0,77
4.	49	0.18	0	-0,46	1,20	290	0,36	0	0,09	0,72
……										
15.	25	-0,17	1	-0,06	0,49	94	0,24	1	0,35	0,42
16.	154	-0,04	1	0,05	0,48	170	0,36	1	0,44	0,35

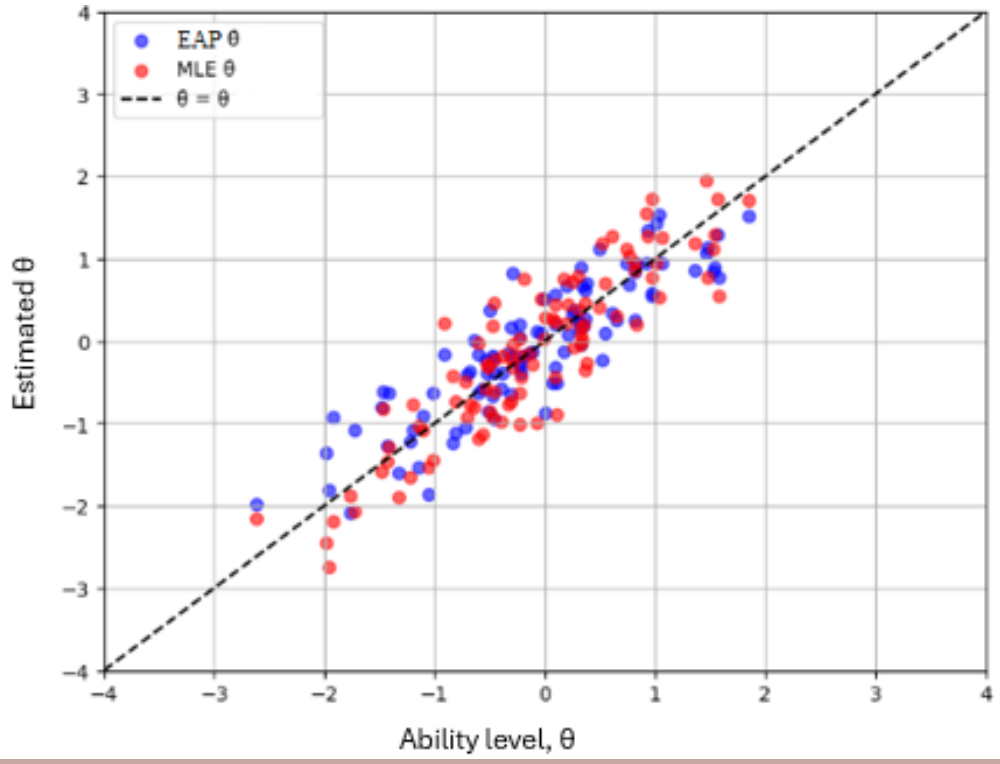


Figure 5 – Comparison of Adaptive Testing Results Based on Two Methods

based on the preliminary pretest. The X-axis represents the approximate "true" values of θ, while the Y-axis shows the corresponding estimates. The dashed diagonal line indicates perfect agreement between the estimated and reference values. Blue dots represent EAP estimates, and red dots represent MLE estimates. The graph demonstrates that the EAP method provides more stable estimates, especially at extreme values of the ability parameter, whereas the MLE method exhibits greater variability.

Thus, the results of the study confirm the feasibility of using the Bayesian approach at the early stages of computer adaptive testing, especially when the test length is limited, as well as the effectiveness of the maximum likelihood method as sufficient test information accumulates. The combined use of these approaches ensures reliable and accurate estimation of students' ability levels and can be recommended for practical implementation in adaptive testing systems. The obtained results confirm the expected theoretical properties of adaptive testing within the Rasch model framework and demonstrate practical differences between the selected ability estimation methods.

The findings also confirm that the use of the Fisher maximum information criterion in combination with dynamic updating of ability estimates allows for a substantial reduction in test length without loss of measurement accuracy [8]. Achieving the predefined measurement error threshold in fewer than 30 items indicates the high measurement efficiency of computer adaptive testing compared to linear testing.

The results of the study should be interpreted considering several limitations. First, the study was conducted using materials from a general secondary school physics course, which does not allow for direct generalization of the findings to other subject domains. Second, the selected test termination criteria (standard error or maximum number of items) are conditional and may influence the comparative characteristics of the maximum likelihood and expected a posteriori method. Addressing these factors in future studies will enhance the validity and generalizability of the results.

Conclusion

This article examined computer adaptive testing as a modern tool for assessing students' levels of preparedness, based on the principles of test theory. Particular attention was paid to the analysis of test item selection methods and a comparative study of approaches to estimating students' ability levels in an adaptive environment.

Within the scope of this study, adaptive testing algorithms were implemented using both the Bayesian approach and the maximum likelihood estimation method. To ensure the validity of the comparison, both methods were implemented under identical conditions: a common item bank was used, and the same adaptive item selection strategy based on the maximum information criterion was applied. The study made it possible to analyze the dynamics of ability estimates and standard errors at each step of the testing process. The results obtained demonstrated that adaptive item selection enables efficient information accumulation and allows for a significant reduction in test length while maintaining a predefined level of measurement precision. The Bayesian EAP method provides stable estimates at early stages and for short tests. The MLE method ensures high accuracy with a large number of items but is sensitive to errors at the initial stages. The choice of method depends on the testing goals: stability or maximum accuracy.

The study has limitations related to subject specificity, the size of the item bank, and the selected stopping criteria. To further improve the effectiveness of computer adaptive testing, it is proposed to expand the item bank, investigate the influence of different subject domains, and apply machine learning techniques to predict item parameters. The research conducted confirms the practical significance of adaptive testing and outlines directions for its further development.

REFERENCES

1. Liu Q. Survey of Computerized Adaptive Testing: A Machine Learning Perspective.Электронный ресурс. – 2024. – URL: https://arxiv.org/pdf/2404.00712 (дата обращения: 12 декабря 2025 г.).
2. van der Linden W.J., Glas C.A.W. (eds.). Elements of Adaptive Testing. – New York: Springer, 2010. – 446 с.
3. Аванесов В.С. Адаптивное обучение и адаптивный контроль. Электронный ресурс. – 2021 – URL: https://testolog.narod.ru/Theory41.html (дата обращения: 2 сентября 2025 г.).
4. Маслак, А.А. Теория и практика измерения латентных переменных в образовании: монография / А.А. Маслак. – Москва: Издательство Юрайт, 2025. – 255 с.
5. Курт У. Байесовская статистика: учебник. С.-П.: Издательство Питер-Трейд, 2021. – 303 с.
6. Pitblado J., Poi B., Gould W. Maximum Likelihood Estimation with Stata. – 5th ed. – College Station, TX: Stata Press, 2024. – 472 с.
7. van der Linden W.J. Handbook of Item Response Theory. Volume Three: Applications. – Boca Raton: CRC Press, 2017. – 584 с.
8. Xiong, G. Maximum Likelihood Score Estimation Method with Fences for Short-Length Tests and Computerized Adaptive Tests (MLEF) // Journal of Educational Measurement / PubMed. – 2025. (дата обращения: 7 декабря 2025 г.).

Адаптивті тестілеу жүйелерінде тест тапсырмаларын іріктеу әдістері

*[1]*ИСКАКОВА Альмира Мухтаровна, докторант, n.a.almira.24@gmail.com,*
[1]САЛЫКОВА Ольга Сергеевна, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, solga0603@mail.ru,
[2]ДИДАРБЕКОВА Наужан Абдисатаровна, филол.ғ.к., директорының орынбасары, didarbekova.83@gmail.com,
[1]АБУОВ Адильхан Маратович, докторант, adilkhan.abuov@gmail.com,
[1]АРТЫКБАЕВА Асель Айдарбековна, докторант, asel_aidarbekowna@mail.ru,
[1]Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қостанай, Қазақстан,
[2]Ұлттық тестілеу орталығы, Астана, Қазақстан,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Компьютерлік адаптивті тестілеу – бұл тестіленуші мен тестілеу жүйесі арасындағы динамикалық және интерактивті процесс. Адаптивті тестілеу – бұл тестіленушілердің жауаптары негізінде тапсырмаларды іріктеу мен олардың қиындық деңгейі динамикалық түрде өзгеріп отыратын, тестілеудің жекелендірілген сипатын қамтамасыз ететін бағалау әдісі болып табылады. Компьютерлік адаптивті тестілеу (КАТ) білім алушылардың дайындық деңгейі сияқты латентті айнымалыны бағалауға мүмкіндік беріп, оқу жетістіктерін бағалау тәсілдерін жетілдірудегі маңызды қадамға айналды. Осы жұмыстың мақсаты – компьютерлік адаптивті тестілеуде тест тапсырмаларын таңдау әдістерін зерттеу, сондай-ақ білім алушылардың дайындық деңгейін бағалауда адаптивті тестілеуді қолданудың тиімділігін талдау. Қойылған мақсатқа жету үшін жалпы білім беретін мектептің физика курсы бойынша тапсырмалар қолданылды. Алынған деректерді алдағы уақытта машиналық оқыту моделі үшін пайдалану жоспарлануда.*

