

**ГОРНЫЙ
ЖУРНАЛ КАЗАХСТАНА**

зарегистрирован Министерством культуры и информации Республики Казахстан 04.04.2013 г.
Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания 13508-Ж.

Издается с января 2003 г.

Приказом № 603 от 12.07.2024 г. Комитета по контролю в сфере образования и науки МОН РК внесен в перечень научных изданий, рекомендуемых для публикации основных результатов научной деятельности.

В журнале публикуются материалы, отражающие состояние и перспективы развития геологии, горного дела и металлургии не только в нашей стране, но и за рубежом. Журнал освещает проблемы охраны труда и техники безопасности, экономики, подготовки кадров и других вопросов, связанных с горно-металлургическим комплексом. В журнале представлены статьи прикладного характера, результаты фундаментальных исследований, служащие основой для новых технических разработок.

При перепечатке материалов ссылка на Горный журнал Казахстана обязательна. Ответственность за достоверность сведений в публикуемых статьях и рекламных материалах несут авторы и рекламодатели. Мнение редакции не всегда может совпадать с мнением авторов.

Адрес редакции:
050026, г. Алматы, ул. Карасай батыра, 146, оф. 401,
+7 (747) 343-15-02
minmag.kz

Представитель журнала на специализированных мероприятиях – Общество с ограниченной ответственностью «Маркетинг от Тимченко»

Представители журнала:

Республика Узбекистан –
ШЕРЗОД ВАФО-ОГЛЫ КАРИМОВ
karimov20-13@mail.ru

Российская Федерация, Сибирский регион –
ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ ШАПОШНИК
shaposhnikyury@mail.ru

Периодичность 12 номеров в год

Тираж 1500 экземпляров

ISSN 2227-4766

Подписной индекс 75807 в каталогах:
АО «Казпочта»,
ТОО «Агентство «Евразия пресс»

Подписано в печать 30.07.2025 г.

Отпечатано:

«Print House Geron»
ул. Сатпаева 30А/3, офис 124
тел: + 7 727 250-47-40,
+ 7 727 398-94-59,
факс: + 7 727 250-47-39

УЧРЕДИТЕЛЬ И СОБСТВЕННИК
ТОО «Научно-производственное
предприятие «ИНТЕРРИН»



INTERRIN

Главный редактор

М.Ж. БИТИМБАЕВ, mbitimbaev@mail.ru

Заместитель гл. редактора

Л.А. КРУПНИК, leonkr38@mail.ru

Заместитель гл. редактора

Х.А. ЮСУПОВ, yusupov_kh@mail.ru

Ответственный редактор

Т.С. ДОЛИНА, Tatyana.Dolina@interrin.kz

Редакционная коллегия:

Fidelis Tawiah Suorineni, PhD, Professor of Mining Engineering

Барменшинова М.Б., канд. техн. наук, ассоц. профессор

Бекботаева А.А., PhD, ассоц. профессор

Белин В.А., д-р техн. наук, профессор (Россия)

Бондаренко В.И., д-р техн. наук, профессор (Украина)

Буктуков Н.С., д-р техн. наук, профессор, академик

Воробьев А.Е., д-р техн. наук, профессор (Россия)

Галиев С.Ж., д-р техн. наук, профессор

Демин В.Ф., д-р техн. наук, профессор

Едильбаев А.И., д-р техн. наук

Жанибеков Б.О., д-р философии геол.-мин. наук, доцент

Каплунов Д.Р., д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники (Россия)

Каримов Ш.В., PhD (Узбекистан)

Лось В.Л., д-р геол.-минерал. наук, профессор

Молдабаев С.К., д-р техн. наук, профессор

Насиров У.Ф., д-р техн. наук, профессор (Узбекистан)

Нифадьев В.И., д-р техн. наук, профессор

Нурпеисова М.Б., д-р техн. наук, профессор

Ольшанский Е.Н., член-корреспондент МАИН

Петров Е.А., д-р техн. наук, профессор

Ратов Б.Т., д-р техн. наук, профессор

Рысбеков К.Б., канд. техн. наук, профессор

Столповских И.Н., д-р техн. наук, профессор

Тамбиев П.Г., канд. техн. наук

Туробов Ш.Н., PhD, доцент

Хайитов О.Г., д-р геол.-минерал. наук, профессор

Хамидов Р.А., PhD, доцент

Шодиев А.Н., д-р техн. наук, доцент

Чепуштанова Т.А., PhD

® – статья на правах рекламы

① – информационное сообщение

✍ – статья публикуется в авторской редакции

3	Колонка главного редактора
4	Эстафета сварочного мастерства: опыт наставников для прочного будущего отрасли
6	АО «ЭКГСЕРВИС» – инжиниринговая и производственная компания. 20 лет на рынке: новые решения и перспективы
	Геотехнология
10	Б. Хусан, *Ж.Б. Ныгыметов, А.Ю. Кишенкова, С.Т. Асаинов Оптимизация процессов горных работ с использованием методов цифровизации
	Разрушение горных пород
16	М.К. Татыбаев, О.О. Дуйсенбекова, В.В. Поветкин, *А.А. Кенбай Установление энергоемкости разрушения гранита по параметрам ударной системы экспериментальным методом ✍
	Маркшейдерское дело
22	Г.С. Мадимарова, *Т.Б. Нурпеисова, А.Е. Ормамбекова, Ш.А. Жантуева Исследование маркшейдерско-геодезических и геотехнических данных бассейна Каратау
	Геомеханика
30	Д. Таханов, *А. Рымкулова, Б. Рахметов, М. Балпанова Комплексное применение методов LEM и FEM для оценки геомеханических рисков
40	А.Ж. Имашев, *А.А. Мусин, Г.Т. Нуриайыкова, М. Рабатұлы Применение кинематического анализа для оценки устойчивости отколов техногенных образований
	Горные машины
47	*O. Kurbonov, L. Atakulov, G. Akanova, D. Kramsakov Investigation of velocity modes of liquid flows around electric motors of submersible pumps
55	Ж.К. Татаева, К.К. Елемесов, *Д.Д. Басканбаева, Л.Б. Сабирова Газ айдау станциясының бұрандалы компрессорының электр жетегін оңтайландыру
	Обогащение полезных ископаемых
61	А.Р. Мамбеталиева, *С. Сагатбек, А.О. Муғинов, Б. Жәкен Құрамында көмірі бар қалдықтарды реагент-депрессорды қолдану арқылы флотациялық байыту технологиясын зерттеу
	Нефтегазовое дело
67	*Ж.С. Сарқұлова, Р. Изимова, Р.Е. Байедел, А.Т. Нұрғали Тұрақты энергияға көшу контекстіндегі теңіздегі бұрғылаудың болашағы
	Геоэкология
72	А. Abulgaziev, A. Zhumagaziev, *S. Kurbaniyazov, N. Saburova Geomorphological analysis of river systems in the Sauran district under the arid climate conditions
80	Требования к оформлению и условия предоставления статей

КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА



**Марат
Жакупович
Битимбаев**
главный редактор

*Дорогие читатели!
Уважаемые коллеги!*

Вторая половина года уже стоит у дверей. Жарко или прохладно – как бы мы не комментировали погоду, обвиняя самих себя в ее сюрпризах, не доставляющих нам удовольствия, мы воспринимаем их, создавая себе возможность отдыхать, работать, радоваться. В этом сила человеческого духа, который с древних времен настраивал наших предков (только представьте себе жизнь первобытных людей!) на постоянный труд и устройство благополучия.

Поэтому мне кажется, что главная помеха – это не зима и лето, не холод и жара, даже не природные катастрофы, а наши собственные противоречия, вызванные политическими, религиозными, экономическими или личностными мотивами. Мы разучились договариваться, хотя практически все всегда говорим, что хотели бы жить в мире и согласии.

Советовать можно, но мой маленький экскурс в современное мироздание – это повод обратиться к моей Родине – Казахстану, потому что моя страна – это пример вместе с нашими друзьями из Центральной Азии – узбеков, кыргызов, таджиков, туркмен – как надо жить.

2025 год объявлен Президентом нашей страны Годом рабочих профессий – эта сфера деятельности получает новый импульс для развития, став ключевым звеном приоритетных механизмов государственной политики. Наступило время, когда вопрос оснащения экономики РК квалифицированными специалистами выходит на первый план. Комплексные меры по подготовке и привлечению профессионалов, способных адаптироваться к современным вызовам и внедрять инновационные решения в традиционные отрасли, являются залогом стабильного экономического роста и процветания страны.

С первых дней своей работы Президент нашей страны Касым-Жомарт Кемелевич Токаев подчеркивает, что основа развития Казахстана – это труд, создающий материальную базу для будущего процветания. Признание особой важности рабочих профессий в рамках государственной политики будет способствовать возвращению в Справедливом Казахстане по-настоящему **справедливого и уважительного отношения к труду**, который был, есть и будет одной из важнейших основ жизни и развития человечества, к рабочим людям, профессионально и постоянно подтверждающим эту великую истину и вносящим реальный, а в совокупности – неоценимый вклад в экономику страны, который сейчас пока еще часто остается в тени.

В контексте обращения Президента о Годе рабочих профессий в Казахстане следует иметь в виду, что труд инженера, в частности в горно-металлургическом комплексе в геологическом секторе, сродни рабочим профессиям, потому что повышение престижа рабочих профессий невозможно без инженерного руководства и совместного формирования технологического и через него производственного процесса.

С июля месяца начинается череда наших профессиональных праздников – Дня металлурга и Дня шахтера (горняка) в августе. Эти праздники для всех нас были и остаются поводом окунуться в прошлое, увидеть настоящее и оценить наши ожидания в будущем. Наше участие в созидании принципа «Модели Токаева» о формировании нового качества нации будущего и связанного с ним национального Ренессанса не только соединит опыт прошлого и горизонты будущего. Оно должно сказаться в нашем мирном строительстве Нового, справедливого Казахстана как национальной мечты и миссии нашей страны.

Профессиональные праздники, протекающие в обстановке согласия и трудовых достижений, являются составной частью конкурентоспособной страны в лице ее участников – государства, общества, граждан. От нас с вами.

С Праздником – Днем металлурга!

ЭСТАФЕТА СВАРОЧНОГО МАСТЕРСТВА: ОПЫТ НАСТАВНИКОВ ДЛЯ ПРОЧНОГО БУДУЩЕГО ОТРАСЛИ

В условиях стремительного развития промышленности и повышения требований к квалификации специалистов человек остается главной «движущей силой» прогресса. Формирование современных профессиональных кадров невозможно без передачи опыта – наставничество играет здесь особую роль. Наставник не только дает знания и обучает техническим навыкам, но и помогает избежать ошибок, формирует ответственность за результаты труда, прививает любовь к профессии.

Одной из площадок, где опытные мастера смогли вдохновить новичков на развитие профессиональных навыков, стал I Международный профессиональный конкурс по компетенции «Сварочные технологии» по стандартам WorldSkills, прошедший с 26 по 30 мая в Алматы. Организаторами выступили Некоммерческое акционерное общество «Talar», Управление образования города Алматы, Алматинский строительно-технический колледж и компания ESAB – международный производитель решений в области сварки и резки металлов. **О тех, чей опыт и знания развивают сварочное дело в Центральной Азии подробнее в материале «Горного журнала Казахстана».**

Вчера наставники – сегодня участники. Состязались в сварочном деле преподаватели колледжей из Казахстана, Кыргызстана, Монголии, Таджикистана и Узбекистана – мастера, доказавшие свою компетентность успешной подготовкой студентов к региональным и национальным чемпионатам WorldSkills.

WorldSkills International – международное профессиональное движение. Его главная цель – повышение статуса и стандартов профессиональной подготовки и квалификации специалистов по всему миру. Хотя чемпионаты рабочих профессий проходят с 1947 года, страны Центральной Азии присоединились к участию сравнительно недавно. Казахстан и Монголия – в 2014 году, Узбекистан и Азербайджан – в 2020, Кыргызстан – в 2023.

Состязания для опытных сварщиков стали частью масштабной стратегии по развитию профессионального образования, инициированной президентом Казахстана Касым-Жомартом Токаевым, в том числе в рамках Года рабочих профессий. Конкурсные задания были представлены в трех модулях: сварка пластин толщиной 10 мм в различных пространственных положениях, сварка конструкций из нержавеющей стали и сварка из алюминия. Работы участников оценивали по визуальным и измерительным критериям. Кроме этого, жюри следило за соблюдением требований охраны труда, так как выполнение техники безопасности – одно из основных условий чемпионатов по стандартам WorldSkills. По ходу соревнований баллы вносили в информационную систему оценивания – CIS,



что обеспечило точность и оперативность подсчета результатов.

Одной из задач участников стала презентация умения работать с высокотехнологичным современным оборудованием мирового уровня. Необходимую технику, а также расходные материалы предоставил партнер мероприятия – компания ESAB.

Для состязаний конкурсанты получили сварочные полуавтоматы Rustler EM 350C PRO SYNERGIC с горелками PSF 315, а также необходимые расходные материалы: электроды УОНИИ-13/55, присадочные прутки OK Tigrod 12.64, сварочную проволоку Св-08Г2С 1.0 мм 18 кг, порошковую проволоку FILARC PZ6113 1.2 мм 16 кг, а также OK Tigrod 4043 2.4 x 1000 мм 2.5 k, OK Tigrod 316L 2.4 x 1000 мм 5 kg.

