

Авторлар туралы мәліметтер

Анна Васильевна Шапорева* – PhD, «Құрылыс және дизайн» кафедрасының доценті, М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Петропавл қ. Қазақстан Республикасы; e-mail: annvolkova@mail.ru. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6211-5634>.

Алия Муратовна Айтымова – PhD, «Бастауыш, мектепке дейінгі және арнайы білім беру» кафедрасының аға оқытушысы, М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Петропавл қ. Қазақстан Республикасы; e-mail: amakasheva@ku.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1128-6924>.

Оксана Леонидовна Копнова – PhD, «Математика және физика» кафедрасының аға оқытушысы, М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Петропавл қ. Қазақстан Республикасы; e-mail: okopnova@ku.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6299-3728>.

Кайнижамал Есемсеитовна Икласова – PhD, «Ақпараттық-коммуникациялық технологиялар» кафедрасының доценті; М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Петропавл қ. Қазақстан Республикасы; e-mail: kiklasova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8330-4282>.

Елена Владимировна Шевчук – канд. техник. ғылым академигі, МАЭН академигі, Жоғары математика кафедрасының доценті, геодезия және менеджмент институты, Сібір мемлекеттік геожүйелер және технологиялар университеті, Новосибирск қ., Ресей; e-mail: evshevch@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1206-3960>.

Information about the authors

Anna Vasilyevna Shaporeva* – PhD, Associate Professor of the Department of Construction and Design, M. Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan; e-mail: annvolkova@mail.ru. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6211-5634>.

Aliya Muratovna Aitymova – PhD, Senior Lecturer of the Department of Primary, Preschool and Special Education, M. Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan; e-mail: amakasheva@ku.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1128-6924>.

Oksana Leonidovna Kopnova – PhD, Senior Lecturer of the Department of Mathematics and Physics, M. Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan; e-mail: okopnova@ku.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6299-3728>.

Kainizhamal Yesemseitovna Iklassova – PhD, Associate Professor of the Department of Information and Communication Technologies, M. Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan; e-mail: kiklasova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8330-4282>.

Elena Vladimirovna Shevchuk – Candidate of Technical Sciences, Academician of the MAEN, Associate Professor of the Department of Higher Mathematics, Institute of Geodesy and Management, Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia; e-mail: evshevch@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1206-3960>.

Поступила в редакцию 17.09.2025

Поступила после доработки 20.11.2025

Принята к публикации 24.11.2025

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-4\(20\)-21](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-4(20)-21)

IRSTI: 53.81.31



Б.К. Кенжалиев¹, С.Ж. Айбагаров², Н. Азатбекулы^{2*}, А.А. Ультаракова¹

¹Институт металлургии и обогащения, Satbayev University,
050010, Казахстан, Алматы, Шевченко, 29

²ТОО «DigitAlem»,
050042, Казахстан, Алматы, ул. Жандосова, дом 150/1

*e-mail: nurtugang17@gmail.com

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ МОЛИБДЕНИТНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

Аннотация: Истощение высококачественных молибденовых руд и необходимость переработки сложных сульфидных концентратов создают значительные вызовы для гидрометаллургической промышленности. Традиционные подходы к обработке экспериментальных данных, основанные на ручных расчетах, характеризуются высокой трудоемкостью, риском вычислительных ошибок и фрагментацией информации. В данной работе описывается разработка специализированной информационной системы для моделирования и анализа гидрометаллургической переработки молибденитных концентратов. Программное обеспечение

реализовано на базе веб-фреймворка Django и включает модули ввода экспериментальных данных, автоматизированного расчета материальных балансов процессов выщелачивания и сорбции, а также визуализации результатов через интерактивные аналитические панели. Система апробирована на данных 6 экспериментов по выщелачиванию и 9 экспериментов по сорбции молибдена. Модульная трехуровневая архитектура обеспечивает масштабируемость решения и возможность его адаптации для моделирования других гидрометаллургических процессов. Разработанные калькуляторы позволяют прогнозировать степень извлечения молибдена на различных стадиях технологического цикла без проведения дополнительных физических экспериментов. Практическая значимость работы заключается в создании цифрового двойника технологического процесса, который формирует единое информационное пространство для исследователей, обеспечивает прозрачность и воспроизводимость экспериментов, а также закладывает основу для промышленного масштабирования технологии переработки молибденитовых концентратов.