Кілт сөздер: *компьютерлік адаптивті тестілеу, тапсырманың күрделілігі, дайындық деңгейі, тапсырманы таңдау, априорлық бағалау, апостериорлық бағалау, өлшеу қатесі.*

Методы отбора тестовых заданий в адаптивных системах тестирования

*[1]*ИСКАКОВА Альмира Мухтаровна, докторант, n.a.almira.24@gmail.com,*
[1]САЛЫКОВА Ольга Сергеевна, к.т.н., ассоциированный профессор, solga0603@mail.ru,
[2]ДИДАРБЕКОВА Наужан Абдисатаровна, к.филол.н., зам. директора, didarbekova.83@gmail.com,
[1]АБУОВ Адильхан Маратович, докторант, adilkhan.abuov@gmail.com,
[1]АРТЫКБАЕВА Асель Айдарбековна, докторант, asel_aidarbekowna@mail.ru,
[1]Костанайский региональный университет им. Ахмет Байтұрсынұлы, Костанай, Казахстан,
[2]Национальный центр тестирования, Астана, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Компьютерное адаптивное тестирование – это динамический и интерактивный процесс между тестируемым и системой тестирования. Адаптивное тестирование представляет собой метод оценки, при котором подбор и трудность заданий динамически изменяются на основе ответов испытуемых, обеспечивая индивидуализированный характер тестирования. Компьютерное адаптивное тестирование (КАТ) стало значимым шагом в совершенствовании подходов к оценке учебных достижений, позволив оценить латентную переменную – уровень подготовленности обучающихся. Целью данной работы является исследование методов выбора тестовых заданий в компьютерном адаптивном тестировании, а также анализ эффективности применения адаптивного тестирования для оценки уровня подготовленности обучающихся. Для достижения поставленной цели были использованы задания по курсу физики общеобразовательной школы. Полученные данные планируется использовать в дальнейшем для обучения модели машинного обучения.*

Ключевые слова: *компьютерное адаптивное тестирование, трудность задания, уровень подготовленности, выбор задания, априорная оценка, апостериорная оценка, ошибка измерения.*

REFERENCES

1. Liu Q. Survey of Computerized Adaptive Testing: A Machine Learning Perspective. Elektron. resurs. – 2024. – URL: https://arxiv.org/pdf/2404.00712 (Accessed on December 12, 2025).
2. van der Linden W.J., Glas C.A.W. (eds.). Elements of Adaptive Testing. – New York: Springer, 2010. – 446 p.
3. Avanesov V.S. Adaptivnoe obuchenie i adaptivnyj kontrol. Elektron resurs. – 2021 – URL: https://testolog.narod.ru/Theory41.html (Accessed on September 2, 2025).
4. Maslak, A.A. Teoriya i praktika izmereniya latentnyh peremennyh v obrazovanii: monografiya / A.A. Maslak. – Moscow: Izdatel'stvo YUrajt, 2025. – 255 p.
5. Kurt U. Bajesovskaya statistika: uchebnik. Saint Petersburg: Izdatel'stvo Piter-Trejd, 2021. – 303 p.
6. Pitblado J., Poi B., Gould W. Maximum Likelihood Estimation with Stata. – 5th ed. – College Station, TX: Stata Press, 2024. – 472 p.
7. van der Linden W.J. Handbook of Item Response Theory. Volume Three: Applications. – Boca Raton: CRC Press, 2017. – 584 p.
8. Xiong, G. Maximum Likelihood Score Estimation Method with Fences for Short-Length Tests and Computerized Adaptive Tests (MLEF) // Journal of Educational Measurement / PubMed. – 2025. (Accessed on December 7, 2025.)

DOI 10.52209/1609-1825_2026_2_478 UDC 631.147

Use of Sensor Monitoring Data to Assess Soil and Microclimatic Conditions and Forecast Agricultural Crop Yields

[1]**NIKISHINA Olga,** *Senior Lecturer, opronina@ku.edu.kz,*
[1]***AUBAKIROVA Gailya,** *Senior Lecturer, geli8778@mail.ru,*
[2]**KOLYEVA Natalya,** *Cand. of Ped. Sc., Associate Professor, nkoleva@mail.ru,*
[1]*Manash Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavl, Kazakhstan,*
[2]*Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia,*
**corresponding author.*

Abstract. *The application of ground-based sensor monitoring data to assess soil and microclimatic conditions on agricultural land is considered. The study uses automatic measurements of air temperature and soil moisture at several depths with high temporal resolution, their aggregation and visual analysis of time series and profiles, as well as comparison with official meteorological data. It has been shown that local series are well consistent with regional ones in terms of dynamics, but more accurately reflect the levels characteristic of a particular field; moisture shows pronounced stratification and varying inertia at different depths. The obtained features and patterns are directly applicable for calibrating and improving the accuracy of yield prediction models, which confirms the practical value of local sensor data in agromonitoring.*

Keywords: *sensor monitoring, time series analysis, data aggregation, data visualisation, forecasting.*

Introduction

In his annual address to the people of Kazakhstan, President Kassym-Jomart Tokayev emphasised the priority of modernising the agro-industrial complex through digital technologies and artificial intelligence, as well as the development of agricultural hubs and logistics. [1] emphasises the priority of modernising the agro-industrial complex through digital technologies and artificial intelligence, as well as the development of agricultural hubs and logistics. Separate tasks are identified for improving the efficiency of land monitoring and creating a unified digital map of resources. Based on these guidelines, local sensor systems are seen as the basic infrastructure for collecting field data, which is needed to accurately describe the current state of the soil and microclimate and for later integration with digital agricultural technologies.

Modern agriculture is actively introducing sensor monitoring technologies that provide continuous monitoring of soil conditions and microclimatic parameters on agricultural land. In conditions of a sharply continental climate and significant seasonal fluctuations in temperature and humidity, such systems make it possible to obtain timely and reliable data necessary for optimising agrotechnical solutions and increasing the sustainability of agriculture [2-3].

With the development of wireless sensor networks (WSN), it has become possible to continuously monitor soil and air parameters with high temporal resolution [4-5]. Modern systems allow the recording of air temperature, soil moisture and other indicators at various depths, providing automatic data transmission and real-time processing. Such approaches are successfully applied in studies of the microclimate of agroecosystems [6] and are integrated into international observation networks, including the International Soil Moisture Network (ISMN), which brings together stations around the world [7].

In their research, scientists [8-9] pay special attention to the creation of complex installations for monitoring soil and microclimate parameters and processing data with high temporal detail. In the conditions of the North Kazakhstan region, where agricultural landscapes are subject to sharp changes in temperature and humidity, the introduction of sensor monitoring systems is an important direction for the development of regional agrometeorological observation systems.

Despite the active development of such

technologies, the question of choosing effective methods for processing and presenting data that allow for the correct interpretation of changes in microclimatic parameters remains open. It is important to note that data obtained from local sensor devices have higher spatial and temporal accuracy in relation to a specific field. Unlike the averaged meteorological observations of the National Hydrometeorological Service of the Republic of Kazakhstan (Kazhydromet), which reflect regional trends, sensor measurements record actual changes in temperature and humidity within a specific sowing area. Such detailed information is particularly valuable for yield forecasting models, as it allows local microclimatic conditions that directly affect crop development to be considered. Thus, the relevance of the study is determined by the need to analyse sensor monitoring data to assess soil and microclimatic conditions and their subsequent use in yield forecasting.

The aim of the work is to analyse data on air temperature and soil moisture at various depths obtained using a data collection and processing device in order to assess the state of the agrocenosis and subsequently forecast crop yields.

Research methods

The study was conducted on an agricultural plot in the Mamlutsky District of the North Kazakhstan Region, characterised by a sharply continental climate and pronounced interseasonal variability in temperature and humidity during the growing season. Measurements were taken using a data collection and transmission device (a description of the device is given in [10]) from May to August 2024 eight times a day, at 3-hour intervals, recording air temperature and soil moisture at depths of 0.1, 0.5 and 1 metre. This approach allows us to analyse changes in parameters in daily dynamics, form average values by day and compare them with official data from Kazhydromet. This makes it possible to assess the accuracy and representativeness of sensor measurements and to clarify the local microclimatic features of a particular field.