Такая оснащенность не только позволила точно выполнить задания по стандартам WorldSkills, но и познакомила педагогов с передовыми решениями для сварки.

«Поддержка обмена профессиональным опытом и компетенциями – часть стратегической миссии ESAB по повышению престижа рабочих специальностей в Центральной Азии. Только в Казахстане более 772 учебных заведений готовят специалистов рабочих направлений. Это более 570 тысяч студентов. В процессе обучения важна роль наставника – того, кто передаст «эстафету» и поделится знаниями. И здесь мы видим, что это мастера своего дела. Участие в подобных чемпионатах для них – возможность продемонстрировать уровень подготовки, на деле стать примером ученикам, а также обменяться опытом с коллегами. И ESAB, как мировой производитель сварочного оборудования и расходных материалов, готов предоставить необходимый инвентарь для этого, и тем самым поспособствовать становлению преемственной связи между поколениями специалистов», – подчеркнула директор ТОО «ЭСАБ Казахстан», руководитель ЭСАБ Центральная Азия Екатерина Татаринова.

Несмотря на опыт и мастерство участников, не обошлось и без трудностей. В ходе соревнований конкурсанты столкнулись с рядом технических и организационных вызовов: потребовались быстрая адаптация к высокотехнологичному оборудованию, необходимость точного следования стандартам WorldSkills, соблюдение временных ограничений. Справиться с эмоциями и «приручить» металл помогла выдержка, а также поддержка болельщиков.

Жюри отметило высокий уровень мастерства казахстанских мастеров. Конкуренция была настолько острой, что система оценки выявила сразу трех победителей с разницей в сотые доли балла. Первое место разделили Родион Царегородцев, Сергей Герасименко и Гани Кәдір.

«Ценно, что один из победителей соревнований – Гани Кәдір – преподаватель нашего колледжа. Его достижения – пример и мотивация для коллег и студентов развивать навыки, участвовать в международных образовательных проектах, стажировках и обменных программах. Кроме этого, такая практика значима и для разработки образовательных программ нашего колледжа. В планах – пересмотр учебных программ, внедрение современных технологий и оборудования, проведение внутренних мини-чемпионатов по сварке по стандартам WorldSkills. В результате выпускники будут лучше подготовлены к требованиям международного рынка труда», – поделилась Эльвира Бактыбаева, заместитель директора по учебно-производственной работе Алматинского строительно-технического колледжа.



Среди иностранных участников отличились Лхагвацамж Ууганчимэг (Монголия), Улугбек Тошболтаев (Узбекистан) и Рахмонали Одинаев (Таджикистан). Конкурсанты показали глубокие знания современных технологий сварки и уверенность в работе с оборудованием.

Помимо основных призовых мест, некоторые участники получили награды в дополнительных номинациях чемпионата. Так, «Лучшим мастером в полуавтоматической сварке» стал Дінмұхаммед Жарылқасын. В номинации «Опытный мастер в области ручной дуговой сварки» отличился Баба Жақып. А Жамила Карабасова получила награду как «Высококласный мастер сварочных работ».

По словам **Эльвиры Бактыбаевой**, опыт участия в подобных соревнованиях необходим для развития образования в стране и профессиональной подготовки конкурентноспособных специалистов:

«Преподаватели проводят мастер-классы, учатся работать с современным оборудованием, студенты получают возможность решать реальные производственные задачи и тренироваться в условиях, максимально приближенных к реальным. Все это не только усиливает мотивацию и качество обучения, но и повышает престиж колледжа: к нам обращаются новые работодатели и партнеры, а значит, открываются дополнительные возможности для развития материальной базы и профессионального роста».

В числе активных регионов по числу вакансий в Казахстане – Астана, Алматы, Туркестанская, Павлодарская и Карагандинская области. Отрасли с высоким спросом на специалистов – промышленность, строительство и энергетика.

По итогам соревнований победителей наградили ценными призами, а все участники конкурса получили памятные подарки от организаторов.





АО «ЭКГСервис»
454091, г. Челябинск,
ул. Карла Маркса, 131,
этаж 4
+ 7 (351) 246-60-60
info@ekg-servis.ru
www.ekg-servis.ru
@ekgservis



САЙТ, ПРЕЗЕНТАЦИЯ,
ПРЯМЫЕ КОНТАКТЫ

АО «ЭКГСЕРВИС» – ИНЖИНИРИНГОВАЯ И ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ. 20 ЛЕТ НА РЫНКЕ: НОВЫЕ РЕШЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Основными потребителями продукции компании АО «ЭКГСервис» являются крупные горнодобывающие предприятия Российской Федерации и стран СНГ, ведущие разработку месторождений твердых полезных ископаемых – угля, железной руды, меди, золота, бокситов, апатита, асбеста и т. д.

АО «ЭКГСЕРВИС» – первая и единственная компания в России, которая разработала и изготовила модернизированную стрелу шагающего экскаватора ЭШ 10/70.

За 20 лет работы компании на горнодобывающие предприятия России и стран СНГ поставлено порядка 1500 позиций оборудования, комплектующих и запасных частей, металлоконструкций к горной технике и оборудованию не только отечественного, но и зарубежного производства.

Основными достижениями и перспективами развития компании с нашей редакцией поделились ее ключевые сотрудники.

– *Виктор Олегович, знаем, что успешная реализация решений по разработке, изготовлению и поставке стрелы ЭШ 10/70 стало одним из ключевых событий для ЭКГСервис и отличной возможностью для горнодобывающих предприятий закрыть потребность в замене главного элемента рабочего оборудования шага-*



Лапин Виктор Олегович,
коммерческий директор АО «ЭКГСервис»

ющих экскаваторов. Расскажите, пожалуйста, какие новые задачи ставит перед собой компания ЭКГСервис в реализации подобных проектов?

– В свете событий последних трех лет на рынке производства комплектующих и запасных частей дефицит в качестве изготавливаемой продукции ощущается особенно остро. Отдельным важным запросом горнодобывающих предприятий (ГДП) является содействие в повышении уровня эффективности и безопасности эксплуатации и ремонта горной техники и оборудования.

Реализация Проекта по стреле ЭШ 10/70 действительно одно из успешных решений и, поскольку, ситуация с заводами-изготовителями шагающих экскаваторов, в частности, НКМЗ, Донецк-Гормаш, остается прежней, а существующая у горнодобывающей промышленности потребность в эксплуатации экскаваторов большой единичной мощности таких популярных марок как ЭШ-10/70, ЭШ-13/50 и ЭШ-14/50 (НКМЗ) и т. д. – остается актуальной. В этом случае, ключевой задачей для нас является обеспечение предприятий-заказчиков качественной и надежной продукцией, в частности, стрел на перечисленные марки экскаваторов-драглайнов, а также запасных частей и комплектующих к карьерным гусеничным экскаваторам различных модификаций: ЭКГ-12, ЭКГ-15, ЭКГ-18 ЭКГ-20. Вместе с тем, недавно компания «ЭКГСервис» стала официальным дилером АО «Силовые машины», расширился спектр возможностей, которые позволят отвечать требованиям заказчика, связанных с поставкой электротехнического оборудования для горной техники.

Основная цель нашего предприятия – это удовлетворение потребностей Заказчика, основу которой составляют задачи повышения качества изготавливаемой продукции, соблюдение сроков поставки, обеспечение авторского сопровождения и соответствующей гарантий.

– *В перспективе подобный Проект и новые решения?*

– На основе опыта разработки, изготовления и результатах, полученных в ходе эксплуатации стрелы на ЭШ 10/70, наша компания закончила производство и готовит к отгрузке стрелу для экскаватора ЭШ 13/50 для одного из ГДП. Модернизированная стрела сконструирована и изгото-



Кожевников Юрий Андреевич,
руководитель направления производственного литья
АО «ЭКГСервис», к.т.н.

товлена с учетом требований к условиям безопасности обслуживающего персонала, к условиям и режимам эксплуатации шагающих экскаваторов на предприятии-заказчике.

– **Юрий Андреевич, что на Ваш взгляд, необходимо учитывать в производственном процессе литья, чтобы избежать дефектов и обеспечить высокое качество изготавливаемых деталей?**

– В машиностроении технологический процесс производственного литья очень важный этап, который в результате является одним из определяющих качество и надежность изготавливаемой продукции. Разные процессы производства требуют применения стали с определенными характеристиками, например, для литья, штамповки или сварки. Особо тщательно осуществляем подход к разработке технологического процесса с применением нестандартных способов для получения отливки.

Подбор марки стали – задача, которой мы уделяем особое внимание, так как от правильного ее решения зависит прочность, долговечность и другие характеристики готового изделия. Опыт в решении задач подобного рода позволяет нам не только применять оригинальные марки стали, заложенные разработчиком, но и находить применение уже хорошо зарекомендовавшим себя в мировой практике сплавам.

На всех этапах мы осуществляем функцию контроля производственного процесса, технологического процесса, качества производимых отливок и их физико-механических свойств, особенно при отрицательных температурах, так как значительная часть нашей продукции эксплуатируется при низких температурных режимах крайнего севера и Сибири.

– **Ильдар Маратович, какие подходы применяются в Вашей компании для изготовления изделий с надлежащим качеством и в требуемые заказчиком сроки? Расскажите, пожалуйста, о некоторых из них.**

– Один из важных этапов, с которого мы начинаем производство нашей продукции – этап исследования и изучения опыта эксплуатации горной техники и оборудования

на предприятиях. Выявленные недочеты и слабые места в конструкциях, неудобства при эксплуатации и ремонтном обслуживании специалистами нашего конструкторского отдела детально изучаются, что в последующем становится отправной точкой в реализации не простого процесса моделирования, конструирования, расчетов сопряжений элементов, их прочностных характеристик и показателей надежности.



Шангареев Ильдар Маратович,
технический директор АО «ЭКГСервис»

Еще один значимый этап в производстве продукции – это реинжиниринг, проектирование, комплекс мероприятий, направленный на воспроизведение максимально точной копии изделия или детали с последующей доработкой, модернизацией этого изделия, посредством 3D моделирования, выполнения расчетов с учетом пожеланий заказчика.

Процесс конструирования, моделирования и производства нашей продукции ведется не только с позиции совершенствования «самого конструктива», но и с учетом обеспечения удобства для персонала, как при эксплуатации горной техники, так и при ее ремонтном обслуживании.

Разработанные решения по модернизации изготавливаемых нами изделий при их надлежащей эксплуатации позволяют значительно повысить срок службы узлов и механизмов, продлить ресурс основных металлоконструкций и, что немаловажно, обеспечить безопасность процессов ремонта горных машин.

Технологический процесс сборки, обкатки и испытаний осуществляется на нашей производственной площадке, что позволяет своевременно корректировать процесс и контролировать качество на каждом этапе производства изделий (рис. 2–3).



Рис. 1. Процесс изготовления изделий.



Рис. 2. Контроль сборки металлоконструкции стрелы шагающего экскаватора ЭШ 13/50.



Рис. 3. Процесс обкатки самобалансного грохота.

– *Поделитесь, пожалуйста, некоторыми примерами решений, которые разработаны и реализованы компанией АО «ЭКГСервис» в текущем периоде времени?*

– Специалистами компании на основе освоенных подходов были проведены следующие работы:

- усовершенствованы конструкции гусеничных рам экскаватора ЭКГ-10, работающего на Михайловском ГОКе, с целью повышения прочностных и эксплуатационных характеристик;
- переработана конструкция ковша шагающего экскаватора ЭШ 40/85, работающего на разрезе Тугнуйский (СУЭК).

В конструкции применены элементы, позволяющие увеличить показатели износостойкости: заменены щеки из листового проката на литые элементы из высокопрочной износостойкой стали. Изменения конструкции основаны на результатах выполненных расчетов на прочность с учетом максимальной нагрузки элементов ковша, применении 3D моделирования, что позволяет гарантировать безотказную эксплуатацию рабочего оборудования при соответствующих режимах и условиях работы экскаватора.

Применяемые специалистами нашей компании современные инженерные разработки позволяют не просто изготавливать и восстанавливать элементы горных машин, но и значительно улучшать их прочностные характеристики, тем самым повысить уровень надежности, увеличить их ресурс и сократить затраты на обслуживание.

– *Павел Владимирович, поделитесь, какие возможности находит компания «ЭКГСервис» для решения сложных, нестандартных задач?*



Давыдов Павел Владимирович,
директор по кооперации и развитию АО «ЭКГСервис»

– Решение любой нестандартной задачи во многом зависит от эффективного взаимодействия специалистов нашего предприятия не только с представителями заказчика, представителями высшей горной школы, экспертных организаций и научно-исследовательских институтов.

Так, например, основным из этапов работы над проектом модернизации стрелы шагающего экскаватора ЭШ 10/70 стало плодотворное сотрудничество с учеными кафедры «Горные машины и комплексы» Уральского государственного горного университета, что в свою очередь, позволило произвести комплексные исследования и получить результаты точных расчетов, необходимых изменений в конструкции стрелы.

Еще одним немаловажным процессом на этапе передачи продукции заказчику являются приемо-сдаточные испытания с осуществлением контроля сборки (подборки) и комплектности изделия. В таких мероприятиях на производственной площадке нашей компании находятся представители высшей горной школы и экспертных организаций, что позволяет представителям заказчика проработать любой интересующий вопрос по принимаемому изделию.