Ключевые слова: гидрометаллургия; переработка молибденита; цифровой двойник; информационная система; материальный баланс; автоматизация расчетов.

1. Введение

Развитие горнометаллургической отрасли неразрывно связано с необходимостью обработки и анализа больших объемов экспериментальных данных. Традиционные подходы, основанные на ручной обработке лабораторных журналов и разрозненных таблиц, сопряжены со значительными трудностями, включая высокую трудоемкость, риск человеческой ошибки и фрагментацию данных в изолированных системах [1]. Эти проблемы становятся особенно острыми при работе со сложными многофакторными системами, такими как гидрометаллургическая переработка молибденитовых концентратов [2], где эффективность процесса зависит от множества взаимосвязанных физико-химических параметров. В таких условиях возникает острая потребность в современных цифровых инструментах, способных автоматизировать рутинные операции и предоставить инженерам-технологам мощные средства для анализа и оптимизации [3].

В последние годы концепция «цифрового двойника» (Digital Twin) находит все более широкое применение в промышленности, позволяя создавать динамические виртуальные модели реальных технологических процессов [4]. Такие системы не просто хранят данные, а моделируют поведение физического объекта, что открывает принципиально новые возможности для прогностического анализа и оптимизации [5]. Создание специализированных информационных систем (ИС) и программных симуляторов для металлургии является одним из ключевых направлений цифровой трансформации отрасли. Эти инструменты позволяют систематизировать экспериментальные данные, выполнять прецизионные расчеты материальных балансов и оценивать влияние технологических параметров на конечные показатели без проведения дорогостоящих и длительных физических экспериментов [6].

Особую роль в создании таких систем играет выбор архитектурных решений и технологического стека. Современные веб-фреймворки, такие как Django на языке Python, предоставляют надежную основу для разработки сложных научных приложений, обеспечивая эффективное управление данными и реализацию сложной вычислительной логики [7]. Не менее важным является и проектирование унифицированной структуры базы данных, которая служит фундаментом для интеграции различных модулей и обеспечения целостности научной информации [8]. Интеграция различных программных модулей в единую платформу позволяет достичь синергетического эффекта, при котором ценность объединенной системы значительно превышает простую сумму ее компонентов [9].

Целью настоящей работы является описание процесса разработки и апробации специализированного программного модуля, предназначенного для анализа и цифрового моделирования гидрометаллургической технологии извлечения триоксида молибдена из молибденитового концентрата. В статье подробно рассматриваются ключевые аспекты создания системы: от проектирования архитектуры и структуры базы данных до реализации пользовательского интерфейса с аналитическими панелями и специализированными калькуляторами. Разработанный продукт представляет собой полноценный цифровой двойник технологического процесса [10], который служит мощной аналитической платформой для инженера-технолога и закладывает основу для дальнейшего масштабирования технологии [11].

2. Материалы и методы

Фундаментом для разработки информационной системы послужила модульная трехуровневая архитектура, типичная для современных веб-ориентированных приложений. Данный подход предполагает логическое разделение системы на три основных слоя: уровень представления (клиентская часть), уровень бизнес-логики (серверная часть) и уровень данных (база данных), что обеспечивает гибкость и независимость разработки отдельных компонентов. Центральным элементом, выполняющим роль системного «оркестратора», выступает ядро, реализованное на базе веб-фреймворка Django. Оно предоставляет технологическому модулю по переработке молибденита стандартизированный набор унифицированных сервисов, включая управление базой данных, аналитику, генерацию отчетов и аутентификацию пользователей. Концептуальная архитектура разработанной информационной системы представлена на рисунке 1.