The initial time series were exported to a tabular format and underwent standard preparation: verification of the integrity of time stamps and duplicates, visual screening, formation of daily aggregates (average, minimum, maximum, amplitude) and subsequent daily summaries (average values). No gaps in the data were identified, so interpolation and filtering were not applied.

Analytical interpretation was performed using visual representation methods: graphs of air temperature time series for the entire observation period and separate linear graphs of soil moisture for each depth were constructed. Visualisation was considered as a method for identifying patterns and preparing informative features for subsequent use in yield prediction models.

Research results

Figure 1 shows the alignment of point time series of air temperature for May 2024 from two sources: a local sensor device and the official Kazhydromet series. There is a high degree of consistency between the series: the Pearson correlation coefficient is 0.97. This graph demonstrates similar dynamics of daily temperature fluctuations: maximums and minimums are recorded on almost the same dates. At the same time, there are slight discrepancies within 1-2°C, which can be explained by differences in conditions and measurement methods. The root mean square error (RMSE) was 1.3°C, and the mean absolute error (MAE) was 1.0°C, which confirms the adequacy of the sensor node and its suitability for local microclimate monitoring. At the same time, a high degree of consistency in trends can be visually observed: the local and regional series coincide in phase, which confirms the representativeness of local measurements for describing dynamics, but highlights differences in levels due to the spatial heterogeneity of the microclimate of a particular field.

Figure 2 shows a graph of air temperature changes (according to device and Kazhydromet data) compared to soil temperature at a depth of 0.1 m. It can be seen that air temperature fluctuations are reflected in the temperature of the surface soil layer, but with a smaller amplitude and time lag. This indicates the thermal inertia of the soil – its ability to heat up and cool down more slowly than the air. The correlation coefficient between air and soil temperatures at a depth of 0.1 m was $r \approx 0.87$, which indicates a close relationship between these indicators. At the same time, the average absolute temperature difference between the air and soil during the observation period did not exceed 2.4°C, and the standard deviation of errors was about 1.1°C.

Figure 3 shows changes in soil moisture according to sensor data for three periods:

a) May 2024;

b) July 2024;

c) The combined period of May-August 2024.

In figure 3 each panel contains three lines corresponding to depths of 0.1 m, 0.5 m and 1 m.

Analysis of the graphs shows that moisture values in the upper horizon (0.1 m) are subject to the greatest fluctuations due to precipitation and evaporation. At a depth of 0.5 m, changes occur more smoothly, and at a level of 1 m, moisture remains most stable. During the

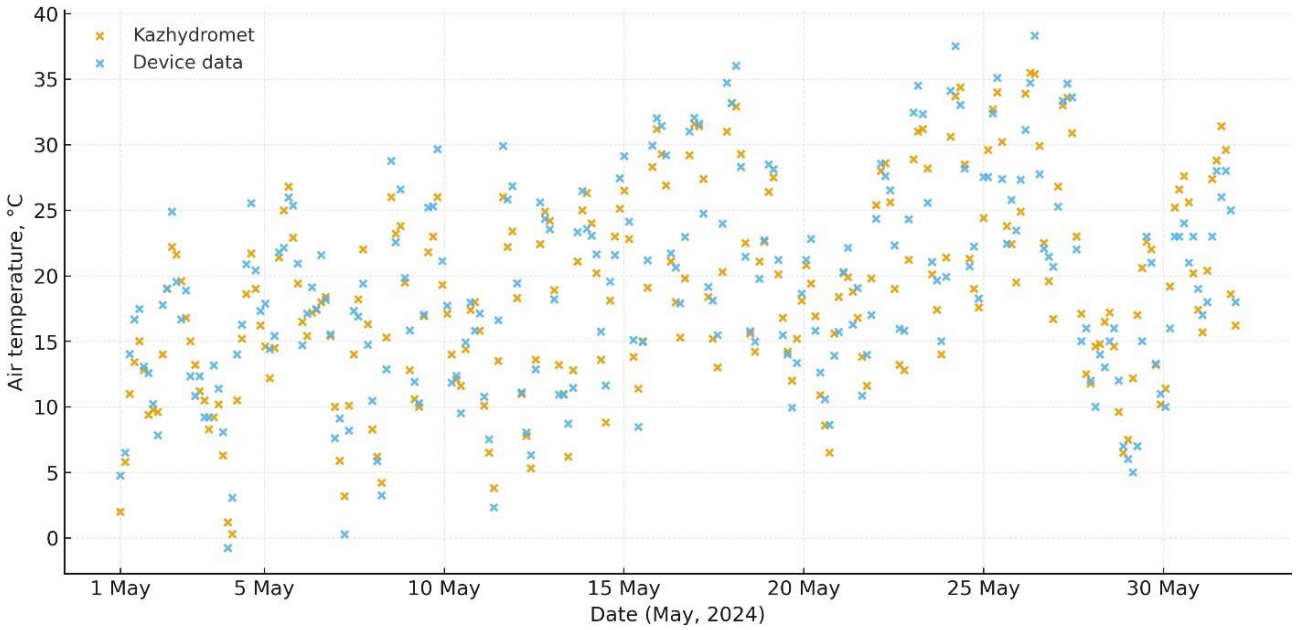


Figure 1 – Comparison of air temperature, May 2024

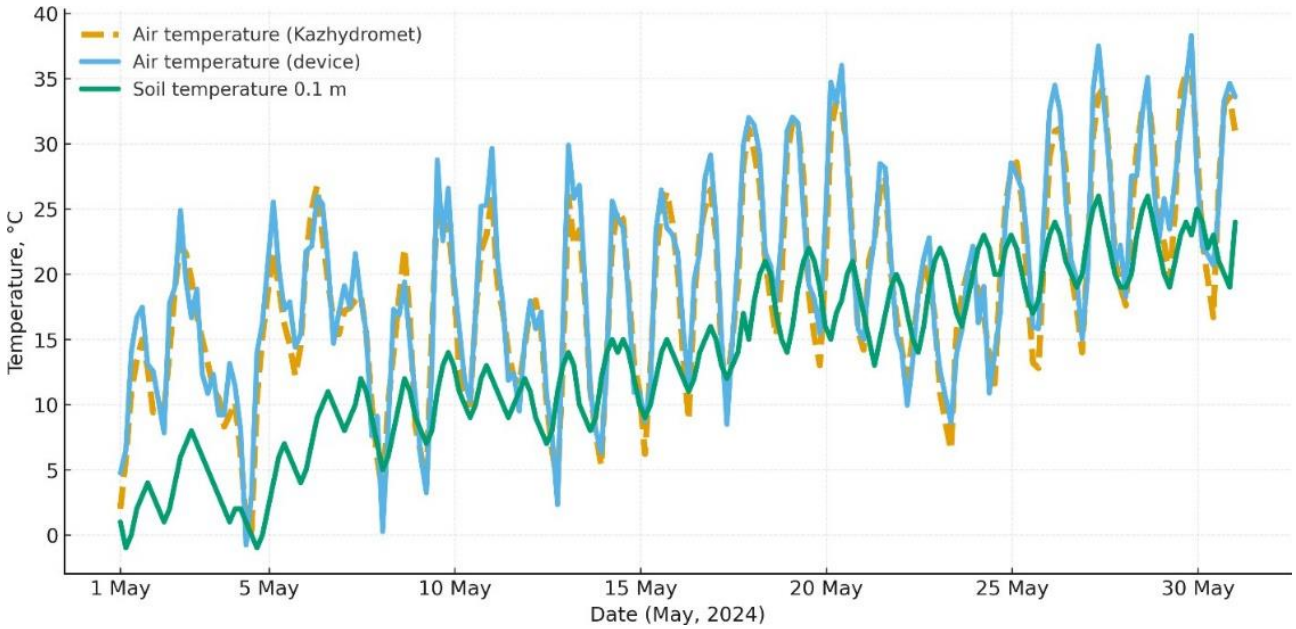


Figure 2 – Comparison of air temperature (device and Kazhydromet) and soil temperature at 0.1 m

summer (July), there is a general decrease in moisture, especially in the upper layer, which is associated with an increase in air temperature and intense evaporation. The summary graph for May-August 2024 confirms the seasonal trend of decreasing moisture as the soil warms up and shows differences in the dynamics of the water regime at different depths. Overall, the time series obtained confirm that local sensor data provide a more detailed picture of the temperature and humidity regime compared to averaged regional values. The identified features are a systematic "level" shift in temperatures relative to Kazhydromet data with high trend consistency; the pulsed nature of moisture availability in the surface layer; gradual drying and subsequent stabilisation at 0.5 m; and the inertia of the 1 m horizon – are important for calibrating and applying indicators in yield forecasting models, as they reflect