Результат приемо-сдаточных испытаний – подтверждение, что изделие изготовлено в соответствии со всеми требованиями предприятия заказчика с оформлением соответствующих документов.



Рис. 4. Контроль сборки и комплектности стрелы экскаватора ЭШ 10/70.

– В каком направлении Вы видите развитие Вашей компании в ближайшее время?

– Не так давно, в компании АО «ЭКГСервис» было принято решение о расширении собственного производства и ввода в эксплуатацию нового цеха (рис. 5).



Рис. 5. Производственная площадка АО «ЭКГСервис».

Расширение производственных мощностей позволяет нашей компании увеличивать объемы выпускаемой продукции и внедрять новые технологии в процессе изготовления и сборки изделий.

В настоящее время у специалистов нашей компании есть необходимый потенциал: достаточный опыт, производственные мощности, техническая база, собственный конструкторский отдел с наличием программ 3D моделирования, библиотека успешно реализованных конструкторских, технических решений на предприятиях, возможность взаимодействия с научно-исследовательскими институтами. Реализуя Проекты по изготовлению и поставке оборудования, комплектующих и запасных частей на горнодобывающие предприятия, используя существующие возможности, есть все шансы, чтобы этот потенциал раскрыть.

Стратегия развития компании АО «ЭКГСервис» разработана до 2030 года. Она основана на развитии технико-технологической базы, на применении последних достижений науки, техники и технологий. Политика предприятия нацелена на достижение стратегических целей и удовлетворение потребностей Заказчика, основу которой составляют задачи повышения качества изготавливаемой продукции, соблюдение сроков поставки, обеспечение авторского сопровождения и соответствующей гарантией.

В завершении хочется отметить, что двери нашего предприятия открыты для гостей – посетить завод можно в любой день по предварительному согласованию.

АО «ЭКГСервис» основано в Челябинске в 2005 году. Основная специализация компании – производство оборудования, комплектующих, запасных частей и металлоконструкций для карьерных экскаваторов различных модификаций (ЭКГ, ЭШ, ЭР и др.), буровых станков, тракторной и бульдозерной техники, в том числе импортной, а также монтаже, наладке и ремонте горной техники и оборудования.

Материал подготовлен нашей редакцией при участии директора по кооперации и развитию АО «ЭКГСервис» – П.В. Давыдова

Код МРНТИ 52.01.77:28.29.53

Б. Хусан, *Ж.Б. Нығыметов, А.Ю. Кишенкова, С.Т. Асаинов

НАО Карагандинский технический университет им. Абылхаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан)

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ГОРНЫХ РАБОТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ЦИФРОВИЗАЦИИ

Аннотация. В статье рассматриваются перспективы повышения эффективности горных работ на месторождении Ашиктас за счет внедрения автоматизированной системы управления (АСУ). Основное внимание уделено цифровизации процессов управления горнотранспортным комплексом, планирования технического обслуживания, буровзрывных работ и координации производственных потоков. Рассматриваются ключевые проблемы традиционных подходов – от фрагментарности данных до неэффективного распределения ресурсов и предлагаются пути их решения с помощью цифровых технологий. Ожидаемый эффект от внедрения АСУ включает рост объемов добычи, снижение потерь и разубоживания, повышение точности экскавации и улучшение взаимодействия между подразделениями. Сделан вывод о высокой эффективности и целесообразности поэтапного внедрения системы управления как ключевого элемента технологической и экономической модернизации предприятия.

Ключевые слова: автоматизированная система управления (АСУ), цифровизация, горнотранспортный комплекс, буровзрывные работы, оптимизация ресурсов, производственная эффективность.

Цифрландыру әдістерін қолдана отырып кен істерінің процесстерін оңтайландыру

Аңдатпа. Мақалада автоматтандырылған басқару жүйесін (АБЖ) енгізу арқылы Ашықтас кен орнында тау-кен жұмыстарының тиімділігін арттыру перспективалары қарастырылады. Тау-кен көлік кешенін басқару процесстерін цифрландыруға, техникалық қызмет көрсетуді жоспарлауға, бұрғылау-жару жұмыстарына және өндірістік ағындарды үйлестіруге басты назар аударылады. Дәстүрлі тәсілдердің негізгі мәселелері – деректердің бөлшектенуінен ресурстарды тиімсіз бөлуге дейін қарастырылады және оларды цифрлық технологиялармен шешу жолдары ұсынылады. АБЖ енгізудің күтілетін әсері өндіріс көлемінің өсуін, шығындар мен деградацияны азайтуды, экскавацияның дәлдігін арттыруды және бөлімшелер арасындағы өзара әрекеттесуді жақсартуды қамтиды. Кәсіпорынның технологиялық және экономикалық модернизациясының негізгі элементі ретінде басқару жүйесін кезең-кезеңімен енгізудің жоғары тиімділігі мен орындылығы туралы қорытынды жасалды.

Түйінді сөздер: автоматтандырылған басқару жүйесі (АБЖ), цифрландыру, тау-кен көлігі кешені, бұрғылау-жару жұмыстары, ресурстарды оңтайландыру, өндірістік тиімділік.

Optimization of mining processes using digitalization methods

Abstract. The article discusses prospects for increasing efficiency of mining operations at Ashiktas deposit through implementation of automated control system (ACS). Main attention is paid to digitalization of processes of managing mining and transport complex, planning maintenance, drilling and blasting operations and coordinating production flows. Key problems of traditional approaches are considered – from data fragmentation to inefficient resource allocation and ways to solve them using digital technologies are proposed. Expected effect of ACS implementation includes increase in production volumes, decrease in losses and dilution, increase in excavation accuracy and improved interaction between departments. Conclusion is made about high efficiency and feasibility of phased implementation of control system as a key element of technological and economic modernization of enterprise.

Key words: automated control system (ACS), digitalization, mining and transport complex, drilling and blasting operations, resource optimization, production efficiency.

Введение

Современная горнодобывающая отрасль находится на этапе активной трансформации под влиянием цифровых технологий. Постоянно возрастающие требования к эффективности, безопасности и устойчивости производства, а также необходимость сокращения потерь и оптимизации издержек вынуждают предприятия искать инновационные подходы к управлению производственными процессами. Одним из ключевых направлений такой трансформации становится внедрение автоматизированных систем управления (АСУ), способных обеспечить интеграцию всех этапов добычи, транспортировки и переработки полезных ископаемых в единую цифровую среду [1, 2].

Особую актуальность эти процессы приобретают на предприятиях, ведущих работы в условиях сложного геологического строения, удаленности от инфраструктуры и ограниченности ресурсов. Месторождение Ашиктас является ярким примером объекта, где традиционные методы управления не позволяют в полной мере реализовать производственный потенциал. Отсутствие централизованного мониторинга, низкая оперативность обмена информацией между подразделениями и высокая зависимость от человеческого фактора снижают эффективность и увеличивают риски в технологической цепочке.

Настоящая статья посвящена анализу возможностей повышения производственной и экономической эффективности предприятия путем внедрения АСУ. Рассматриваются основные направления цифровизации, включая управление

горнотранспортным комплексом, планирование технического обслуживания, организация буровзрывных работ и координация производственных потоков. Особое внимание уделено функциональности системы REACS DrillManager и ее роли в повышении точности и надежности буровых операций. Также в статье обоснована необходимость интеграции геологических, маркшейдерских и инженерных данных для создания единого информационного пространства, позволяющего принимать обоснованные управленческие решения в режиме реального времени. Основное внимание уделяется потенциальным возможностям оптимизации горных работ за счет цифровизации, включая управление горнотранспортным комплексом (ГТК), планирование технического обслуживания и ремонтов, а также координацию производственных потоков.

Методы исследования

АСУ позволит интегрировать данные с различных источников в единую информационную систему [3, 4], что обеспечит получение полной картины происходящих процессов на каждом этапе добычи и переработки. Система будет осуществлять постоянный мониторинг всех элементов производственного процесса и обрабатывать поступающие данные, что позволит оперативно выявлять отклонения от заданных норм и прогнозировать возможные неисправности или аварийные ситуации до их возникновения, тем самым значительно снижая риск сбоев в работе оборудования.

В целом, внедрение системы позволит улучшить точность оценки запасов, минимизировать потери и обеспечить точное выполнение проектных контуров в условиях сложного рельефа и неоднородного залегания золотоносных тел.

Планово-инженерный отдел (ПИО) предприятия выполняет функции разработки производственных планов, графиков работы техники, а также проектирования и анализа технологических процессов, включая буровзрывные работы. Отдел также координирует техническое обеспечение производства и участвует в анализе производственной эффективности.

ПИО также будет координировать работу с другими отделами, получая данные от геологов и маркшейдеров, формируя технологические карты, планы по выемке, объемам взрывчатых веществ и логистике вывозки. Интеграция всех этапов в АСУ позволит значительно ускорить согласования, снизить вероятность ошибок и повысить качество проектных решений.

Система REACS DrillManager (рис. 1) предоставляет специалистам планово-технического отдела возможность заранее задавать проектные параметры бурения скважин для буровзрывных работ [5]. Эти параметры в режиме реального времени отображаются на рабочем интерфейсе оператора буровой установки, включая текущую глубину бурения, азимут и угол наклона скважины. Благодаря этому оператор имеет возможность своевременно выявлять отклонения от проектных значений и корректировать процесс бурения без необходимости внешнего контроля, что способствует повышению точности выполнения работ и снижению риска технологических ошибок.

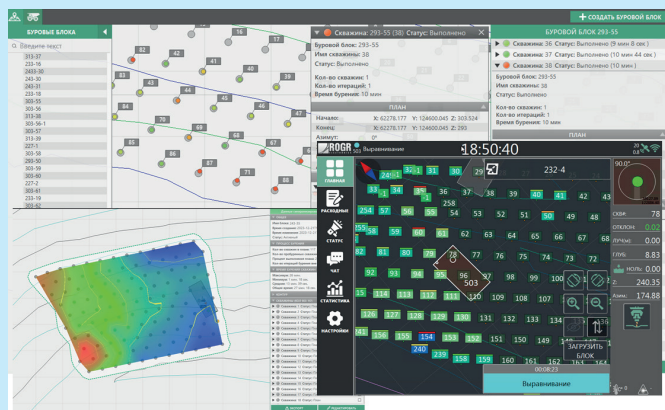


Рис. 1. Модуль управления буровыми работами REACS DrillManager.

Сурет 1. REACS DrillManager бұрғылауды басқару модулі.

Figure 1. REACS DrillManager drilling management module.

Основные этапы работы системы сбора и анализа данных будут включать:

- *Мониторинг в реальном времени.* Все данные, поступающие от сенсоров и датчиков, будут обрабатываться системой в режиме реального времени, что обеспечит оперативное отслеживание ключевых параметров, таких как скорость работы горных машин, эффективность процесса

добычи и переработки, состояние производственного оборудования и данные о безопасности.

- *Прогнозирование неисправностей.* Система будет анализировать текущие данные, выявлять аномалии и отклонения, что позволит предсказывать возможные неисправности. Например, она может сигнализировать о необходимости проведения ремонта в случае повышения вибрации или необычных температурных показателей, предотвращая дорогостоящие простои.

- *Управление процессами в режиме реального времени.* АСУ будет поддерживать оперативное принятие решений на основе поступающих данных, что позволит более точно планировать работы, оптимизировать маршруты движения горных машин, повысить эффективность использования ресурсов и снизить излишние затраты.

- *Интерфейс для контроля и регулирования.* Работая с системой, специалисты смогут не только наблюдать за текущими процессами, но и оперативно вносить корректировки в работу предприятия в реальном времени, если это необходимо, для повышения общей производительности и устранения возникающих проблем.

Таким образом, системы сбора и анализа данных в реальном времени не только повысят эффективность работы на месторождении Ашиктас, но и помогут создать условия для более высокой гибкости и адаптивности предприятия, что особенно важно в условиях современных вызовов и неопределенности в горнодобывающей отрасли [6, 7, 8].

Внедрение автоматизированной системы управления на месторождении Ашиктас может стать важным шагом в повышении эффективности и безопасности производственного процесса. Переход от традиционных методов управления к цифровым технологиям позволит модернизировать работу предприятия и решить ряд проблем, которые сдерживают его производительность и экономическую эффективность.

Проблемы, которые могут быть решены с помощью АСУ:

- *Отсутствие централизованного контроля над технической готовностью техники.* Без единой системы мониторинга состояния оборудования эффективность реагирования на поломки снижается. Отсутствие централизованного контроля часто приводит к длительным простоям техники и увеличению производственных затрат. Внедрение АСУ позволит создать систему мониторинга в реальном времени, что даст возможность оперативно реагировать на изменения в работе оборудования и прогнозировать возможные неисправности.

- *Неэффективное распределение ресурсов.* Отсутствие автоматизации в распределении рабочей техники может привести к нерациональному использованию ресурсов, например, к концентрации техники в одном месте, в то время как другие участки остаются без должного обеспечения. АСУ будет обеспечивать оптимальное распределение техники, что повысит эффективность выполнения операций и снизит время на выполнение задач.

- *Нерегулярное или неэффективное техническое обслуживание.* Без постоянного мониторинга состояния оборудования поломки часто происходят неожиданно, а их последствия оказываются более затратными, чем если бы

поломки были предотвращены заранее [9]. Система АСУ позволит заранее планировать техническое обслуживание и замену компонентов оборудования, минимизируя количество внезапных поломок и снижая затраты на экстренные ремонты.