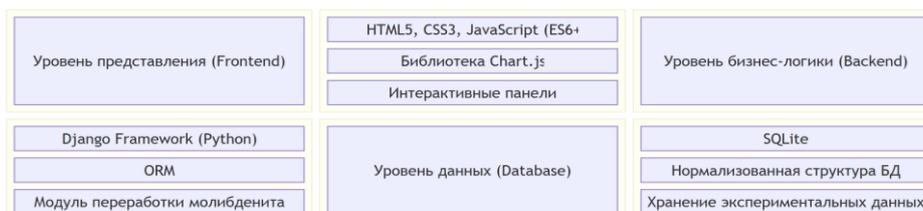


Рисунок 1 – Концептуальная архитектура разработанной информационной системы

Выбор технологического стека был продиктован требованиями к надежности, производительности и масштабируемости. В него вошли следующие ключевые компоненты:

- **Серверная часть (Backend):** реализована с использованием фреймворка Django (Python), который обеспечивает надежную архитектуру и предоставляет мощный встроенный механизм ORM (Object-Relational Mapping) для безопасного и эффективного взаимодействия с базой данных.
- **Клиентская часть (Frontend):** создана с применением нативных веб-технологий - HTML5, CSS3 и JavaScript (ES6+), что гарантирует высокую производительность и полную совместимость с современными браузерами.
- **Визуализация данных:** интегрирована библиотека Chart.js для построения интерактивных аналитических панелей и диаграмм.
- **Система управления базами данных (СУБД):** на этапе разработки и апробации была выбрана SQLite - встраиваемая реляционная СУБД, оптимально подходящая для научных приложений благодаря простоте развертывания и высокой производительности.

Проектирование структуры базы данных осуществлялось в строгом соответствии с принципами нормализации для обеспечения целостности и непротиворечивости хранимой информации.

3. Результаты

Ключевым результатом исследования явилась разработка и тестирование программного обеспечения «Переработка молибденита», выступающего в роли полнофункциональной виртуальной копии гидрометаллургического процесса. Разработанное программное обеспечение реализует комплексный подход к управлению экспериментальными данными, автоматизирует трудоемкие вычисления и предлагает эффективные средства для исследования и улучшения полного производственного цикла.

Основным компонентом платформы выступает главный аналитический дашборд (рис. 2), служащий универсальным интерфейсом доступа и предлагающий исследователю агрегированные сведения о настоящем статусе проекта. На нем в реальном времени собираются главные метрики продуктивности: общее количество выполненных испытаний, а также усредненное и максимальное полученное значение извлечения молибдена.

Для анализа и сравнения результатов разработан модуль электронного журнала экспериментов, обеспечивающий хронологическое отображение данных по выщелачиванию и сорбции (рис. 3). Внутри него в упорядоченной форме отображаются информационные блоки недавних экспериментов по растворению и поглощению, что дает возможность специалисту быстро сопоставлять продуктивность разнообразных методик и мониторить итоги во времени.

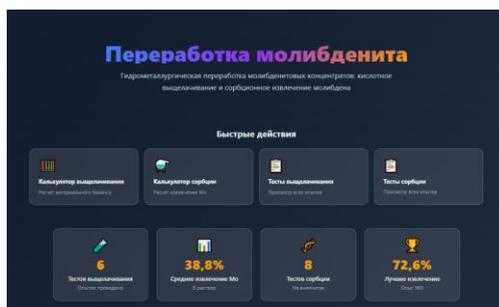


Рисунок 2 – Главная аналитическая панель модуля «Переработка молибдена»



Рисунок 3 – Сводка последних экспериментов

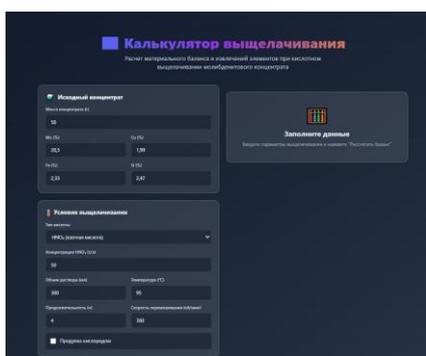
Значимой опцией программного обеспечения является способность к отображению полной производственной последовательности (рис. 4). Динамическая диаграмма показывает вещественные потоки цикла, дополняя главные этапы информацией о базовых производственных характеристиках. Это гарантирует комплексное осмысление цикла и корреляции его составных частей.