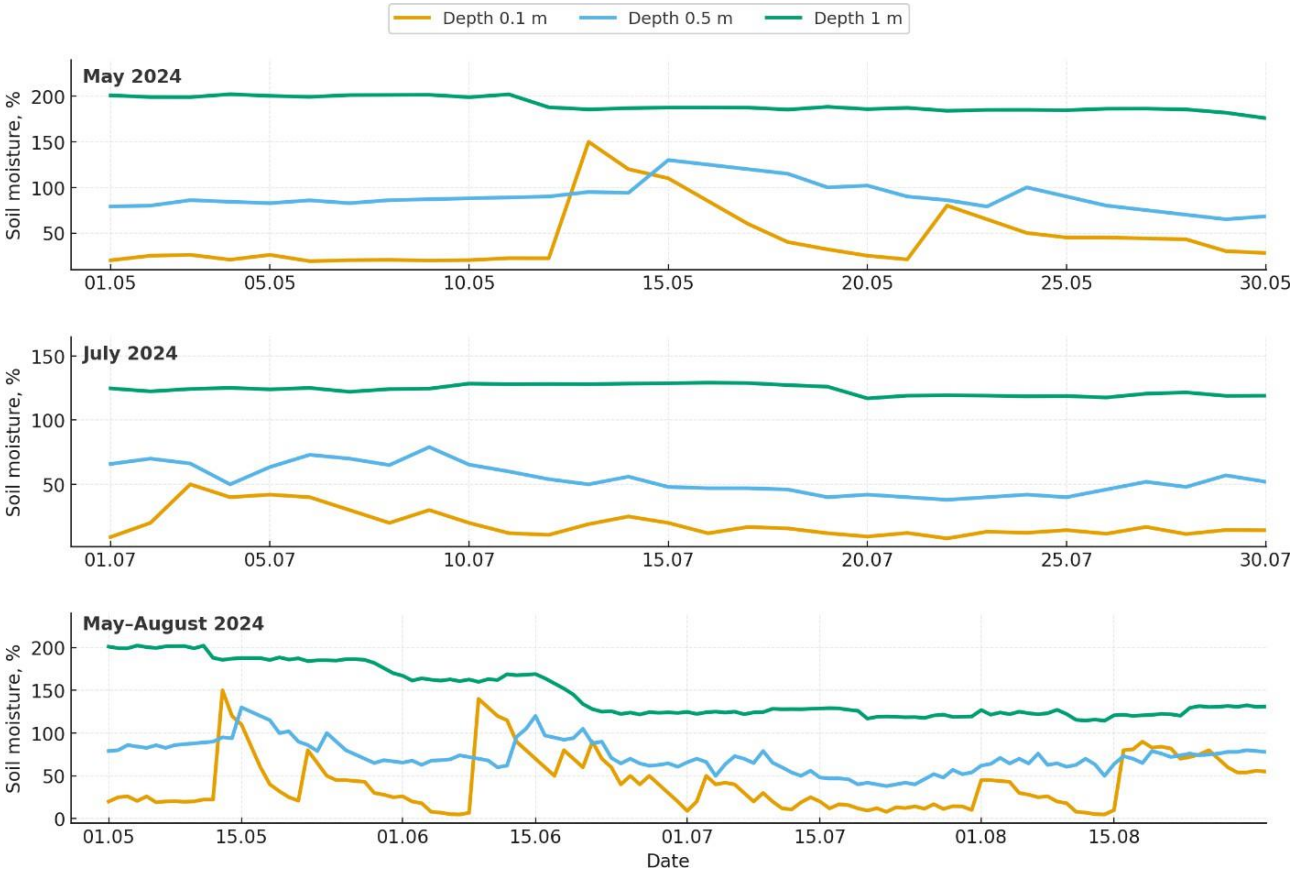


Figure 3 – Soil moisture (device measurements) at depths of 0.1, 0.5 and 1 m

the actual microclimatic conditions of a specific field and their seasonal dynamics.

Conclusions. The results of the study confirmed the effectiveness of using local sensor systems to monitor microclimatic conditions on agricultural land. Air temperature measurements showed high consistency with official meteorological data, while more accurately reflecting the local characteristics of the field. Analysis of soil and air temperatures revealed the thermal inertia of the soil, especially in the surface layers.

Changes in soil moisture at different depths demonstrated clear stratification and different dynamics: the surface layer reacts quickly to precipitation and evaporation, while deeper horizons remain stable. These features are important for accurate accounting of water regime in yield prediction models.

Local sensor data provide the high temporal and spatial detail required for calibrating agricultural forecasting models. This underscores their importance as an element of digital monitoring and sustainable agriculture.

REFERENCES

1. Послание Президента Республики Казахстан народу Казахстана «Казахстан в эпоху искусственного интеллекта: актуальные задачи и их решения через цифровую трансформацию» (8 сентября 2025 года) [Электронный ресурс] // Официальный интернет-ресурс Президента Республики Казахстан. – Режим доступа: https://www.akorda.kz (дата обращения: 13.11.2025).
2. Musa P., Sugeru H., Wibowo E.P. Wireless Sensor Networks for Precision Agriculture: A Review of NPK Sensor Implementations // Sensors. – 2024. – Vol. 24, № 1. – Article 51. – DOI: 10.3390/s24010051.
3. Durga S.P., Vanathi A., Kiruthika D. A Review on IoT Applications in Smart Agriculture // International

Journal of Advanced Computer Science. – 2024. – DOI: 10.1016/j.asej.2023.102509.
4. Musa P., et al. Wireless Sensor Networks for Precision Agriculture: A Review of NPK Sensor Implementations // Sensors. – 2023. – Vol. 23, № 15. – DOI: https://doi.org/10.3390/s24010051
5. Marković M., et al. Field Performance Evaluation of Low-Cost Soil Moisture Sensors in Irrigated Orchard // Agriculture. – 2024. – Vol. 14, № 8. – Art. 1239. – DOI: https://doi.org/10.3390/agriculture14081239
6. Rebaudo F., et al. A low-cost IoT network to monitor microclimate variables in ecosystems // Methods in Ecology and Evolution. – 2023. – DOI: https://doi.org/10.1111/2041-210X.14062
7. Dorigo W., et al. The International Soil Moisture Network: Serving Earth System Science for Over a Decade // Hydrology and Earth System Sciences. – 2021. – Vol. 25. – Pp. 5749-5804. – DOI: https://doi.org/10.5194/hess-25-5749-2021
8. Okasha A.M., Ibrahim H.G., Elmetwalli A.H., Khedher K.M., Yaseen Z.M., Elsayed S. Designing Low-Cost Capacitive-Based Soil Moisture Sensor and Smart Monitoring Unit Operated by Solar Cells for Greenhouse Irrigation Management // Sensors. – 2021. – Vol. 21, № 16. – Art. 5387. – DOI: 10.3390/s21165387.
9. Kalaany C.M.A., Kimaita H.N., Abdelmoneim A.A., Khadra R., Derardja B., Dragonetti G. The Potential of Low-Cost IoT-Enabled Agrometeorological Stations: A Systematic Review // Sensors. – 2025. – Vol. 25, № 19. – Art. 6020. – DOI: 10.3390/s25196020.
10. Аубакирова Г.Ф., Кашевкин А.А., Петров П.А., Айтулина А.М., Тілеш Б.Қ. Дәнді дақылдардың өнімділігін болжау үшін деректерді жинау және беру құрылғысын әзірлеу // Труды Университета. – 2024. – № 4 (97). – С. 381-385. – Караганда.

Ауылшаруашылық дақылдарының өнімділігін болжау және топырақ-микроклиматтық жағдайларын бағалау үшін сенсорлық мониторинг деректерін пайдалану

*[1]**НИКИШИНА Ольга Александровна,** аға оқытушы, opronina@ku.edu.kz,*
*[1]***АУБАКИРОВА Гаиля Фаритовна,** аға оқытушы, geli8778@mail.ru,*
*[2]**КОЛЬЕВА Наталья Станиславовна,** п.ғ.к., доцент, nkoleva@mail.ru,*
[1]Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Петропавл, Қазақстан,
[2]Орал мемлекеттік экономикалық университеті, Екатеринбург, Ресей,
**автор-корреспондент.*

***Аңдатпа.** Ауылшаруашылық алқаптарындағы топырақ пен микроклимат жағдайларын бағалау үшін жерүсті сенсорлық мониторинг деректерін пайдалану қарастырылады. Жоғары уақыттық айырымдылықпен әртүрлі тереңдіктерде ауа температурасы мен топырақ ылғалдылығының автоматты өлшемдері алынып, олар агрегатталып, уақыттық қатарлар мен тереңдік профильдері бойынша көрнекі талдау жүргізіледі, сондай-ақ ресми метеодеректермен салыстырылады. Нәтижелер жергілікті (алқапқа тән) қатарлардың аймақтық динамикамен жақсы үйлесетінін, бірақ нақты өріс деңгейлерін дәлірек бейнелейтінін көрсетеді; топырақ ылғалдылығы тереңдік бойынша айқын стратификацияға және әркелкі инерцияға ие. Алынған белгі-параметрлер мен заңдылықтар өнімділікті болжау модельдерін калибрлеуге және олардың дәлдігін арттыруға тікелей жарамды, бұл агромониторингте жергілікті сенсорлық деректердің практикалық құндылығын айқындайды.*