- *Отсутствие сквозного мониторинга производственного процесса в реальном времени.* В старых системах управления информация о состоянии оборудования и процессов поступала с задержками, что затрудняло оперативное принятие решений. Система АСУ обеспечит реальный мониторинг всех процессов, что позволит оперативно реагировать на любые отклонения и повысит точность планирования [10].

- *Задержки в передаче геологических и маркшейдерских данных.* Отсутствие автоматической передачи геологических и маркшейдерских данных может приводить к задержкам в корректировке плана разработки месторождения. Внедрение АСУ устранил эти задержки, обеспечив автоматическую передачу данных в систему [9], что ускорит процесс принятия решений и повысит точность планирования.

Результаты

Ожидаемые результаты внедрения АСУ:

- *Централизованный контроль над техническим состоянием оборудования.* С помощью системы мониторинга в реальном времени все единицы техники будут снабжены датчиками, отслеживающими ключевые параметры работы. Это обеспечит оперативное выявление изменений в состоянии оборудования и прогнозирование неисправностей, что снизит количество аварийных остановок и улучшит эксплуатационную готовность техники.

- *Оптимизация распределения ресурсов.* АСУ обеспечит более точное распределение рабочей техники по участкам, что позволит исключить переполнение отдельных участков техники или ее недостаток в других местах, повысив тем самым общую производительность и сокращая время на выполнение операций.

- *Регулярное и своевременное техническое обслуживание.* Система будет отслеживать техническое состояние всех единиц техники и прогнозировать возможные неисправности, что позволит заранее планировать техобслуживание и замену компонентов. Это снизит количество внезапных поломок и улучшит планирование технического обслуживания.

- *Реальный мониторинг и управление процессами в реальном времени [10].* АСУ обеспечит сквозной мониторинг всех технологических процессов в реальном времени, что даст возможность оперативно реагировать на любые отклонения от нормы, снизив вероятность ошибок при принятии решений.

- *Интеграция геологических и маркшейдерских данных.* Система будет автоматически интегрировать геологические и маркшейдерские данные, что ускорит процесс принятия решений и позволит оперативно корректировать план разработки месторождения.

Внедрение автоматизированной системы управления на месторождении Ашиктас позволит существенно повысить эффективность ключевых процессов, связанных с добы-

чей полезных ископаемых, решив ряд проблем, характерных для традиционных методов управления [11]. Повышение производительности труда, снижение операционных затрат, улучшение безопасности и повышение экономической эффективности работы предприятия – это те результаты, которые может обеспечить внедрение АСУ.

Ожидаемый эффект от внедрения АСУ

На основе вышеуказанных изменений прогнозируются следующие результаты:

- *Рост общего объема добычи – ожидается увеличение до 6,1%, обусловленное сокращением простоев оборудования и оптимизацией производственных процессов.*

- *Увеличение извлечения полезной руды – прирост прогнозируется на уровне 10,1%, за счет повышения точности работ и снижения разубоживания.*

- *Снижение абсолютного объема разубоживания – на 23,4%, что обеспечит более высокую концентрацию полезного компонента в извлеченном материале.*

- *Снижение потерь – на 10,6% за счет исключения ошибок в позиционировании техники, а также благодаря возможностям системы своевременно предупреждать о неисправностях оборудования.*

- *Общее снижение удельных потерь и разубоживания – соответственно на 0,2% и 1,1%, что непосредственно влияет на экономическую рентабельность предприятия.*

Заключение

Представленный анализ демонстрирует значительный потенциал внедрения автоматизированной системы управления на предприятии. Улучшение производственных показателей, в том числе КИО и КТГ, а также снижение потерь и разубоживания, свидетельствуют о высокой вероятности повышения эффективности эксплуатации горной техники и рационального использования минерального сырья.

Внедрение АСУ представляется целесообразным с точки зрения как технологической модернизации предприятия, так и оптимизации его экономических показателей. Учитывая представленные данные, рекомендуется рассмотреть реализацию пилотного проекта с последующим поэтапным внедрением системы в полном объеме.

Особенно важным является улучшение рудоконтроля и точности выполнения проектных планов. Интеграция данных геологов, маркшейдеров и планово-технического отдела через систему АСУ позволит повысить точность экскавации и уменьшить ошибки в позиционировании техники. Это, в свою очередь, приведет к сокращению потерь полезных ископаемых и разубоживания, что отразится на улучшении качества извлеченного материала и его концентрации.

АСУ также будет способствовать оптимизации взаимодействия между различными подразделениями предприятия. Диспетчеры смогут эффективно распределять технику, оперативно отслеживая состояние и производственные показатели в реальном времени. ПТО получит инструменты для автоматизированного проектирования буровзрывных работ с учетом геологических данных и параметров местности, что повысит точность планирования и улуч-

шит производственные показатели. Маркшейдеры смогут с помощью системы оперативно контролировать соответствие проектных параметров фактическим данным, минимизируя необходимость их постоянного присутствия на забоях экскаваторов.

Особую роль в процессе внедрения сыграет интеграция геологических данных в реальном времени, что позволит геологам оперативно корректировать планы разработки месторождения и точнее управлять выемкой руды. Геологи и маркшейдеры смогут в режиме реального времени передавать актуальную информацию, что значительно снизит вероятность ошибок и ускорит принятие решений.

Кроме того, автоматизация и мониторинг в реальном времени значительно улучшат техническое обслуживание оборудования. Прогнозирование возможных неисправностей на основе анализа текущих данных позволит своев-

ременно планировать техническое обслуживание, предотвращая дорогостоящие поломки и простои.

В результате, внедрение АСУ на месторождении Ашиктас позволит предприятию не только повысить свою операционную эффективность и уменьшить затраты, но и обеспечить более высокую гибкость и адаптивность в условиях быстро меняющихся рыночных условий. Система обеспечит более точное планирование, сокращение потерь и разубоживания, а также даст возможность оперативно реагировать на отклонения от намеченных параметров.

Таким образом, переход к цифровым технологиям и автоматизации является не только технологически оправданным шагом, но и важной стратегической инициативой, направленной на повышение конкурентоспособности, устойчивости и прибыльности предприятия в долгосрочной перспективе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бочкарев А.В., Сорокин В.М. Цифровизация в горной промышленности: тренды и перспективы // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. № 8. С. 35–41 (на русском языке)
2. Вэй Ли, Цзайбинь Лю, Тао Фань, Лю Вэньмин, Сяохуэй Ван, Цзюньшэн Янь, Хуахуэй Ван (6 февраля 2025 г.). Развитие и перспективы технологии строительства прозрачного забоя для интеллектуальной добычи угля. Недавние патенты в области техники. <https://eurekaselect.com/public/article/146423> (на английском языке)
3. Гаврилов А.И., Козлов А.И. Автоматизация технологических процессов на горных предприятиях: СПб.: Недра, 2019. 284 с. (на русском языке)
4. Третьяков А.Н., Иванова Н.В. Применение информационных систем в горном деле // Горное оборудование и электрификация. 2022. № 4. С. 22–27 (на русском языке)
5. Оценка качества проведения буровзрывных работ на ограниченном контуре карьера / Хусан Б. [и др.] // Научный вестник Национального городского университета. 2021. № 6. С. 42–48 (на английском языке)
6. Дьяконов К.Ю. Прогнозирование отказов горного оборудования на основе анализа сенсорных данных // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2021. № 5. С. 45–50 (на русском языке)
7. Хромов А.С., Климов Ю.В. Эффективное управление техническим обслуживанием на горных предприятиях // Горное дело. 2021. № 6. С. 30–36 (на русском языке)
8. Богатов И.П. Интеграция данных геологических и маркшейдерских служб в условиях цифрового рудника // Вестник горного института. 2020. Т. 243. С. 112–118 (на русском языке)
9. Алексеев П.Н., Макаров И.В. Предиктивное обслуживание и дистанционная диагностика горношахтного оборудования // Горная наука и технологии. 2021. Т. 31 (2). С. 142–148 (на английском языке)
10. Чжан Л., Чэнь И. (20 июля 2020 г.). Интеллектуальные технологии добычи для устойчивой добычи ресурсов. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620312476> (на английском языке)
11. Клейн Б., Альтун Н.Э., Бамбер А.С. Новая эра открытой добычи полезных ископаемых: интеграция горнодобывающих предприятий и передовые технологии: CRC Press, 2014. 28 с. (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Бочкарев А.В., Сорокин В.М. Тау-кен өнеркәсібіндегі цифрландыру: тенденциялар мен перспективалар // Тау-кен саласындағы ақпараттық-аналитикалық бюллетень. 2021. № 8. Б. 35–41 (орыс тілінде)
2. Вэй Ли, Цзайбинь Лю, Тао Фань, Лю Вэньмин, Сяохуэй Ван, Цзюньшэн Янь, Хуахуэй Ван (2025 жылғы 6 ақпан). Интеллектуалды көмір өндіруге арналған транспарентті бет құрылысы технологиясының дамуы мен болашағы. Технология саласындағы соңғы патенттер. <https://eurekaselect.com/public/article/146423> (ағылшын тілінде)

3. Гаврилов А.И., Козлов А.И. Тау-кен кәсіпорындарындағы технологиялық процестерді автоматтандыру: СПб.: Недра, 2019. 284 б. (орыс тілінде)
4. Третьяков А.Н., Иванова Н.В. Тау-кен өндірісінде ақпараттық жүйелерді қолдану // Тау-кен техникасы және электрлендіру. 2022. № 4. Б. 22–27 (орыс тілінде)
5. Карьер шекарасының контуры бойынша бұрғылау және жару жұмыстарының сапасын бағалау / Хусан Б. [және т. б.] // Ұлттық қалалық университетінің ғылыми хабаршысы. 2021. № 6. Б. 42–48 (ағылшын тілінде)
6. Дьяконов К.Ю. Сенсорлық деректерді талдау негізінде тау-кен жабдықтарының ақауларын болжау // Жобалау және өндірістегі ақпараттық технологиялар. 2021. № 5. Б. 45–50 (орыс тілінде)
7. Хромов А.С., Климов Ю.В. Тау-кен кәсіпорындарындағы техникалық қызмет көрсетуді тиімді басқару // Тау-кен ісі. 2021. № 6. Б. 30–36 (орыс тілінде)
8. Богатов И.П. Геологиялық және маркшейдерлік қызмет деректерін цифрлық кеніште біріктіру // Тау-кен институтының хабаршысы. 2020. Т. 243. Б. 112–118 (орыс тілінде)
9. Алексеев П.Н., Макаров И.В. Тау-кен жабдықтарына болжамды қызмет көрсету және қашықтан диагностикалау // Тау-кен ғылымы және технологиясы. 2021. Т. 31 (2). Б. 142–148 (ағылшын тілінде)
10. Чжан Л., Чен Ю. (20 шілде, 2020 жыл). Ресурстарды тұрақты өндіруге арналған интеллектуалды тау-кен технологиялары <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620312476> (ағылшын тілінде)
11. Клейн Б., Алтун Н.Е., Бамбер А.С. Жер үсті тау-кен өндірісінің жаңа дәуірі: шахталық интеграция және озық технологиялар: CRC Press, 2014. 28 б. (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Bochkarev A.V., Sorokin V.M. Cifrovizacija v gornoj promyshlennosti: trendy i perspektivy [Digitalization in the Mining Industry: Trends and Prospects], Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' [Mining Information and Analytical Bulletin]. 2021. No. 8. 35–41 pp. (in Russian)
2. Wei Li, Zaibin Liu, Tao Fan, Liu Wenming, Xiaohui Wang, Junsheng Yan, Huahui Wang (February 6, 2025). Development and Prospects of Transparent Working Face Construction Technology for Intelligent Coal Mining. Recent Patents on Engineering. <https://eurekaselect.com/public/article/146423> (in English)
3. Gavrilov A.I., Kozlov A.I. Avtomatizacija tehnologicheskikh processov na gornyh predpriyatijah [Automation of technological processes at mining enterprises], St. Petersburg: Nedra, 2019. 284 p. (in Russian)
4. Tretyakov A.N., Ivanova N.V. Primenenie informacionnyh sistem v gornom dele [Application of information systems in mining], Gornoe oborudovanie i jelektrifikacija [Mining equipment and electrification]. 2022. No. 4. 22–27 pp. (in Russian)
5. Assessing the quality of drilling-and-blasting operations at the open pit limiting contour / Hussan B. [et al.] // Scientific Bulletin of the National City University. No. 6. 42–48 pp. (in English)
6. Dyakonov K.Yu. Prognozirovanie otkazov gornogo oborudovanija na osnove analiza sensoryh dannyh [Forecasting Mining Equipment Failures Based on Sensor Data Analysis], Informacionnye tehnologii v proektirovanii i proizvodstve [Information Technologies in Design and Production]. 2021. No. 5. 45–50 pp. (in Russian)
7. Khromov A.S., Klimov Yu.V. Jeffektivnoe upravlenie tehničeskim obsluzhivaniem na gornyh predpriyatijah [Effective Maintenance Management at Mining Enterprises], Gornoe delo [Mining]. 2021. No. 6. 30–36 pp. (in Russian)
8. Bogatov I.P. Integracija dannyh geologicheskikh i markshejderskikh sluzhb v uslovijah cifrovogo rudnika [Integration of Geological and Surveying Services Data in a Digital Mine], Vestnik gornogo instituta [Bulletin of the Mining Institute]. 2020. V. 243. 112–118 pp. (in Russian)
9. Alekseev P.N., Makarov I.V. Predictive maintenance and remote diagnostics of mining equipment // Mining Science and Technology. 2021. V. 31 (2). 142–148 pp. (in English)
10. Zhang L., Chen Y. (July 20, 2020). Smart mining technologies for sustainable resource extraction. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620312476> (in English)
11. Klein B., Altun N.E., Bamber A.S. A New Era in Open Pit Mining: Mine-Mill Integration and Enabling Technologies: CRC Press, 2014. 28 p. (in English)