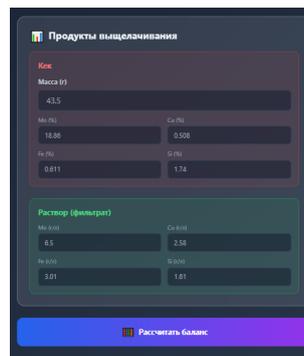
Рисунок 4 – Визуализация технологической схемы

Основным расчетным центром платформы служат два сопряженных вычислительных инструмента. «Калькулятор выщелачивания» (рис. 5) сконструирован для точного вычисления вещественного баланса. Исследователь вносит информацию о начальном сырье, параметрах цикла и итоговых продуктах, после чего платформа моментально выполняет исчерпывающее вычисление, устанавливая уровень извлечения компонентов и их дистрибуцию.

Следующее средство, «Калькулятор сорбции Mo» (рис. 6), служит для симуляции последующего производственного этапа. Исследователь имеет возможность устанавливать характеристики цикла для вычисления ожидаемого извлечения молибдена на ионообменных смолах, что предоставляет возможность в цифровом формате улучшить текущую стадию.



(a)



(b)

Рисунок 5 – Интерфейс калькулятора выщелачивания



Рисунок 6 – Интерфейс калькулятора сорбции

Следовательно, созданное программное обеспечение представляет собой эффективное и всеобъемлющее средство, трансформирующее многоэтапный гидрометаллургический цикл в контролируемое виртуальное пространство и предоставляя специалисту-технологу комфортные инструменты для прецизионных вычислений, детального изучения и обоснованного улучшения методики.

4. Заключение

В ходе настоящей работы был успешно разработан и апробирован специализированный программный модуль «Переработка молибденита», представляющий собой полноценный цифровой двойник для анализа и моделирования гидрометаллургической технологии. Созданная информационная система продемонстрировала высокую эффективность в решении ключевых задач: систематизации экспериментальных данных, автоматизации сложных расчетов материального баланса и предоставлении интерактивных инструментов для анализа влияния технологических параметров на конечные показатели.

Апробация системы проведена на экспериментальных данных, включающих 6 тестов выщелачивания и 9 тестов сорбции молибдена. Разработанное программное обеспечение обеспечивает автоматизацию расчетов материального баланса, которые ранее выполнялись вручную с использованием электронных таблиц. Это позволило существенно сократить время обработки экспериментальных данных и полностью устранить риск арифметических ошибок, характерных для ручных вычислений.

Интеграция аналитических панелей и специализированных калькуляторов в единый интуитивно понятный интерфейс позволила трансформировать разрозненные лабораторные сведения в структурированный и управляемый информационный ресурс. Это не только значительно снижает трудоемкость обработки данных и минимизирует риск вычислительных ошибок, но и открывает новые возможности для виртуальной оптимизации процесса, позволяя прогнозировать результаты без проведения затратных физических экспериментов.

Практическая значимость разработки заключается в создании цифрового инструмента, который формирует единое информационное пространство для всех участников исследовательского процесса, обеспечивает прозрачность и воспроизводимость экспериментов, а также закладывает основу для дальнейшего масштабирования технологии переработки молибденитовых концентратов до промышленного уровня.

Дальнейшее развитие проекта предусматривает расширение функциональности системы путем внедрения модулей предиктивной аналитики [12], интеграции дополнительных технологических стадий процесса и накопления статистической базы данных для выявления оптимальных режимов переработки различных типов молибденитового сырья.