***Кілт сөздер:** сенсорлық мониторинг, уақыттық қатарларды талдау, деректерді агрегаттау, деректерді визуализациялау, прогноз жасау.*

Применение данных сенсорного мониторинга для оценки состояния почвенно-микроклиматических условий и прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур

*[1]**НИКИШИНА Ольга Александровна,** старший преподаватель, opronina@ku.edu.kz,*
*[1]***АУБАКИРОВА Гаиля Фаритовна,** старший преподаватель, geli8778@mail.ru,*
*[2]**КОЛЬЕВА Наталья Станиславовна,** к.п.н., доцент, nkoleva@mail.ru,*

[1]Северо-Казахстанский университет им. Манаша Козыбаева, Петропавловск, Казахстан,
[2]Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Рассмотрено применение данных наземного сенсорного мониторинга для оценки состояния почвы и микроклиматических условий на сельскохозяйственных угодьях. Используются автоматические измерения температуры воздуха и влажности почвы на нескольких глубинах с высоким временным разрешением, их агрегирование и визуальный анализ временных рядов и профилей, а также сопоставление с официальными метеоданными. Показано, что локальные ряды хорошо согласуются с региональными по динамике, но точнее отражают уровни, характерные для конкретного поля; влажность демонстрирует выраженную стратификацию и различную инерционность по глубинам. Полученные признаки и закономерности непосредственно пригодны для калибровки и повышения точности моделей прогнозирования урожайности, что подтверждает практическую ценность локальных сенсорных данных в агромониторинге.*

Ключевые слова: *сенсорный мониторинг, анализ временных рядов, агрегирование данных, визуализация данных, прогнозирование.*

REFERENCES

1. Address of the President of the Republic of Kazakhstan to the People of Kazakhstan "Kazakhstan in the Era of Artificial Intelligence: Current Challenges and Their Solutions through Digital Transformation" (September 8, 2025) [Electronic resource] // Official website of the President of the Republic of Kazakhstan. – Available at: https://www.akorda.kz (accessed: 13.11.2025).
2. Musa P., Sugeru H., Wibowo E.P. Wireless Sensor Networks for Precision Agriculture: A Review of NPK Sensor Implementations // Sensors. – 2024. – Vol. 24, No. 1. – Article 51. – DOI: 10.3390/s24010051.
3. Durga S.P., Vanathi A., Kiruthika D. A Review on IoT Applications in Smart Agriculture // International Journal of Advanced Computer Science. – 2024. – DOI: 10.1016/j.asej.2023.102509.
4. Musa P., et al. Wireless Sensor Networks for Precision Agriculture: A Review of NPK Sensor Implementations // Sensors. – 2023. – Vol. 23, No. 15. – DOI: https://doi.org/10.3390/s24010051
5. Marković M., et al. Field Performance Evaluation of Low-Cost Soil Moisture Sensors in Irrigated Orchard // Agriculture. – 2024. – Vol. 14, No. 8. – Article 1239. – DOI: https://doi.org/10.3390/agriculture14081239
6. Rebaudo F., et al. A Low-Cost IoT Network to Monitor Microclimate Variables in Ecosystems // Methods in Ecology and Evolution. – 2023. – DOI: https://doi.org/10.1111/2041-210X.14062
7. Dorigo W., et al. The International Soil Moisture Network: Serving Earth System Science for Over a Decade // Hydrology and Earth System Sciences. – 2021. – Vol. 25. – Pp. 5749-5804. – DOI: https://doi.org/10.5194/hess-25-5749-2021
8. Okasha A.M., Ibrahim H.G., Elmetwalli A.H., Khedher K.M., Yaseen Z.M., Elsayed S. Designing Low-Cost Capacitive-Based Soil Moisture Sensor and Smart Monitoring Unit Operated by Solar Cells for Greenhouse Irrigation Management // Sensors. – 2021. – Vol. 21, No. 16. – Article 5387. – DOI: 10.3390/s21165387.
9. Kalaany C.M.A., Kimaita H.N., Abdelmoneim A.A., Khadra R., Derardja B., Dragonetti G. The Potential of Low-Cost IoT-Enabled Agrometeorological Stations: A Systematic Review // Sensors. – 2025. – Vol. 25, No. 19. – Article 6020. – DOI: 10.3390/s25196020.
10. Aubakirova G.F., Kashevkin A.A., Petrov P.A., Aitullina A.M., Tilesh B.K. Development of a Device for Data Collection and Transmission to Forecast Grain Crop Yield // Proceedings of the University. – 2024. – No. 4 (97). – Pp. 381-385. – Karaganda.

Информационное сообщение

Республиканский научно-технический журнал «Университет еңбектері – Труды университета» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» входит в перечень изданий, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки МОН РК для публикации основных результатов научных диссертаций (свидетельство о перерегистрации № KZ63VPY00044097 от 15.12.2021 г.).

Результаты реформы высшей школы и системы научной аттестации в Республике Казахстан, основанные на трехуровневой системе образования, в соответствии с принципами Болонского процесса: академической мобильностью, международным обменом, двудипломным образованием, множественностью траекторий обучения в бакалавриате, магистратуре и докторантуре, развитием системы дистанционного образования, положительно влияют на все сферы жизни университета, в том числе и на содержание статей в журнале.

Проблемы высшей школы в рамках Болонского процесса, инновационное развитие профессионального образования на базе специализированных программно-аппаратных комплексов и телекоммуникационных средств, с последующим созданием систем дистанционного образования, не ограниченных в географических границах, стали платформой, объединяющей ученых и преподавателей высших учебных заведений Республики Казахстан, стран ближнего и дальнего зарубежья.

Примерами являются международные контакты ученых, преподавателей, студентов, магистрантов и докторантов с коллегами из России, Германии, Чехии, Японии, Китая и других стран, участие университета в международных программах «Синергия», «ТЕМПУС», УШОС.

Известные в РК, СНГ и дальнем зарубежье ученые Казахстана продолжают плодотворную работу по подготовке магистров и докторов:

в области горного дела, геологии, геофизики, безопасности жизнедеятельности – доктора наук: Выжва С.А., Демин В.Ф., Исабек Т.К., Ибраев М.К., Коликов К.С., Низаметдинов Ф.К., Пак Ю.Н., Портнов В.С.;

в области машиностроения и металлургии – доктора наук: Глотов Б.Н., Жетесова Г.С., Исагулов А.З., Варгула Л., Окишев К.Ю., Шеров К.Т.;

в области строительства и транспорта – доктора наук: Ибатов М.К., Кадыров А.С., Нугужинов Ж.С., Сахапов Р.Л.;

в области педагогики высшей школы и экономики – доктора наук: Аубакирова Г.М., Бирюков В.В., Головачева В.Н., Исмакова Б.С., Кошебаева Г.К., Лисецка К., Пак Ю.Н., Сагинтаева С.С.;

в области автоматизации и электроэнергетики – доктора наук: Ахметов Б.С., Каталинич Б.

Своими научными достижениями и публикациями, культурой и инновационной направленностью статей, публикуемых в журнале, ученые университета помогли журналу приобрести новое качество.

АО «Национальный центр государственной научно-технической экспертизы» определил импакт-фактор научного журнала «Университет еңбектері – Труды университета» за 2021 г., который по Казахстанской базе цитирования составляет величину, равную 0,037, импакт-фактор журнала по РИНЦ составляет 0,021.

Воплощая государственную политику триединства языков, журнал предоставляет возможность публикации статей на казахском, русском или английском языке.

Основная тематическая направленность журнала определена в публикации материалов по следующим разделам:

1. Машиностроение. Металлургия.
2. Геотехнологии (Горное дело. Геофизика. Геология). Безопасность жизнедеятельности.
3. Строительство. Транспорт.
4. Педагогика высшей школы. Экономика.
5. Энергетика. Автоматика. Информационно-коммуникационные технологии.

Собственник журнала: НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда).

Территория распространения журнала: Республика Казахстан, страны СНГ.

Почтовый адрес: 100027 г. Караганда, пр. Н. Назарбаева, 56.

Факс: (8-7212)-56-03-28.

Журнал выходит 4 раза в год – ежеквартально.