Сведения об авторах:

Хусан Б., ст. преподаватель кафедры РМПИ, Ph.D, НАО Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), husanb@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0996-348X>

Ныгыметов Ж.Б., магистрант 2-го курса кафедры РМПИ, НАО Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), nygymetovzh@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0007-0356-7423>

Кишенова А.Ю., ст. преподаватель кафедры русского языка и культуры, НАО Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), ai.kishenova@ktu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-1494-6388>

Асаинов С.Т., к.т.н., ст. преподаватель кафедры РМПИ, НАО Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан), 2008_as@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5841-0454>

Авторлар туралы мәліметтер:

Хусан Б., ПҚКӨ кафедрасының аға оқытушысы, Ph.D, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті КЕАҚ (Қарағанды қ., Қазақстан)

Ныгыметов Ж.Б., ПҚКӨ кафедрасының 2 курс магистранты, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті КЕАҚ (Қарағанды қ., Қазақстан)

Кишенова А.Ю., орыс тілі және мәдениеті кафедрасының аға оқытушысы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті КЕАҚ (Қарағанды қ., Қазақстан)

Асаинов С.Т., ПҚКӨ кафедрасының аға оқытушысы, т.ғ.к., Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті КЕАҚ (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Khussan B., senior lecturer of the Department of Working out of mineral deposits, Ph.D, Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

Nygymetov Zh.B., 2nd year master's student of the Department of the Department of Working out of mineral deposits, Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

Kishenova A.Yu., Senior Lecturer of the Department of Russian Language and Culture, Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

Asainov S.T., senior lecturer of the Department of Working out of mineral deposits, Candidate of Technical Sciences, Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan)

ДЕСЯТЫЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

SEYMARTEC
DIGITAL

ЧЕЛЯБИНСК
ОТЕЛЬ «RADISSON BLU»

25–27
НОЯБРЯ

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ
В ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ
ОТРАСЛИ



seymartec.ru



+7 499 638-23-29



info@seymartec.ru

Код МРНТИ 52.13.07

М.К. Татыбаев, О.О. Дуйсенбекова, В.В. Поветкин, *А.А. Кенбай
КазННТУ им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан)

УСТАНОВЛЕНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ГРАНИТА ПО ПАРАМЕТРАМ УДАРНОЙ СИСТЕМЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ МЕТОДОМ

Аннотация. В данной работе исследуется влияние различных типов инструментов на удельную энергоёмкость разрушения гранита. Экспериментальные исследования проводились с использованием бойков (C1, C2, C3, C4) и долотчатой коронки при различных углах поворота инструмента. Рассматривается зависимость изменения удельной энергоёмкости разрушения гранита от энергии единичного удара и угла поворота. Целью работы является определение зависимости энергоёмкости при разрушении горных пород от различных факторов, таких, как вид инструмента, угол поворота, свойства породы и условия эксплуатации. Полученные результаты показали, что с увеличением энергии удара наблюдается снижение удельной энергоёмкости разрушения для всех типов бойков. Эти данные могут быть полезны для оптимизации процесса бурения и разрушения горных пород в горной и строительной промышленности.

Ключевые слова: удельная энергоёмкость, гранит, удар, боек, предударная скорость бойка, угол поворота инструмента, буровая коронка.

Соққы жүйе параметрлері негізінде гранит бұзу энергия сыйымдылығын эксперименттік әдіспен анықтау

Андатпа. Бұл жұмыс гранит бұзу меншікті энергия сыйымдылығына әр түрлі құралдардың әсерін зерттейді. Эксперименттік зерттеулер құралдың әртүрлі айналу бұрыштарындағы соққыштар (C1, C2, C3, C4) және қашау тәжіні қолдану арқылы жүргізілді. Гранит бұзу меншікті энергия сыйымдылығы өзгеруінің бір соққының энергиясына және айналу бұрышына тәуелділігі қарастырылады. Жұмыстың мақсаты - тау жыныстарының бұзылуы кезіндегі энергия сыйымдылығының құрал түріне, айналу бұрышына, тау жыныстарының қасиеттеріне және жұмыс жағдайларына байланысты әртүрлі факторларға тәуелділігін анықтау. Алынған нәтижелер соққы энергиясының жоғарылауымен соққыштардың барлық түрлері үшін бұзылудың меншікті энергия қарқындылығының төмендеуі байқалатынын көрсетті. Бұл деректер тау-кен және құрылыс салаларындағы бұрғылау және тау жыныстарын бұзу процесін оптимизациялау үшін пайдалы болуы мүмкін.

Түйінді сөздер: меншікті энергия сыйымдылығы, гранит, соққы, соққыш, соққыға дейінгі соққыш жылдамдығы, құралдың айналу бұрышы, бұрғылау.

Determination of the granite destruction energy capacity according to the impact system parameters by the experimental method

Abstract. This paper examines the effect of different tool types on the specific energy capacity of granite destruction. Experimental studies were conducted using strikers (C1, C2, C3, C4) and a chisel crown at different tool rotation angles. The dependence of the change in the specific energy capacity of granite destruction on the energy of a single impact and the rotation angle is considered. The aim of the work is to determine the dependence of the energy capacity during rock destruction on various factors, such as the type of tool, rotation angle, rock properties and operating conditions. The results obtained showed that with an increase in the impact energy, a decrease in the specific energy capacity of destruction is observed for all types of strikers. These data can be useful for optimizing the drilling and rock destruction process in the mining and construction industries.

Key words: specific energy capacity, granite, impact, striker, pre-impact speed of the striker, angle of rotation of the tool, drill bit.

Введение

Одним из ключевых этапов в проектировании и оптимизации добычи и переработки материалов является оценка энергоёмкости при разрушении горных пород. Данная величина показывает необходимое количество энергии, требуемой для разрушения единицы объема или массы породы, и может определяться множеством факторов, включая физико-механические свойства материала, характеристики инструмента и условия его эксплуатации [1–4].

Основная цель данного исследования заключается в выявлении зависимости удельных энергоёмкостей на разрушение пород от различных факторов, таких как:

- тип и геометрия разрушительного инструмента (например, бойки различных типов);
- угол поворота инструмента (например, углы 20°, 30°, 40°);
- физико-механические свойства горных пород (например, прочность, твердость, пористость);
- условия эксплуатации, такие как скорость вращения инструмента, давление и температура.

Методика исследования

При проведении оценивания и определения энергоёмкости разрушения горных пород применяются как экспериментальные, так и теоретические подходы [5]. Эксперименты проводятся с использованием инструментов разных типов, таких как долотчатые коронки и бойки, в

лабораторных условиях и на производственных объектах. Теоретические исследования же могут базироваться на математических моделях, описывающих процессы разрушения и взаимосвязь параметров инструмента и материала [6–7].

Экспериментальные исследования основаны на определении количественных характеристик, которые необходимы для разрушения материала в различных условиях. В процессе экспериментов исследуются параметры, влияющие на удельные энергоёмкости, включая тип и геометрию инструмента, углы поворота, механические свойства пород и условия эксплуатации.

Для проведения экспериментов в данном исследовании использовалась установка, оснащенная регулируемыми углами поворота инструмента и системой контроля скорости вращения. В качестве инструментов применялись бойки различных типов (C1, C2, C3, C4) и долотчатые коронки, использованные для разрушения образцов горных пород.

Описание этапов эксперимента

Подготовка образцов. Подготовлены образцы гранита, известняка, базальта и других горных пород с различными физико-механическими свойствами.

Выбор параметров инструмента. Для каждого типа бойка (C1, C2, C3, C4) были заданы параметры (форма, размеры, материал). Также для долотчатой коронки были выбраны параметры режущих элементов (таблица 1).

Таблица 1
Параметры бойков
Кесте 1
Соққыштар параметрлері
Table 1
Parameters of strikers

Обозначение	Длина, мм	Диаметр, мм	Масса, кг
C1	350	35	2,50
C2	450	45	5,49
C3	700	35	5,47
C4	253	75	8,32

Измерения углов поворота. Углы поворота инструмента были установлены на значения 20°, 30° и 40° с точностью до 1°.

Проведение испытаний. Инструмент физически воздействовал на образцы горных пород, при этом фиксируя энергию, которая необходима для разрушения каждого из них.

Сбор данных. Устанавливались показатели времени разрушения, силы воздействия и потребленной энергии. На основе этих данных рассчитывалась удельная энергоёмкость разрушения, предназначенная для различных углов поворота и типов инструмента.

Экспериментальная часть

Эксперименты по разрушению гранита проводились на специально разработанной копровой установке, позволяющей регулировать углы поворота инструмента с высокой точностью и контролировать его взаимодействие с материалом. К установке крепились цилиндрические бойки, обеспечивающие стабильный контакт с горной породой во время разрушения. На установке можно настроить углы поворота инструмента (20°, 30°, 40°) и скорости вращения, а также регистрировать время разрушения и потребляемую энергию.

Удары наносились по штанге с закрепленной штыревой (A1), крестовой (A2) или долотчатой коронкой (A3). Ударное воздействие направлялось на гранитный блок. При регулировании высоты сбрасывания бойков, их предупредительные скорости достигали 5 и 7 м/с. Высота, при котором сбрасывались бойки измерялась с использованием рейки, а энергия удара варьировалась в диапазоне от 31,25 до 207,35 Дж. Энергоёмкость разрушения горной породы может быть установлена через зависимость:

$$A_{\text{эн}} = \frac{Ph_c n \gamma}{Q_z}, \quad (1)$$

где P – масса ударника, кг;

h_c – высота сбрасывания, м;

n – число сбрасываний;

γ – удельная масса породы, т/м³;

Q_z – масса разрушаемой породы, кг.

В процессе данных экспериментов изучалось влияние формы коронки, наряду с предупредительной скоростью бойка, его размеров и массы, а также угла поворота инструмента на объем разрушенной породы, глубину скважины и удельную энергоёмкость разрушения [8].

Ключевую роль при разрушении гранита с помощью бойков и долотчатых коронок играл угол поворота инструмента. Этот параметр существенно влиял на удельную энергоёмкость разрушения, которая представляет собой количество энергии, которое необходимо затратить для разрушения единицы объема материала. Изменение данного параметра влияло на силу контакта инструмента с материалом, а также и на способ воздействия на гранит, что приводило к значительным колебаниям удельной энергоёмкости.

Результаты и обсуждение

Важным требованием исследования зависимости энергоёмкости разрушения гранита от величины удельной энергии удара при разных углах поворота и предупредительных скоростях бойка 5 м/с и 7 м/с является необходимость рассмотрения нескольких основных и ключевых факторов, таких, как энергию, силы удара, а также то, как эти параметры влияют на процесс разрушения породы (рис. 1).

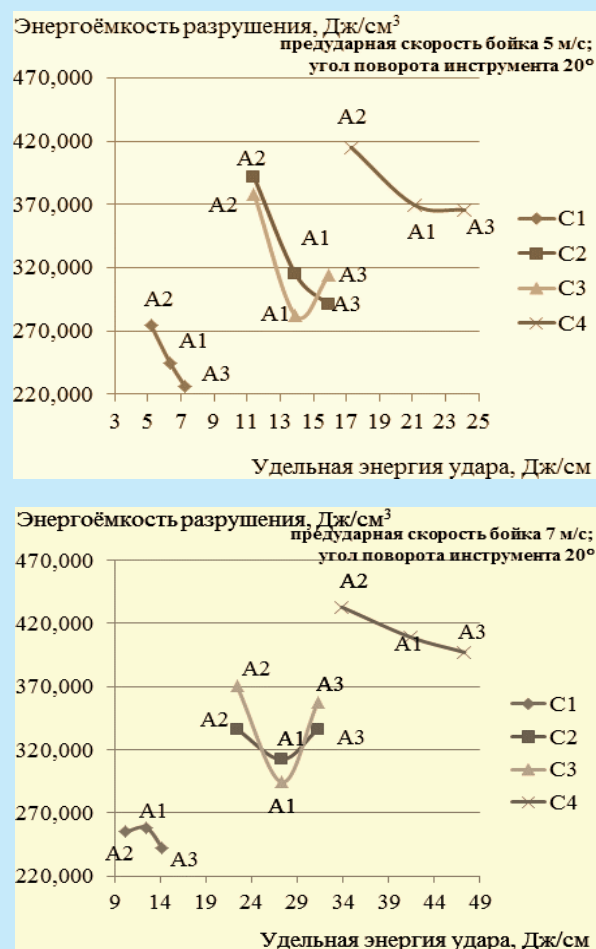
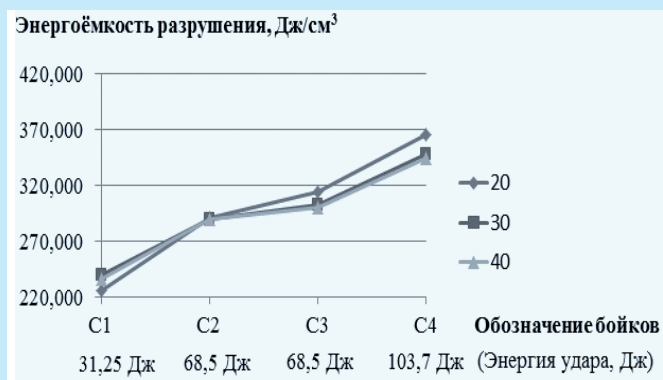


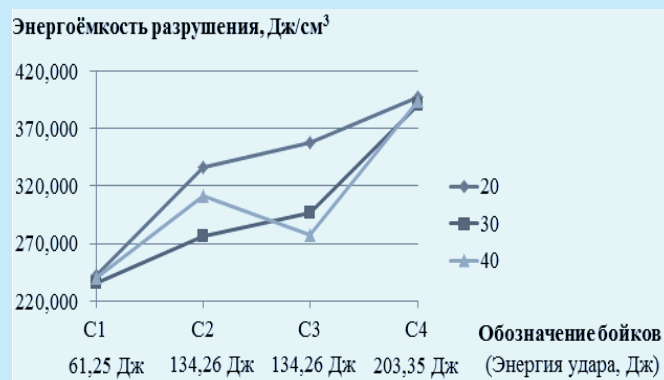
Рис. 1. Энергоёмкости разрушения гранита и величины удельной энергии удара при указанных параметрах.