Список литературы

1. The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship / M.D. Wilkinson et al // *Scientific Data*. – 2016. – № 3. – P. 160018.
2. Bazan V. Extraction of molybdenite concentrates by leaching / V. Bazan, M. Medina, I. Orozco // *DYNA*. – 2024. – № 91(234). – P. 54-61.
3. Laputka M. A review of recent advances in pyrometallurgical process measurement and modeling, and their applications to process improvement / M. Laputka, W. Xie // *Mining, Metallurgy & Exploration*. – 2021. – № 38(2). – P. 1135-1165.
4. Grieves M. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems / M. Grieves, J. Vickers // *In Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems*. – 2017. – P. 85-113.
5. Digital Twins and Enabling Technology Applications in Mining: Research Trends, Opportunities, and Challenges / M. Don et al // *IEEE Access*. – 2025. – P. 1-1.
6. Hydrometallurgical processing of molybdenum middlings from Shatyrkul-Zhaysan cluster ore / L. Karimova et al // *Journal of Mining and Metallurgy, Section B: Metallurgy*. – 2024. – № 60(1). – P. 71-83.
7. Sun T. A Python-based platform for thermodynamic calculation and process simulation in metallurgy / T. Sun, S. Du // *JOM*. – 2019. – № 71(10). – P. 3504-3512.
8. McDowell, D.L. The materials innovation ecosystem: a key enabler for the materials genome initiative / D.L. McDowell, S.R. Kalidindi // *MRS Bulletin*. – 2016. – № 41(4). – P. 326-337.
9. Zhang J. Metallurgical Process Simulation and Optimization / J. Zhang, Y. Liu, Q. Liu // *Materials*. – 2022. – № 15(23). – P. 8421.
10. Kenzhaliyev B. INFORMATION SYSTEM FOR METALLURGICAL PROCESS ANALYSIS AND OPTIMIZATION / B. Kenzhaliyev, S. Aibagarov // *JPCSIT [Internet]*. – 2025. – № 3(3). – P. 101-12. Available from: <https://jpcsit.kaznu.kz/index.php/kaznu/article/view/248>.
11. Hydrometallurgical processes for the recovery of metals from steel industry by-products: a critical review / K. Binnemans et al // *Journal of Sustainable Metallurgy*. – 2020. – № 6(4). – P. 505-540.
12. Predicting Copper Production Cycles in Hydrometallurgy with Interpretable Machine Learning / B. Kenzhaliyev et al // *Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra = Complex Use of Mineral Resources*. – 2025. – № 341(2). – P. 5-15. <https://doi.org/10.31643/2027/6445.13>.

Благодарность

Данное исследование было профинансировано Комитетом по науке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR24992757).

B.K. Kenzhaliyev¹, S.Zh. Aibagarov², N. Azatbekuly^{*}, A.A. Ultarukova¹

¹Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation, Satbayev University,
050010, Kazakhstan, Almaty, Shevchenko Street, 29

²LLP DigitAlem,
050042, Kazakhstan, Almaty, 150/1 Zhandosov Street

DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR MODELING AND ANALYZING HYDROMETALLURGICAL PROCESSING OF MOLYBDENITE CONCENTRATES

The depletion of high-grade molybdenum ores and the need to process complex sulfide concentrates pose significant challenges for the hydrometallurgical industry. Traditional approaches to processing experimental data based on manual calculations are characterized by high labor intensity, risk of computational errors, and information fragmentation. This paper describes the development of a specialized information system for modeling and analyzing the hydrometallurgical processing of molybdenite concentrates. The software is implemented using the Django web framework and includes modules for experimental data input, automated calculation of material balances for leaching and sorption processes, and visualization of results through interactive analytical dashboards. The system has been validated using data from 6 leaching experiments and 9 molybdenum sorption experiments. The modular three-tier architecture ensures solution scalability and enables its adaptation for modeling other hydrometallurgical processes. The developed

calculators allow predicting molybdenum recovery rates at various stages of the technological cycle without conducting additional physical experiments. The practical significance of this work lies in creating a digital twin of the technological process that establishes a unified information space for researchers, ensures transparency and reproducibility of experiments, and lays the foundation for industrial scaling of molybdenite concentrate processing technology.