Адрес Редакционно-издательского центра (РИЦ):

100027, Караганда, пр. Н. Назарбаева, 60, IV корп., ауд. 208.

Электронный сайт журнала: http://tu.kstu.kz/.

E-mail Редакционно-издательского центра: rio@ktu.edu.kz

Правила оформления и представления статей

Статья представляется в редакцию в электронном виде только через сайт журнала **http://tu.kstu.kz/.** Структура статьи должна включать: **введение, методы исследования, научные результаты, выводы.** Статья должна иметь: УДК, резюме, содержащее 6-7 предложений (не более 300 слов) **(обязательно должно включать цель исследования),** ключевые слова – не более 15 слов и словосочетаний, сведения об авторах **(ФИО полностью, ORCID, должность, регалии, страна, почтовый индекс, город, место работы, полный адрес организации)** – всё на русском, казахском и английском языках. Список литературы должен быть **дополнительно транслитерирован.** Объем статьи должен быть не менее 6-ти и не более 10 страниц машинописного текста. Текст статьи печатается через один интервал форматом А4, страницы нумеруются. Текст необходимо набирать в редакторе Word шрифтом Times New Roman, размер шрифта (кегль) – 14. Все буквенные обозначения, приведенные на рисунках, необходимо пояснять в основном или подрисуночном тексте. Рисунки должны быть хорошего качества, иметь расширения, совместимые с Word, т.е. CDR, JPG, PCD, TIF, BMP. **Количество рисунков не более 5.** Формулы должны быть набраны в формуляторе **MathMagic,** совместимом с программой InDesign, и дополнительно сохранены отдельным файлом с расширением MMF. При наборе формул в Word **не использовать конструктор по работе с уравнениями.** Нумеровать следует только те формулы и уравнения, на которые есть ссылка в последующем изложении. В статье не должно быть сложных и громоздких формул и уравнений, а также промежуточных математических выкладок. **Количество формул не более 8.** Все сокращения и условные обозначения в формулах следует расшифровать, размерности физических величин давать в системе СИ, названия иностранных фирм, их продуктов и приборов – в транскрипции первоисточника с указанием страны. Список литературы **(за последние 10-15 лет, только органически связанной со статьей, не более 10, в статьях обзорного характера не более 15)** составляется в порядке цитирования и дается в конце статьи. Ссылки на литературу в тексте отмечаются порядковыми цифрами в квадратных скобках, а именно [1, 2]. Авторские свидетельства и патенты в списке литературы оформляются следующим образом: номер, название, год и № «Бюллетеня изобретений».

Статьи, не соответствующие тематике разделов журнала, отклоняются на начальном этапе.

Средняя продолжительность публикации составляет 8-9 месяцев.

После регистрации на сайте каждая статья проходит **проверку на антиплагиат и «слепое» рецензирование** ведущими экспертами по тематическим направлениям. Статья, не прошедшая антиплагиат, отклоняется. После доработки статьи авторам допускается повторное прохождение системы Антиплагиат с доплатой в размере 3000 тенге. Каждой статье присваивается DOI (ДОИ) – цифровой идентификатор объекта для уникальной и постоянной онлайн-идентификации содержания журнала и ссылок в интернете.

Статья должна носить авторский характер, т.е. принадлежать лично автору или группе авторов, причем количество последних не должно быть более пяти. В одном номере журнала может быть напечатано не более одной статьи одного автора.

Предпочтение отдается статьям, имеющим исследовательский характер и содержащим элементы научной новизны. Не допускается использование в статьях фрагментов текстов, рисунков или графиков из работ других авторов (или из Internet) без ссылки на них.

Для повышения рейтинга журнала и в рамках работы по его включению в международную базу данных Scopus планируется увеличение количества публикуемых статей на английском языке.

Стоимость публикации статьи составляет 35 000 тг. (решение Правления НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» от 27.02.2025 г., протокол № 4).

При возврате денег за отклоняемую статью автору возвращается оплаченная денежная сумма за вычетом стоимости оказанных услуг.

В исключительных случаях по просьбе авторов возможна ускоренная публикация статьи с письменным обоснованием срочности публикации (защита докторской диссертации, получение ученого звания, грантовое финансирование и т.д.), если статья успешно прошла рецензирование с дополнительной оплатой в размере 20 000 тенге.

Редакция журнала обращает ваше внимание, что в случае отсутствия обратной связи (нет реакции на замечания рецензентов) больше 6 месяцев, Редакционный совет оставляет за собой право отказать в публикации статьи.

Просьба к авторам – не забывать логин и пароль, под которыми вы зарегистрированы на сайте журнала.

По всем интересующим вопросам звонить по телефону:

Тел.: 8-7212-56-75-94 + 1057 – ответственный секретарь.

Адрес Редакционно-издательского центра (РИЦ):

100027, Караганда, пр. Н. Назарбаева, 60, IV корп., ауд. 208.

E-mail: rio@ktu.edu.kz

НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова»

100027, Караганда, пр. Н. Назарбаева, 56

Тел.: 8-7212 (56-51-92), (56-88-95)

ИИК KZ638560000000147366

АО Банк ЦентрКредит

БИК KCJBKZKX

КБЕ 16

БИН 000240004524

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. МАШИНОСТРОЕНИЕ. МЕТАЛЛУРГИЯ **3**

КАЛИЕВ Б.З., АХМЕТЖАНОВ Н.Б. Совершенствование конструкции торцевой зоны обечаек роликов ленточных конвейеров 3

САБИРОВА Л.Б., ТУСУПБЕКОВА Т.Ш., МАМБЕТАЛИЕВА А.Р., МАКАШЕВА Г.К., ЕЛЕУСИЗ С.Е. Исследование вещественного состава лежалых хвостов обогащения 8

КИМ А.С., АКБЕРДИН А.А., СУЛТАНГАЗИЕВ Р.Б., ОРЛОВ А.С. Хромат шламдарындағы экологиялық қауіпті алтывалентті хромды қалпына келтіру балқыту әдісімен бейтараптандыру 15

АНДРЕЯЩЕНКО В.А., МАЛАШКЕВИЧУТЕ-БРИЙАН Е.И. Аддитивті синтез арқылы алынған металл керамикалық материалдардағы анизотропия 21

ДОСПАЕВ М.М., ФИГУРИНЕНЕ И.В., ЖУМАЕВ А.А. Жақсартылған 30ХН2МА болатының қасиеттеріне ферросилиций борымен микролегирлеудің әсері 28

TULESHOV Ye., BAZARBAY B., UDERBAYEVA A., KOZHAGELDIYEV B., KARENEYEVA Zh. Study of Microstructure and Binder Removal in an Additive-manufactured Composite Sample 35

ISSAGULOV A., KVON S., ABILDINA A., OKISHEV K. Comparative Analysis of the Behavior of Fused and Crystalline Quartz During Heating 43

KYZYROV K., RESHETNIKOVA O., ASHIMBAYEV D., KIM V., LAGUNOVA Yu. Analysis of the Main Technical and Economic Indicators of Hydraulic Rock Drills for Drilling Hard Rocks in Relation to the Mining Industry of Kazakhstan 51

РАЗДЕЛ 2. ГЕОТЕХНОЛОГИИ. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ **59**

САРЫБАЕВ М.А., ЖАНАКОВА Р.К., АЛМЕНОВ Т.М. Метрополитен құрылысындағы бекітпе мен таужыныстары аралығындағы тығындау қоспаларының тиімділігін анықтау 59

ТОЛЕГЕНОВА М.А., БЕЙСЕКОВА Т.И. Құрылыс кәсіпорнындағы жазатайым оқиғаларды талдау және тәуекелдерді басқару әдістері 66

БЕГИМБЕТОВА А.С., ДЮСЕМБАЕВА Д.Қ. Жиһаз шеберханасының жұмыс аймағындағы ауаның ластану деңгейін зерттеу 72

КАППАРОВА Т.С., РАМАТУЛЛАЕВА Л.И., УАХИТОВА Б.Т., АМАНЖОЛ И.А., МЕРЕКЕ Ә.Ж. Кен байыту өндірісі жұмысшыларының еңбек жағдайының кәсіби қауіп деңгейін бағалау 78

КИМ В.О., ЧЕСКИДОВ В.В., МАУСЫМБАЕВА А.Д., ЕСИРКЕЕВ Е.М., ИСАТАЕВА Ф.М. Стратиформды темір кенді минералданудың бақылау факторларын интерпретациялауда геологиялық-құрылымдық модельдеудің рөлі 85

ЕФРЕМОВА С.С., ШМИДТ-ФЕДОТОВА И.М., АБЕУОВ Е.А., ИСИНА Н.Е. Тау жыныстары массивінің бұзылуын анықтауға арналған «РИПАС» аспабын сынау 91