Сурет 1. Граниттің жойылуының энергия сыйымдылығы және көрсетілген параметрлердегі меншікті әсер ету энергиясының мәні.

Figure 1. Energy capacity of granite destruction and values of specific impact energy for the specified parameters.



а



б

Рис. 2. Зависимости изменения удельной энергоемкости при разрушении горных пород (гранита) разными типами бойков при использовании долотчатой коронки: а – скорость бойка 5 м/с; б – скорость бойка 7 м/с.

Сурет 2. Тау жыныстарын (граниттерді) қашау тәжін пайдаланған кезде соғушылардың әртүрлі түрлерімен бұзу кезіндегі меншікті энергия сыйымдылығының өзгеруінің тәуелділіктері: а – соққы жылдамдығы 5 м/с;

б – соққының жылдамдығы 7 м/с.

Figure 2. Dependencies of the change in specific energy capacity during the destruction of rocks (granite) by different types of strikers when using a chisel crown: а – striker speed 5 m/s; б – striker speed 7 m/s.

При объяснении зависимости удельной энергоемкости разрушения гранита и других горных пород от типа бойков (C1–C4), углов поворота инструмента (20°, 30°, 40°) и использования долотчатой коронки необходимо учитывать следующие факторы:

- тип бойков (C1–C4). Различия в геометрии и массе бойков определяют их влияние на силу контакта с гранитом и, соответственно, на удельную энергоемкость разрушения;

- углы поворота инструмента. Изменение угла поворота (20°, 30°, 40°) влияет на характер контакта инструмента с материалом, распределение усилий и глубину воздействия, что отражается на энергоемкости;

- использование долотчатой коронки. Коронка отличается от бойков своей формой и принципом разрушения материала, что оказывает значительное влияние на удельную энергоемкость.

Данные параметры являются важными составляющими при создании полной картины зависимости, позволяющей выявить наиболее энергоэффективные условия разрушения гранита.

На рис. 2 показаны зависимости изменения удельной энергоемкости разрушения гранита различными бойками (C1–C4) при углах поворота, равных 20°, 30° и 40°, долотчатая коронка.

Для бойков и долотчатой коронки выстроена зависимость удельной энергоемкости разрушения гранита от угла поворота инструмента. Данные ниже отображают изменения удельной энергоемкости при углах поворота инструмента 20°, 30° и 40° (таблица 2).

Для представления зависимости изменения удельной энергоемкости разрушения гранита при эксплуатации бойков, а также при применении крестовой коронки, необходимо учитывать несколько факторов, включая особенности инструмента, угол его поворота и метод воздействия на гранит (рис. 3).

Таблица 2

Величины удельной энергоемкости разрушения гранита в зависимости от угла поворота инструмента и его типа

Кесте 2

Құралдың айналу бұрышына және оның түріне байланысты гранитті жоюдың меншікті энергия сыйымдылығының мәндері

Table 2

Values of specific energy intensity of granite destruction depending on the angle of rotation of the tool and its type

Тип инструмента	Угол поворота 20°	Угол поворота 30°	Угол поворота 40°
Бойки C1	8000 Дж/м³	10000 Дж/м³	12000 Дж/м³
Бойки C2	8500 Дж/м³	10500 Дж/м³	12500 Дж/м³
Бойки C3	9000 Дж/м³	11000 Дж/м³	13000 Дж/м³
Бойки C4	9500 Дж/м³	11500 Дж/м³	13500 Дж/м³
Долотчатая коронка	10000 Дж/м³	12000 Дж/м³	14000 Дж/м³

Для крестовой коронки выстроена зависимость изменения удельной энергоемкости разрушения гранита от угла поворота, представленная в таблице 3. Можно подчеркнуть, что с увеличением угла поворота удельная энергоемкость разрушения также возрастает.

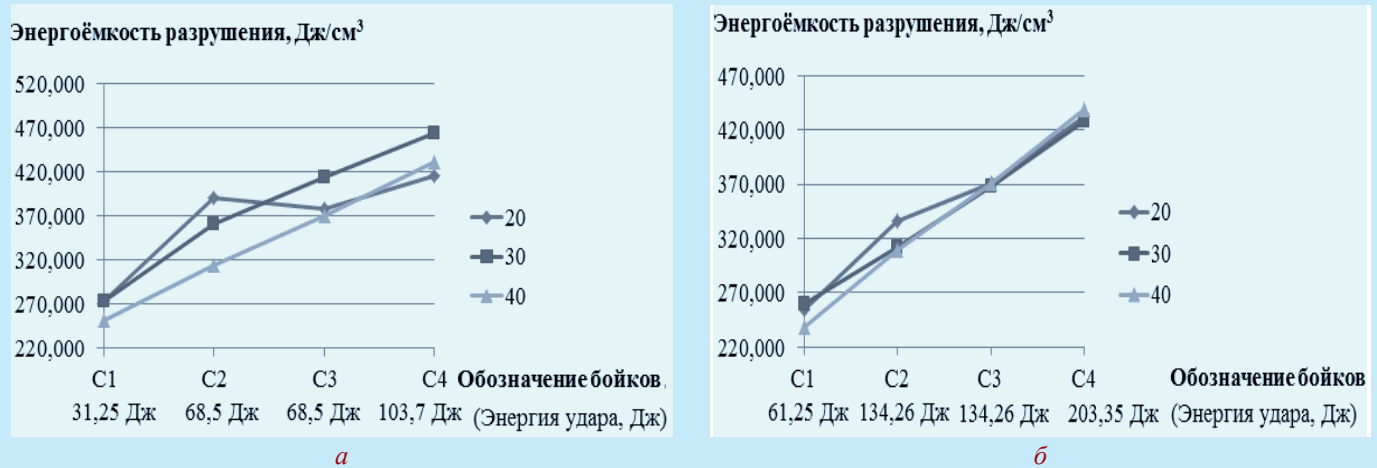


Рис. 3. Данные для крестовой коронки: а – скорость бойка 5 м/с; б – скорость бойка 7 м/с.

Сурет 3. Крест битке арналған деректер: а – соққыштың жылдамдығы 5 м/с; б – соққының жылдамдығы 7 м/с.

Figure 3. Data for a cross-shaped crown: а – striker speed 5 m/s; б – striker speed 7 m/s.

Таблица 3

Удельная энергоёмкость для крестовой коронки

Кесте 3

Айқас тәж үшін ерекше энергия мазмұны

Table 3

Specific energy consumption for a cross-shaped crown

Тип инструмента	Угол поворота 20° (Дж/м³)	Угол поворота 30° (Дж/м³)	Угол поворота 40° (Дж/м³)
Крестовая коронка	10000	12000	14000

Полученные результаты при изучении разрушения гранита в рамках данного исследования показывают, что тот же объем разрушенной породы разнится для различных типов бойков, а также углов поворота инструментов. Из данных выше можно сделать вывод, что в основном наименьшей удельной энергоёмкостью разрушения обладает боек C1, который имеет наименьшие массу и размер, а оптимальный угол поворота – 20°. Более детальный разбор результатов выполнен в разделе заключения ниже.

Заключение

Линейная зависимость изменения удельной энергоёмкости разрушения гранита различными типами бойков при углах поворота 20°, 30° и 40°, а также долотчатой коронкой можно построить с помощью экспериментальных данных, показывающих, что:

- при увеличении угла поворота энергоёмкость разрушения увеличивается;
- различные типы бойков оказывают разное влияние на энергоёмкость в зависимости от их геометрии, строения и взаимодействия с материалом.

При постоянной массе и предударной скорости боек с наибольшей длиной (C3) дает более продолжительный по переднему фронту силовой импульс, но наименьшей силы [9].

Что касается штыревой коронки, то согласно результатам статистической обработки полученных экспериментальных данных время длительности переднего фронта силового

импульса не влияет на энергоёмкость разрушения гранита, что нельзя сказать относительно крестовой и долотчатой. Зарождается предположение, что длина ударника 700 мм является чрезмерной по аналогии с экспериментами.

Данная картина приводит к увеличению доли отраженной энергии удара, при неиспользованной хвостовой части силового импульса и, соответственно, к повышению энергоёмкости разрушения горной породы.

Наглядно видно, что проявление данных закономерностей обусловлено различными условиями скалывания. Для крестовой коронки практически для всех бойков, при угле поворота 40° соответствует наименьшее значение энергоёмкости разрушения. Что касается долотчатой коронки, то при малой энергии удара самым эффективным является угол поворота после удара в 20°. Обычно увеличение энергии удара приводит к увеличению эффективного угла поворота после удара. Для штыревой коронки результат воздействия данного параметра установить не удалось.

Полученные значения энергоёмкости разрушения гранита коррелируют с данными других авторов [10].

Воздействие фактора предударной скорости бойка 5 и 7 м/с дает в эксперименте практически одинаковый результат.

Результаты, показанные на рис. 1, позволяют утверждать, что тенденция уменьшения энергоёмкости разрушения гранита при увеличении энергии единичного удара сохраняется. Для каждого бойка (от C1 – самого легкого до C4 – самого тяжелого) крестовой коронке соответствует большее значение энергоёмкости разрушения, в то время как долотчатой коронке – меньшее. Однако можно заметить, что параметры бойков и формируемых ими силовых импульсов вносят в эту закономерность свои коррективы.