Key words: hydrometallurgy; molybdenite processing; digital twin; information system; material balance; calculation automation.

Б.К. Кенжалиев¹, С.Ж. Айбагаров², Н. Азатбекулы², А.А. Ультаракова¹

¹Металлургия және кен байыту институты, Satbayev University,
050010, Қазақстан, Алматы, Шевченко көшесі, 29

²ЖШС «DigitAlem»,
050042, Қазақстан, Алматы, Жандосов көшесі, 150/1

МОЛИБДЕНИТ КОНЦЕНТРАТТАРЫН ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЯЛЫҚ ӨНДЕУДІ МОДЕЛЬДЕУГЕ ЖӘНЕ ТАЛДАУҒА АРНАЛҒАН АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕНІ ӨЗІРЛЕУ

Жоғары сапалы молибден кендерінің азаюы және күрделі сульфидті концентраттарды өңдеу қажеттілігі гидрометаллургия өнеркәсібі үшін елеулі қиындықтар тудырады. Қолмен есептеуге негізделген эксперименттік деректерді өңдеудің дәстүрлі әдістері еңбек сыйымдылығының жоғарылығымен, есептеу қателері қаупімен және ақпараттың бөлшектенуімен сипатталады. Бұл жұмыста молибденит концентраттарын гидрометаллургиялық өңдеуді модельдеуге және талдауға арналған арнайы ақпараттық жүйені өзірлеу сипатталады. Бағдарламалық қамтамасыз ету Django веб-фреймворкі негізінде іске асырылған және эксперименттік деректерді енгізу, сілтісіздендіру және сорбция процестерінің материалдық балансын автоматты түрде есептеу, сондай-ақ интерактивті талдамалық панельдер арқылы нәтижелерді визуализациялау модульдерін қамтиды. Жүйе 6 сілтісіздендіру эксперименті және 9 молибден сорбциясы эксперименті деректері бойынша сыналды. Модульдік үш деңгейлі архитектура шешімнің масштабталуын және оны басқа гидрометаллургиялық процестерді модельдеу үшін бейімдеу мүмкіндігін қамтамасыз етеді. Өзірленген калькуляторлар қосымша физикалық эксперименттер жүргізбестен технологиялық циклдің әртүрлі кезеңдерінде молибденді алу дәрежесін болжауға мүмкіндік береді. Жұмыстың практикалық маңыздылығы зерттеушілер үшін бірыңғай ақпараттық кеңістік қалыптастыратын, эксперименттердің ашықтығы мен қайталанымдылығын қамтамасыз ететін, сондай-ақ молибденит концентраттарын өңдеу технологиясын өнеркәсіптік масштабтауға негіз қалайтын технологиялық процестің цифрлық егізін жасауда.

Түйін сөздер: гидрометаллургия; молибденитті өңдеу; цифрлық егіз; ақпараттық жүйе; материалдық баланс; есептеулерді автоматтандыру.

Information about the authors

Bagdaulet Kenzhaliyev – Doctor of Technical Sciences, General Director-Chairman of the Management Board of the Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan; e-mail: bagdaulet_k@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1474-8354>.

Serik Aibagarov – Researcher, LTD DigitAlem, Almaty, Kazakhstan; e-mail: awer1307dot@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4946-4926>.

Nurtugan Azatbekuly* – Researcher, LTD DigitAlem, Almaty, Kazakhstan; e-mail: nurtugang17@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5843-8995>.

Almagul Ultarokova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior researcher at the titanium and rare refractory metals laboratory of the Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan; e-mail: ult.alma@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9428-8508>.

Сведения об авторах

Багдаулет Кенжалиевич Кенжалиев – доктор технических наук, Генеральный директор-председатель Правления Института металлургии и обогащения, Satbayev University, Алматы, Казахстан; e-mail: bagdaulet_k@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1474-8354>.

Серик Жумагиреевич Айбагаров – научный сотрудник, ТОО «DigitAlem», Алматы, Казахстан; e-mail: awer1307dot@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4946-4926>.