ИМАНБАЕВА С.Б., СУЛЕЙМЕНОВ Н.М., АМАНЖОЛОВ Ж.К., МАРУФЕНКО Е.М., БАЛАНДИН В.С. Новый вектор в обеспечении безопасности труда: риск-ориентированный подход 98

ТУҒАМБАЙ С.Ш., ОМАРОВА Г.М., ДОЛГОПОЛОВА А.В. Особенности золоторудной минерализации и парагенетические ассоциации месторождения Бактай 104

ЖУНУСОВА Г.Е., ИГЕМБЕРЛИНА М.Б., АБЕКОВ У.Е., РАХИМОВ Г., ДОНЕНБАЕВА Н.С. Применение методов интерполяции для создания цифровых моделей земной поверхности 111

ОСКЕМБЕКОВ И.М., АКУБАЕВА М.А., ГИЗАТУЛЛИНА Д.Р., ШАЙКЕ Ж.А., ЖУНУСОВ Е.М. Исследование влияния технологических параметров на эффективность флотации отходов углеобогащения 119

СИЫЛКАНОВА А.О., МЫРЗАХАН А., КАЛГУЛОВА Н.Е., БИСЕМБАЕВА Л.Е., АБИЛАХАНОВА А.О. Моделирование Кулонового переноса напряжения на активных разломах Северного Тянь-Шаня..... 126

AKTAYEVA L., SATTAROVA G., SPATAYEV N., NELYUBINA E., DEMINA T. Assessment of the Hazard Occurrence Probability When Servicing Electrical Substations..... 133

BAIGAZINOV Zh., MAMYRBEKOV A., ZHUMADILOV K., MUHAMEDIYAROV N. Institutional Solutions for Air Quality Control in Europe and North America: Lessons for Kazakhstan 140

MUSSIN R., DEMIN V., ZAKHAROV A., GANYUKOV N., MAŁKOWSKI P. Laboratory and Field-scale Investigations of a Two-component «Sika» Resin for the Stabilization of Underground Mine Workings 147

MIZERNAYA M., SHAYAKHMETOVA Zh., PASCAL C., KUZMINA O., KALIMOV D. Technogenic Mineral Formations of the Rudny Altai VMS Polymetallic Deposits (Eastern Kazakhstan): Composition, Metal Enrichment and Secondary Resource Potential..... 154

ALMENOV T., ZHANAKOVA R., ASKAROVA G., AMANTAIULY K. Determination of Loss and Division of Gold-containing Ores of the Vasylkovskoe Deposit..... 162

KAKENOVA M., ISSAKOV B., IRANGAIP S., SAKITAYEVA K. To the Question of Justification of Calculation Methods Stability of External Rock Dumps..... 169

РАЗДЕЛ 3. СТРОИТЕЛЬСТВО. ТРАНСПОРТ 175

АРТЫҚБАЕВ Д.Ж., ИМАНОВ Е.Қ., ФАЙЗ Н.С., ҚҰТТЫБАЙ М.Т., КАРАТАЕВ М. Шағын гидроэлектр станцияларының гидротүйіндерінің вибрациялық сенімділігі мен ұзақ мерзімділігі 175

МОНТАЕВ С.А., САХИЕВ Б.Ж., ЖАРЫЛГАПОВ С.М., МОНТАЕВА А.С., ДАБСКА А. Модификациялаушы қоспаларды қолдану арқылы силикат кірпіш өндіру технологиясын тәжірибелік-өнеркәсіптік сынақтан өткізу..... 183

АКИМБЕКОВА С.Т., АРУОВА Л.Б., УРКИНБАЕВА Ж.И., КИРГИЗБАЕВ А.Т., БИСЕНОВА Ж.С. Жергілікті ресурстар мен қалдықтарға негізделген отқа төзімді құрғақ құрылыс қоспа 190

МИРЮК О.А. Влияние жидких сред на прочность магнезиальных вяжущих..... 196

KROPACHEV P., ALPYSBAYEVA N., IMANOV M., RAKHIMOVA G., GABDRASH A. Current State, Problems and Prospects for the Development of Housing and Municipal Utilities in the Republic of Kazakhstan..... 204

TOKANOV D., MAMMADOV N., ORAZALY Ye., AZIMBAYEVA Zh., KIKNADZE R. Analysis of Pile Foundations as a Geotechnical Component in Complex Soil Conditions..... 210

PRIVALOVA O., KADYROV A., KUKESHEVA A., KARSAKOVA A., KALININ A. Engineering and Hydraulic Engineering Approaches to Water Management in Conditions of Water Scarcity 217

СУЮНБАЕВ Ш.М. Исследование траншейных машин механического принципа действия..... 223

АХМЕТОВА А.Ж., ВАРГУЛА Л. Мобильді жол өтпесіне арналған инженерлік шешімдер әзірлеуге бағытталған теориялық және әдістемелік негіздерді қалыптастыру 228

ЖУНУСБЕКОВА Ж.Ж., КЕШУБАЕВА А.М. Машиналарды жинақтау: қолданылатын әдістемелерге аналитикалық шолу және оларды бағалау 236

ТАБИНБАЕВ А.М., ДЖОЛДАСОВА К.К., БИНИЯЗОВ А.М., ДЕНИСОВ А.С., КАУКАРОВ А.К.
Іштен жанатын қозғалтқыштардың майлау жүйесіндегі май көлемінің қозғалтқыш
ресурсы мен майдың ескіруіне әсері 242

МОЛДАХАНОВ Б.А., ДУДКИН М.В., ЛЕШНЕВСКИЙ Т., ЯКОВЛЕВ В.С., БАЙГУНУСОВ А.Ж.
Екінші реттегі математикалық модельдеу негізінде материалдарды ұсақтау процесінің
технологиялық параметрлерін оңтайландыру 248

РАЗДЕЛ 4. ПЕДАГОГИКА ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ. ЭКОНОМИКА 256

ZULPYKHAR Zh., AZAMAT A., SHYNDALIYEV N. Development and Adaptation of VR
Solutions for Computer Science Education in Kazakhstan 256

КОНУРОВА Н.А., ӘБІЛҚАСОВ Ғ.М. Оқыту процесінде педагогикалық технологияларды
қолданудың тиімділігі 262

КИШЕНОВА А.Ю., АЗИМБАЕВА Ж.А., ҚАЗКЕН Г.Б., БИРЮКОВ В.В., ХАЙДУК Л. Ғылыми-
коммуникативтік құзыреттілікті бағалау: тестілеу нәтижелеріне негізделген талдау 268

AITKULOVA Sh., BARAKOVA A., KUSHERBAYEVA M., AUTOVA G. Methodological Features
of Teaching the Subject «Fundamentals of Electrical Engineering and Electronics» to Future
Specialists in Pharmaceutical Production Technology 275

SADYKOV T., KOKIBASOVA G., OSPANOVA A., DYUSEKEEVA A. The Pilot Study
on the Application of Interactive Apps for Teaching Inorganic Chemistry 282

TULEBEKOVA A., RYVKINA N., TSOPA N., ALDUNGAROVA A. Training of Civil Engineers
in a Digital Educational Environment: Pedagogical Opportunities and Limitations 289

ALDABERGENOVA S., ABDYROV A., ALSHYNBAYEVA Zh., TASTANBEKOVA N.,
AKIZHANOVA A. Transformation of the Quality of Technical Education in Kazakhstan
in the Age of Artificial Intelligence: Strategies and Pedagogical Risks 296

ТЕЛАГУСОВА Э.О., ФАЙЗУЛЛИНА С.А., ИСАЕВА А.Т., САПАРБАЕВА А.М. Влияние
инвестиций на развитие экономики Казахстана 302

ӘМІРОВА Ә.Қ., АБДАНБЕКОВ А.А. Персоналды басқарудағы адамға бағытталған тәсіл:
әдеп жөніндегі уәкілдердің рөлі 308

АУЕЗОВА К.Т., АУЕЗОВА З.Т., БҰЛАҚБАЙ Ж.М., КОДАШЕВА Г.С., ТАЖИБЕКОВА К.Б.
Демографиялық үдерістерді мемлекеттік реттеудің әдістері мен қағидалары 315

ЖАР Ж.Ж., ОРЫНБАСАРОВА Е.Д., КАЛЫКОВ А.К., ТАПЕНОВА Г.С., КОСЕ Ж.К.
Қазақстанда азық-түлік қауіпсіздігі жүйесін басқарудың кейбір мәселелері 323

АХТУРСУНОВА А.О., АНГЕЛОВ И. Туризм саласындағы арнайы экономикалық аймақтар
тетігі арқылы тұрақты даму мақсаттарын іске асыруды институционалдық қамтамасыз
ету: Қазақстан тәжірибесі 330