Таким образом, результаты данного исследования позволяют установить и рекомендовать оптимальные параметры для эффективного разрушения горных пород в зависимости от их характеристик и вида используемого инструмента. Такие данные могут быть использованы для улучшения технологических процессов в горной, строительной, а также в других отраслях, что может привести к снижению энергетических затрат и повышению производительности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Sun F., Zhang X., Guo J., Liu X. (15 октября 2024). Экспериментальное и имитационное исследование характеристик разрушения гранита с учетом влияния промежуточных главных напряжений. [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(24\)14784-6?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844024147846%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(24)14784-6?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844024147846%3Fshowall%3Dtrue) (на английском языке)
2. Xu Z., Zhong X., Zhang S., Wang Y., Liu K., Liu X., Meng Y., Hou X., Chen C. (ноябрь 2024). Экспериментальное исследование механических повреждений и характеристик ползучести гранита Гунхэ в условиях высокой температуры в реальном времени. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0375650524001871?via%3Dihub> (на английском языке)
3. Li B.-L., Sun T., Zhang J.-Z., Liu Q.-Y., Long Y. (октябрь 2024). Механические и разрушающие характеристики гранита с дефектами после высокотемпературного цикла: экспериментальное исследование с использованием двухосного сжатия. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167844224003513?via%3Dihub> (на английском языке)
4. Wang H., Liao H., Niu W., Xu J., Liu Y., He Y. (сентябрь 2023). Повышение эффективности бурения горных пород: оценка эффективности технологии прорезания отверстий струей воды сверхвысокого давления при бурении гранита. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2949891023006620?via%3Dihub> (на английском языке)
5. Гибридные методы разрушения горных пород / Петров В.М. [и др.]. М.: Наука, 2019. С. 50–55 (на русском языке)
6. Анализ современных методов нанесения защитных покрытий / Поветкин В.В. [и др.] // Горный журнал Казахстана. 2021. № 7. С. 31–35 (на русском языке)
7. Газовоздушные горелки при производстве блоков из твердой породы / Поветкин В.В. [и др.] // Горный журнал Казахстана. 2021. № 8. С. 29–35 (на русском языке)
8. Lundberg B., Okrouhlik M. Эффективность процесса ударного бурения горных пород с учетом излучения волновой энергии в горную породу // International Journal of Impact Engineering. 2016. № 32. С. 1573–1583 (на английском языке)
9. Шадрина А.В., Саруев Л.А. Исследование возможностей вращательно ударного способа бурения для разведочных скважин малого диаметра из подземных горных выработок // Известия вузов. Геология и разведка. 2012. № 5. С. 62–66 (на русском языке)
10. Шадрина А.В., Кабанова Т.В. Исследование разрушения твердой горной породы энергией удара // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № 6. С. 381–385 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Sun F., Zhang X., Guo J., Liu X. (2024 жылғы 15 қазан). Аралық негізгі кернеулердің әсерін ескере отырып, граниттің бұзылу сипаттамасын эксперименттік және имитациялық зерттеу. [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(24\)14784-6?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844024147846%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(24)14784-6?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844024147846%3Fshowall%3Dtrue) (ағылшын тілінде)
2. Xu Z., Zhong X., Zhang S., Wang Y., Liu K., Liu X., Meng Y., Hou X., Chen C. (2024 жылдың қарашасы). Нақты уақыттағы жоғары температура кезінде Гонгхе гранитінің механикалық зақымдануы мен сусымалы сипаттамаларын эксперименттік зерттеу. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0375650524001871?via%3Dihub> (ағылшын тілінде)
3. Li B.-L., Sun T., Zhang J.-Z., Liu Q.-Y., Long Y. (2024 жылдың қазаны). Жоғары температура циклінен кейінгі ақаулы граниттің механикалық және бұзылу сипаттамалары: екі осьтік қысуды қолданатын эксперименталды зерттеу. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167844224003513?via%3Dihub> (ағылшын тілінде)
4. Wang H., Liao H., Niu W., Xu J., Liu Y., He Y. (2023 жылдың қыркүйек). Тау жыныстарын бұрғылаудың тиімділігін арттыру: гранитті бұрғылаудағы ультра жоғары қысымды су ағынымен саңылау технологиясының тиімділігін бағалау. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2949891023006620?via%3Dihub> (ағылшын тілінде)
5. Гибридті тау жыныстарын жою әдістері / Петров В.М. [және т.б.]. М.: Ғылым, 2019. Б. 50–55 (орыс тілінде)
6. Қорғаныс жабындарын жағудың заманауи әдістерін талдау / Поветкин В.В. [және т.б.] // Қазақстанның тау-кен ісі журналы. 2021. № 7. Б. 31–35 (орыс тілінде)
7. Бензин – қатты жыныс блоктарын өндірудегі ауа қыздырғыштары / Поветкин В.В. [және т.б.] // Қазақстанның тау-кен ісі журналы. 2021. № 8. Б. 29–35 (орыс тілінде)
8. Lundberg B., Okrouhlik M. Тау жынысына толқындық сәулеленуді ескере отырып, соқпалы тау жыныстарын бұрғылау процесінің тиімділігі // International Journal of Impact Engineering. 2016. № 32. Б. 1573–1583 (ағылшын тілінде)
9. Шадрина А.В., Саруев Л.А. Жерасты кен қазбаларынан кіші диаметрлі барлау ұңғымалары үшін айналмалы соқпалы бұрғылау мүмкіндіктерін зерттеу // Университеттер жаңалықтары. Геология және барлау. 2012. № 5. Б. 62–66 (орыс тілінде)
10. Шадрина А.В., Кабанова Т.В. Соққы энергиясы арқылы қатты тау жыныстарының бұзылуын зерттеу // Тау-кен ақпараты және аналитикалық бюллетень. 2014. № 6. Б. 381–385 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Sun F., Zhang X., Guo J., Liu X. (October 15, 2024). Experimental and simulation investigation on failure characteristic of granite considering the effect of intermediate principal stresses. <https://www.cell.com/>

- heliyon/fulltext/S2405-8440(24)14784-6?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844024147846%3Fshowall%3Dtrue* (in English)
2. Xu Z., Zhong X., Zhang S., Wang Y., Liu K., Liu X., Meng Y., Hou X., Chen C. (November 2024). *Experimental study on mechanical damage and creep characteristics of Gonghe granite under real-time high temperature*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0375650524001871?via%3Dihub> (in English)
 3. Li B.-L., Sun T., Zhang J.-Z., Liu Q.-Y., Long Y. (October 2024). *Mechanical and failure characteristics of flawed granite after high-temperature cycling: An experimental study using biaxial compression*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167844224003513?via%3Dihub> (in English)
 4. Wang H., Liao H., Niu W., Xu J., Liu Y., He Y. (September 2023). *Enhancing rock drilling efficiency: Evaluating the effectiveness of ultra-high-pressure water jet slotting technology in granite drilling*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2949891023006620?via%3Dihub> (in English)
 5. *Gibridnye metody razrusheniya gornyx porod [Hybrid methods of rock destruction]*, Petrov V. [et al.]. Moscow: Nauka, 2019. 50–55 pp. (in Russian)
 6. *Analiz sovremennykh metodov naneseniya zashchitnykh pokrytii [Analysis of modern methods of applying protective coatings]*, Povetkin V. [et al.], *Gornyi zhurnal Kazakhstana [Mining Journal of Kazakhstan]*. 2021. No. 7. 31–35 pp. (in Russian)
 7. *Gazovozdushnye gorelki pri proizvodstve blokov iz tverdoi porody [Gas-air burners in the production of solid rock blocks]*, Povetkin V. [et al.], *Gornyi zhurnal Kazakhstana [Mining Journal of Kazakhstan]*. 2021. No. 8. 29–35 pp. (in Russian)
 8. Lundberg B., Okrouhlik M. *Efficiency of a percussive rock drilling process with consideration of wave energy radiation into the rock // International Journal of Impact Engineering*. 2016. No. 32. 1573–1583 pp. (in English)
 9. Shadrina A., Saruev L. *Issledovanie vozmozhnostei vrashchatel'no udarnogo sposoba bureniya dlya razvedochnykh skvazhin malogo diametra iz podzemnykh gornyx vyrabotok [Study of the possibilities of rotary percussion drilling method for small diameter exploratory wells from underground mine workings]*, *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka [News of universities. Geology and exploration]*. 2012. No. 5. 62–66 pp. (in Russian)
 10. Shadrina A., Kabanova T. *Issledovanie razrusheniya tverdoi gornoj porody energiei udara [Study of destruction of solid rock by impact energy]*, *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' [Mining information and analytical bulletin]*. 2014. No. 6. 381–385 pp. (in Russian)

Сведения об авторах:

Татыбаев М.К., кандидат педагогических наук, ассоциированный профессор института Энергетики и Машиностроения имени А. Буркитбаева, «КазННТУ имени К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), m.tatybayev@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0001-9980-1040>

Дуйсенбекова О.О., кандидат сельскохозяйственных наук, ассоциированный профессор института Энергетики и Машиностроения имени А. Буркитбаева, «КазННТУ имени К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), o.duisenbekova@satbayev.university; <https://orcid.org/0009-0006-6039-5173>

Поветкин В.В., доктор технических наук, профессор института Энергетики и Машиностроения имени А. Буркитбаева, «КазННТУ имени К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), vv1940_povetkin@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3872-3488>

Кенбай А.А., магистр естественных наук, преподаватель, института Энергетики и Машиностроения имени А. Буркитбаева, «КазННТУ имени К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), a.kenbay@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0001-6803-5873>

Авторлар туралы мәліметтер:

Татыбаев М.К., педагогикалық ғылымдарының кандидаты, Ә. Бүркітбаев атындағы Энергетика және Машина жасау Институтының қауымдастырылған профессоры, «Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ» (Алматы қ., Қазақстан)

Дуйсенбекова О.О., ауыл-шаруашылық ғылымдарының кандидаты, Ә. Бүркітбаев атындағы Энергетика және Машина жасау Институтының қауымдастырылған профессоры, «Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ» (Алматы қ., Қазақстан)

Поветкин В.В., техникалық ғылымдарының докторы, Ә. Бүркітбаев атындағы Энергетика және Машина жасау Институтының профессоры, «Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ» (Алматы қ., Қазақстан)

Кенбай А.А., жаратылыстану ғылымдарының магистрі, Ә. Бүркітбаев атындағы Энергетика және Машина жасау Институтының оқытушысы, «Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ» (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Tatybayev M., candidate of pedagogical sciences, associate professor of Institute of Energy and Mechanical Engineering named after A. Burkitbayev, «Satbayev University» (Almaty, Kazakhstan)

Duisenbekova O., candidate of agricultural sciences, associate professor of Institute of Energy and Mechanical Engineering named after A. Burkitbayev, «Satbayev University» (Almaty, Kazakhstan)

Povetkin V., doctor of technical sciences, professor of Institute of Energy and Mechanical Engineering named after A. Burkitbayev, «Satbayev University» (Almaty, Kazakhstan)

Kenbay A., master of natural sciences, lecturer of Institute of Energy and Mechanical Engineering named after A. Burkitbayev, «Satbayev University» (Almaty, Kazakhstan)

Код МРНТИ 52.13.04

Г.С. Мадимарова¹, *Т.Б. Нурпеисова¹, А.Е. Ормамбекова¹, Ш.А. Жантуева^{1,2}¹Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева
(г. Алматы, Казахстан),²Казахский национальный аграрный исследовательский университет (г. Алматы, Казахстан)

ИССЛЕДОВАНИЕ МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ И ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ ДАННЫХ БАССЕЙНА КАРАТАУ

Аннотация. Статья посвящена решению научно-технической проблемы геомеханического обеспечения устойчивости откосов уступов и бортов карьеров фосфоритноносного бассейна Каратау для эффективной и безопасной разработки месторождений полезных ископаемых. Применены маркшейдерско-геодезические наблюдения с использованием GNSS-технологий (Leica GS16), рекогносцировочные и геолого-поисковые маршруты для анализа геологических структур, а также лабораторные испытания прочностных свойств пород. Данные обработаны в ArcMap для создания базы геопространственной информации. Изучены материалы геодезической обеспеченности района, выполнена рекогносцировка и обследование пунктов государственной геодезической сети ГГС на наличие и их сохранность. Обследованию подлежали все пункты государственной геодезической сети в границах месторождений, имеющие координаты и высоты в местной системе координат. Создана база данных для мониторинга деформаций, позволяющая прогнозировать зоны риска обрушения.

Ключевые слова: геомеханика, деформация, устойчивость, трещиноватость, геодезические пункты, откос уступов, геомониторинг, GNSS.

Каратау бассейнінің маркшейдерлік-геодезиялық және геотехникалық мәліметтерін зерттеу

Аннотация. Мақала Каратау фосфоритті бассейнінің кен орындарын тиімді және қауіпсіз игеру үшін карьерлердің ашық қазбалары мен борттарының орнықтылығын геомеханикалық қамтамасыз ету жөніндегі ғылыми-техникалық мәселені шешуге арналған. GNSS технологияларын (Leica GS16) пайдалана отырып, маркшейдерлік-геодезиялық бақылаулар, геологиялық құрылымдарды талдау үшін рекогносцировочкалық және геологиялық-іздістіру маршруттары, сондай-ақ жыныстардың беріктік қасиеттерін зерттеуге арналған зертханалық сынақтар қолданылды. Мәліметтер ArcMap бағдарламасында өңделіп, геокеністіктік акпараттар базасы жасалды. Ауданның геодезиялық қамтамасыз етілу материалдары зерттеліп, мемлекеттік геодезиялық желі (МГЖ) пункттерінің бар-жоғы және олардың сақталу жағдайына рекогносцировка мен тексеру жүргізілді. Кен орындарының шекараларындағы координаттары мен биіктіктері жергілікті координаталар жүйесінде анықталған барлық мемлекеттік геодезиялық желі пункттері тексерілді. Құлау қаупі жоғары аймақтарды болжауға мүмкіндік беретін деформацияларды бақылау бойынша деректер базасы жасалды.

Түйінді сөздер: геомеханика, деформация, тұрақтылық, жарықшақтану, геодезиялық нүктелер, стэндтік еңіс, геомониторинг, GNSS.

Study of mining-geodesic and geotechnical data of the Karatau basin

Abstract. The article is dedicated to solving the scientific and technical problem of geomechanical support for the stability of slopes and benches of open-pit mines in the Karatau phosphorite basin for the effective and safe development of mineral deposits. Mine surveying and geodetic observations using GNSS technologies (Leica GS16), reconnaissance and geological survey routes for analyzing geological structures, as well as laboratory tests of rock strength properties were applied. The data were processed in ArcMap to create a geospatial information database. The geodetic support materials of the area were studied, and reconnaissance and inspection of the state geodetic network (SGN) points were conducted to assess their presence and preservation. All SGN points within the boundaries of the deposits with coordinates and elevations in the local coordinate system were examined. A deformation monitoring database was created, enabling the prediction of collapse risk zones.

Key words: geomechanics, deformation, stability, fracturing, geodetic points, bench slope, geomonitoring, GNSS.

Введение

В настоящее время доля открытого способа добычи полезных ископаемых резко возросла за счет более экономических показателей, особенно при вскрытии неглубоких месторождений путем использования современной техники и технологии.

Проблема управления устойчивости карьерных откосов и отвалов приобретает все большее значение. В горной промышленности намечена определенная тенденция к последовательному увеличению доли наиболее эффективного открытого способа разработки месторождений полезных ископаемых. Для современных карьеров характерным является усложнение условий производства горных работ из-за различных деформаций прибортовых массивов. Деформации карьерных откосов наносят значительный материальный ущерб горному предприятию, нарушая правильное и безопасное ведение горных работ, вызывая потери полезного ископаемого, которые становятся особо значимыми в условиях рыночной экономики.