Нуртуган Азатбекулы* – научный сотрудник, ТОО «DigitAlem», Алматы, Казахстан; e-mail: nurtugang17@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5843-8995>.

Алмагуль Амировна Ультаракова – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории титана и редких тугоплавких металлов Института металлургии и обогащения, Satbayev University, Алматы, Казахстан; e-mail: ult.alma@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9428-8508>.

Авторлар туралы ақпарат

Бағдаулет Кенжалиевич Кенжалиев – техника ғылымдарының докторы, «Металлургия және кен байыту институты» Бас директоры-Басқарма төрағасы, Сәтбаев Университеті, Алматы, Қазақстан; e-mail: bagdaulet_k@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1474-8354>.

Серік Жумагиреевич Айбагаров – ғылыми қызметкер, «DigitAlem» ЖШС Алматы, Қазақстан; e-mail: awer1307dot@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4946-4926>.

Нұртуған Азатбекұлы – ғылыми қызметкер, «DigitAlem» ЖШС, Алматы, Қазақстан; e-mail: nurtugang17@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5843-8995>.

Улмагүл Амировна лтаракова – техника ғылымдарының кандидаты, доцент, «Металлургия және кен байыту институты» титан және сирек кездесетін қиын балқитын металдар зертханасының аға ғылыми қызметкері, Сәтбаев Университеті, Алматы, Қазақстан; e-mail: ult.alma@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9428-8508>.

Поступила в редакцию 17.10.2025

Поступила после доработки 26.11.2025

Принята к публикации 27.11.2025

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-4\(20\)-22](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-4(20)-22)

МРНТИ: 27.41.15; 27.41.19



Е.Ж. Кабдулкаримов*, У.Т. Махажанова

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева

010008, Республика Казахстан, г. Астана, ул. Сатпаева, 2

*e-mail: yernarkabdulkarimov@gmail.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ УСПЕВАЕМОСТИ СТУДЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Аннотация: В статье рассматриваются современные подходы к моделированию и прогнозированию динамики успеваемости обучающихся в образовательных системах с применением методов машинного обучения (МО). Исследование включает подробный анализ существующих методологических подходов, готовых решений и коммерческих платформ, обзор литературных источников, описывающих применение алгоритмов анализа данных в образовательной сфере, а также разработку собственной модели, охватывающей сбор данных, обработку, выбор методов и алгоритмов, прогнозирование успеваемости обучающихся.

Изучены различные популярные готовые решения и коммерческие платформы, которые используют методы МО для анализа, прогнозирования и оптимизации образовательных процессов: Blackboard Predict, Civitas Learning, Knewton Adaptive Learning Platform, DreamBox Learning, IBM Watson Education, SAS Campus Analytics. Исследованы веса общих атрибутов, которые влияют на прогнозирование и изучено каким образом отдельные признаки влияют на предсказания.

Представленная статья демонстрирует, что использование нейронных сетей позволяет существенно повысить точность прогнозирования, что является важным инструментом для управления образовательными учреждениями и принятия оперативных управленческих решений. Однако, одним из минусов этого алгоритма является большое время обучения на компьютерах с более низкими вычислительными показателями. Поэтому были рассмотрены и другие алгоритмы при создании собственной модели.

Результаты исследования показали, что ансамблевые методы обеспечивают значительно меньшую ошибку прогнозирования по сравнению с линейной регрессией, при этом обучение и выполнение предсказаний требуют существенно меньше времени.

Ключевые слова: образовательные системы, машинное обучение, прогнозирование, моделирование, анализ данных, ансамблевые методы, нейронные сети.

Введение

Если мы будем учить сегодняшних учеников так, как учили вчерашних, мы лишим их завтрашнего дня. *Джон Дьюи.*

Образовательные системы представляют собой сложные динамические структуры, характеризующиеся множеством взаимосвязанных компонентов, таких как качество преподавания, материально-техническое обеспечение, учебные программы, мотивация