ГЛАЗУНОВА С.Б., БОРБАСОВА З.Н., ТАПЕНОВА Г.С., ТЫНГИШЕВА А.М. Қазақстан
Республикасындағы технологиялар трансферінің қаржылық механизмдері 337

УТЕМУРАТОВА Б.К., ТИМОХИНА Т.В., АКЫНЖАНОВА А.А., АМАНБЕКОВА А.Е.,
ТОГАЙБАЕВА Л.И. Студенческие стартапы как инструмент формирования
предпринимательской активности молодежи 344

KENZHEBEKOV Zh., NURMAGANBETOV A., New Horizons for Small and Medium Business:
The Evolution of Government Support in Kazakhstan 351

ZHAKBAEVA A., TANEKEEVA G., SYDYKOVA Ch. Human Capital as a Key Factor in the New
Economic Growth Model 358

KERNEBAEV A., SHOKHABAYEVA A., TLESOVA E., HÁJEK P. Assessment of the Technical
Base and Development Trends in Kazakhstan's Agro-industrial Sector 364

РАЗДЕЛ 5. АВТОМАТИКА. ЭНЕРГЕТИКА. ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ **370**

BAIMAGAMBETOV A., SAIMANOVA Z. Energy Consumption Prediction in Commercial Buildings Using Machine Learning 370

ВЕЛИЧКО А.И., КОГАЙ Г.Д., ШАКИРОВА Ю.К., СЕРІК Ә.М. Обеспечение качества данных для машинного обучения 378

ҚҰТТЫБАЙ Н.Б., СЕЙТЖАНОВА А.К., ЕРШОВ Э.П., ҚОШҚАРБАЙ Н.Ж., ЖОЛАМАНОВ Б.Н. Разработка IoT-системы для мониторинга окружающей среды с использованием облачных технологий 384

BULATBAYEV F., MARENOVA A., BULATBAYEVA Yu., MAHAMBETOV O., NESHINA E. The Effect of the Technical Condition of 110 kV SF_6 Gas Circuit Breakers on the Reliability of Power Systems, Taking into Account the Assessment of the Remaining Resource 392

МАШРАПОВА Р.М., МАШРАПОВ Б.Е., БАРУКИН А.С. Определение индукции магнитного поля вокруг комплектных токопроводов для построения токовых защит 398

АБИЛДАЕВА Ж.Т., УСКЕНБАЕВА Р.К., КАЛЬПЕЕВА Ж.Б., АДРАНОВА А.Б., КАБДОЛДИНА Н.О. Цифровая трансформация маркетинга и оптимизация маркетинговых коммуникаций в агропромышленном комплексе Республики Казахстан 405

БЕК Н.Ю., ГАВРИЛОВА М.Р., АЛДОШИНА О.В., РАЗИНКИН В.П. Сравнительный анализ характеристик беспроводных сетей Wi-Fi в средах GNU/Linux и Windows 11 414

КАВЕРИН В.В., НҰРМАҒАНБЕТОВА Г.С., ЭМ Г.А., НҰРМАҒАНБЕТОВА Ж.С., ДЖАНИЗЕВСКИ Д. Жел генераторлық қондырғыларын авариялық режимдерден қорғаудың біріктірілген жүйесін әзірлеу 421

АДАЛБЕК А., КЕРІМҚҰЛ С.Е., ТЛЕУЖАНОВА М.А., МЕКЕШ О., ТАЖИБАЕВА Ж.О. Қазақстанның макроэкономикалық деректеріне негізделген интеллектуалды талдау және болжамының ақпараттық жүйесі модулі 427

БАТЫРБЕК Ә.Е., СИВЯКОВА Г.А., СМАГУЛОВА К.К., СМАЙЛ А.А. Барабанды ұшқыр қайшының реверсивті тиристорлық тұрақты ток электр жетегін математикалық модельдеу 435

ЖАРЛЫКАСОВА А.Н., САЛЫКОВА О.С. XGBoost, Random Forest, LSTM алгоритмдерін қолдана отырып, діріл сигналы бойынша жылжымалы мойынтіректердің қалдық ресурсын болжау моделі 443

НУСПЕКОВ Е.Л., ДЖОМАРТОВ Т.А., ИНЮТИН С.П., ТОЛЕУОВА А.Р., ЛАВРОВ Е.А. ҰҰА-ға сыртқы әсерлерді симуляциялау кезінде қолданылатын машиналық оқыту тәсілдері 450

НУРПЕИСОВА Д.А., ТАЙСАРИЕВА Қ.Н., АНДЖЕЙ Е.С., ЛУГАНСКАЯ С.П., ЖАСАНДЫҚЫЗЫ М. Қалалық ортадағы электромагниттік өрісті мониторингтеуге арналған гибридті IoT+ҰҰА жүйесі 457

KISSINA M., DYUSSEMBAYEVA A., SAIMANOVA Z., MUKHAMETZHANOVA B., ZHUSSIPOVA Zh. Adaptation of the Alphazero Neural Network Model of Optimization Methods and Learning Algorithms Using Artificial Intelligence for the Kazakh National Game 464

ISKAKOVA A., SALYKOVA O., DIDARBEKOVA N., ABUOV A., ARTYKBAEVA A. Methods for Selecting Test Items in Adaptive Testing Systems 470

NIKISHINA O., AUBAKIROVA G., KOLYEVA N. Use of Sensor Monitoring Data to Assess Soil and Microclimatic Conditions and Forecast Agricultural Crop Yields 478

ИНФОРМАЦИОННОЕ СООБЩЕНИЕ **484**

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СТАТЕЙ **485**

Поправки к статье

1. В статье авторов Нарембековой А.К., Жумашева К.Ж., Жиновой Е.В., Айтбаева Н.Б., Өтеген Ж. «Гидрометаллургическая переработка мышьяксодержащих полиметаллических возгонов медеплавильного производства», опубликованной в 2025 г. в № 3, С. 51-56, DOI 10.52209/1609-1825_2025_3_51, по вине авторов была допущена ошибка.

Сообщаем, что сведения об источнике финансирования следует читать в следующей редакции:

«Данное исследование проводилось в рамках программы 2024-2026 гг. BR23991563 «Создание инновационных ресурсосберегающих технологий добычи и комплексной переработки минерального и техногенного сырья», финансируемой Комитетом промышленности Министерства промышленности и строительства Республики Казахстан».

2. В статье авторов Baisanov A., Baisanov S., Amenov A., Vorobkalo N., Ibrakhimova Zh. «Study on the Possibility of Smelting Manganese Ligature from Ferromanganese Ore Beneficiation Tailings», опубликованной в 2025 г. в № 4 (101), С. 32-38. DOI 10.52209/1609-1825_2025_4_32, по вине авторов была допущена ошибка.

Сообщаем, что сведения об источнике финансирования следует читать верными в следующей редакции:

«This research is funded by the Committee of Industry of the Ministry of Industry and Construction of the Republic of Kazakhstan under program-targeted funding for scientific research for 2024-2026, BR23991563: «Creation of Innovative Resourch-Saving Technologies for Mining and Integrated Processing of Mineral and Technogenic Raw Materials».

республикалық журналы

республиканский журнал

УНИВЕРСИТЕТ ЕҢБЕКТЕРІ • ТРУДЫ УНИВЕРСИТЕТА
2026. №2. 491 с.

№ KZ63VPY00044097 қайта есепке алу куәлігі 2021 жылдың 15 желтоқсанында Қазақстан Республикасы Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің жанындағы Ақпарат комитетімен берілген (алғашқы тіркеу куәлігінің № 1351-Ж 04 шілде 2000 жыл)

Свидетельство о перерегистрации № KZ63VPY00044097 от 15 декабря 2021 года выдано Комитетом информации при Министерстве информации и общественного развития Республики Казахстан (первоначальное регистрационное свидетельство № 1351-Ж от 04 июля 2000 года)

Редакторлар – Редакторы

Р.С. Искакова, К.К. Сагадиева

Компьютерлік ажарлау және беттеу – Компьютерный дизайн и верстка

М.М. Утебаев, У.Е. Алтайбаева

Халықаралық индекстеу жөніндегі маман – Специалист по международной индексации

Б.О. Бейсембаева

Жарыққа шыққан күні	18.06.2026	Дата выхода в свет
Пішімі	60×84/8	Формат
Көлемі, б.т.	61,5	Объем, п.л.
Таралымы	300	Тираж
Тапсырыс	59	Заказ
Индексі	74379	Индекс

Электронный сайт журнала: http://tu.kstu.kz/

E-mail редакции: rio@ktu.edu.kz

Отпечатано в типографии НАО «Карагандинский технический университет им. А. Сагинова».

Адрес типографии и редакции: 100027, г. Караганда, пр. Н. Назарбаева, 60.