Основной идеей работы является проведение комплексных исследований геомеханического состояния прибортовых массивов карьеров с целью получения данных о прочностных свойствах пород и элементах залегания структуры массива, совершенствовании методов расчета устойчивости откосов в анизотропной среде, технологических схемах за откосами уступов и способах инструментального контроля состояния бортов.

Поэтому проблема обеспечения устойчивости карьерных откосов является одной из важнейших в горном деле. Для решения этой проблемы необходимо изучить причины деформаций прибортовых массивов и все разнообразие их проявлений.

Исследования, выполненные рядом научно-исследовательских, проектных и учебных институтов в Республике Казахстан (ИГД им. Д.А. Кунаева НАН РК, КазНИМИ, КазИТУ, КарГТУ, ЖезказганНИПИ-цветмет и др.), в Российской Федерации (ВНИМИ и его филиалы, МГТУ, ВНОГЕМ, УНИПРОМмедь, ИГД им. А.А. Скочинского) и отдельными учеными, такими как: Н.В. Мельников, В.В. Ржевский, В.В. Соколовский, Г.Л. Фисенко, А.Ж. Машанов, И.И. Попов, В.Н. Попов, М.Е. Певзнер, Ю.И. Туринцев, В.Р. Рахимов, Р.П. Окатов, Д.Г. Букейханов, М.Б. Нурпеисова, Ф.К. Низаметдинов, Т.Т. Ипалаков, О.Т. Токмурзин, А.Т. Каймаков и др., позволили заложить научные основы решения проблемы управления устойчивостью карьерных откосов, разработать и внедрить на практике инженерные методы их расчетов [1, 2].

Устойчивость откосов уступов и бортов карьеров основывается на изучении механики деформирования откосов структурных особенностей и геомеханических свойств горных пород, методов расчета устойчивости откосов и мероприятий по обеспечению их устойчивости. С этих позиций в научной работе нами проведен анализ состояния откосов на карьерах и механизм деформирования прибор-

тового массива. Представлен также анализ структурных особенностей и прочностных свойств горных пород.

В соответствии с этим, дальнейшее повышение эффективности открытого способа разработки месторождений полезных ископаемых и рационального использования земель вызывает необходимость в изыскании способов установления оптимальных параметров устойчивых откосов уступов и бортов карьеров.

Совокупность природных и технологических факторов определяют прочность массива горных пород и условия его деформирования во времени. Естественно, что степень влияния перечисленных факторов и форма их учета различны для каждого конкретно взятого месторождения.

Методы/исследования

Фосфоритоносный бассейн Каратау (ФБК) находится на территории Жамбылской и Южно-Казахстанской областей и представляет собой полосу длиной 120 км и шириной 25 км, протягивающуюся в северо-западном направлении. В пределах фосфоритоносного бассейна Каратау выявлено 48 месторождений фосфоритовых руд с общими прогнозными запасами порядка 13,7 млрд т руды.

Месторождения расположены на расстоянии 90–100 км от г. Каратау и 200 км на запад от областного центра г. Тараз. Месторождения связаны с городами, асфальтированными и железными дорогами. Электроснабжение осуществляется по ЛЭП от г. Тараз.

Объектом исследования является месторождение Каратау-1 (Шийлибулак) протяженностью 4,2 км, на флангах ограничено диагональными разрывными разрушениями сбросо-сдвигового типа и приурочено к северному борту Аксайской долины субширотного простирания, а юго-восточным продолжением месторождения Аксай, от которого отделено меридиальным разрывным нарушением с амплитудой смещения до 600 м, отметка дна карьера +680 м. Мощность фосфоритового пласта 11,0 м. В строении месторождения принимают участие две мощные осадочные толщи: терригенная и карбонатная. Балансовые запасы для открытой разработки по категориям (тыс. т): В – 5663; C₁ – 1616; A+B+ C₁ – 7279.

Терригенная толща здесь представлена малокаройской свитой венда, а карбонатная – тамдинской свитой.

Малокаройская свита (Vmk) на территории месторождения приурочена ко дну долины, на 70% перекрыта четвертичными отложениями и представлена глинисто-кремнистыми сланцами.

С размывом на малокаройской свите залегает чулактауская свита, к которой приурочен продуктивный горизонт месторождения.

Расположение основных полезных ископаемых в районе фосфоритового бассейна Каратау приведены на рис. 1.

Из рисунка видно, что месторождения бассейна Каратау разделены между собой крупными разломами, имеющими длительную историю развития и влиявшими на осадконакопление. Формирование тектонических элементов, прослеживаемых в пределах рудных полей и месторождений, находятся в тесной связи с указанными разрывными нарушениями и складчатыми формами. Как во времени, так и в пространстве размещение рудных полей непосред-



Рис. 1. Расположение основных месторождений фосфоритового бассейна Каратау.

Сурет 1. Каратау фосфорит бассейнінің негізгі кен орындарының орналасуы.

Figure 1. Location of the main deposits of the Karatau phosphorite basin.

ственно связано с геомеханическими процессами, которые испытывает регион под действием тектонических сил. Именно на участках, где имела место максимальная разрядка напряжений, появились явно выраженные тектонические деформации, приведшие к возникновению разного рода разрывных нарушений.

Горизонт темно-серых и черных кремней, мощность изменяется от 4 до 16 м, продуктивный горизонт представлен фосфоритами от темно-серого до черного цвета. Внутри фосфоритного пласта, особенно в нижней его части, отмечаются прослои и линзы фосфато-кремнистых и фосфато-карбонатных пород. Мощность фосфоритного пласта 2–18 м.

Отложения четвертичной системы (Q) перекрывают чехлом малокаройскую и чулактаускую свиты и представлены элювиальными, пролювиальными и аллювиальными образованиями – грубообломочными породами, чередующимися с суглинками. Мощность от 1,5 до 40 м. Параметры карьера Каратау-1 приведены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры карьера Каратау-1

Кесте 1

Каратау-1 карьерінің параметрлері

Table 1

Parameters of the Karatau-1 quarry

	Длина	Ширина	Отметка дна карьера	Высота уступа	Глубина карьера
Проектная	1,4	200	630	10	-
Фактическая	0,95	160	680	10	30

Максимальная длина карьера составляет 1440 м, ширина по верху – 210 м, глубина – от 50 м (висячий бок)

до 130 м (лежачий бок). Добыча ведется на горизонтах +710, +700, +690, +680 и +670 м.

Методика проведения работ учитывает существующую степень изученности месторождения бассейна Каратау. Один из основных акцентов в предстоящих работах направлен на максимальное использование предшествующих геологических работ, результатов геофизических исследований. Методика исследуемых работ, необходимая плотность поисковой и оценочной сети определяется, исходя из геологических особенностей фосфоритовых месторождений и проявлений, морфологии, параметров рудных зон и тел с учетом возможностей геофизических, горных и маркшейдерско-геодезических методов.

Основные виды исследуемых работ:

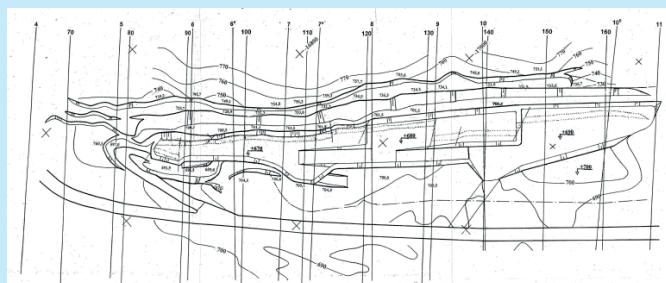
*рекогносцировочные и геолого-поисковые маршруты;
маркшейдерско-геодезические работы;
горные работы.*

Рекогносцировочные маршруты предусмотрены для ознакомления с основными геологическими структурами района; посещения эталонных поисковых объектов ведущих геолого-промышленных типов района; составления и сбора эталонной и полевой коллекции образцов и руд; ознакомление с геологическими, геоморфологическими, гидрогеологическими, инженерно-геологическими и географо-экономическими особенностями территории проекта. Маршруты проводились пешком и на различных видах транспорта в зависимости от проходимости территории. В процессе маршрутов велась полевая документация. Направление маршрутов – в основном вкост главных структур проектной площади. Маршруты предусмотрены как на территории проекта, так и за его пределами. Особое внимание было уделено изучению объектов с высокометаморфизованными фосфоритами.

Геолого-поисковые маршруты проводились с целью решения конкретных вопросов, возникших в процессе подготовительных, полевых и камеральных работ и для составления разномасштабных геологических профилей № 10 и № Б месторождения.

Маршруты будут пройдены вкост простирания рудонесных структур, стратиграфических подразделений, тектонических нарушений и зон гидротермально-метасоматических изменений.

Границами карьера являются: на северо-западе – геологический разрез 4; на юго-востоке – геологический разрез 11 (рис. 2).



**Рис. 2. План карьера. М 1:2000.
Сурет 2. Карьер планы. М 1:2000.
Figure 2. Quarry plan. М 1:2000.**

Из рисунка видно, что план карьера Каратау-1 в масштабе 1:2000 отображает границы карьера, основные геологические разрезы и расположение вентиляционного ствола. Это помогает в анализе пространственной конфигурации карьера и планировании горных работ, включая определение зон устойчивости бортов.

В настоящей работе параметры бортов карьера при погашении характеризуются следующими данными, приведенными в таблице 2.

Таблица 2

Параметры бортов карьера при погашении

Кесте 2

Карьерді қазу кезіндегі карьер жағы параметрлері

Table 2

Quarry side parameters during quarrying

Наименование пород	Показатели		
	Угол откоса, град	Ширина бермы, м	Высота уступа, м
Фосфато-кремнистые и фосфато-глинистые сланцы	60	16	30
Кремни	60	16	30
«Нижние» доломиты	65–70	10	30
Доломиты окремненные	60	10–14	30
Доломиты с мергелистыми, глинисто-алевролитовыми прослойками	60	14–15	30
Доломиты тонко-среднезернистые с редкими прослойками известняков	60–75	16	30
Известняки	65–75	10–20	30
Наносы	40	15	20

При этом основные параметры карьера составляют:

- максимальная длина карьера принимается равной 1440 м;
- наибольшая ширина карьера по верху - 210 метров;
- наиболее низкая отметка дна карьера +630 метров;
- наиболее высокая отметка со стороны лежащего бока +760 метров;
- наиболее высокая отметка со стороны висячего бока +700 метров;
- наиболее низкая отметка дна карьера +630 метров;
- наиболее высокая отметка дна карьера +650 метров;
- максимальная глубина карьера со стороны висячего бока - 50 метров;
- максимальная глубина карьера со стороны лежащего бока - 130 метров.

В связи с тем, что все работы будут проводиться в действующем карьере Каратау-1, обеспеченность карьера запасами гарантирует стабильную работу в период действия проекта, добыча фосфоритов в период действия проекта

будет осуществляться на горизонтах +710, +700, +690, +680 и +670 м (рис. 3).

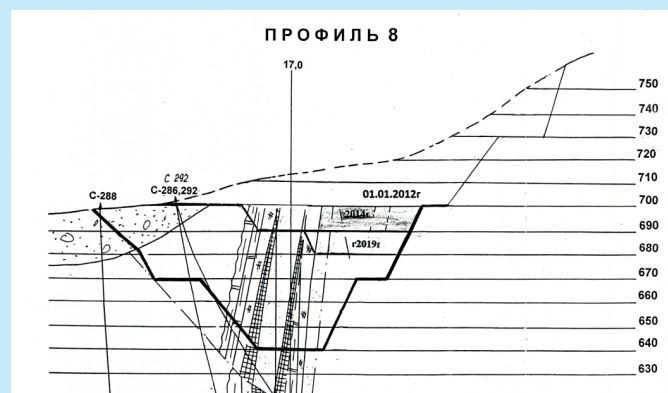


Рис. 3. Геологический профиль № 8. М 1:2000.
Сурет 3. Геологиялық профиль № 8. М 1:2000.
Figure 3. Geological profile No. 8. M 1:2000.

Обсуждение результатов

Анализ состояния методологии проведения маркшейдерско-геодезических наблюдений на территории разрабатываемого месторождения в первую очередь связан с отсутствием эффективных методов определения величин деформаций. Это диктует необходимость совершенствования методологии маркшейдерско-геодезических наблюдений за деформациями горных пород с использованием современных приборов.

Маркшейдерско-геодезические наблюдения позволяют выявить массовые деформации, что важно для оценки геомеханической ситуации в районе полевых работ, где возможны подвижки земной поверхности, нарушения устойчивости откосов и бортов карьера [3, 4, 5, 6]. Но они не дают полной картины деформационных процессов с течением времени. Это может быть выполнено только при использовании предложенной комплексной методики проведения геомониторинга состояния придонных массивов.

Следующим этапом были изучены материалы геодезической обеспеченности карьера, а также выполнена рекогносцировка и обследование пунктов государственной геодезической сети ГГС на наличие и их сохранность. Обследованию подлежали все пункты государственной геодезической сети в границах месторождений, имеющие координаты и высоты в местной системе координат расположенные на территории карьера Каратау-1 [7, 8, 9].

Комплекс геодезических измерений и вычислений проведен с целью актуализации данных о действующих пунктах государственной геодезической сети и получения параметров (ключей) пересчета между системами координат WGS84 и МСК на территорию месторождения.

Применена улучшенная по точности измерения технология нового поколения Глобальной навигационной спутниковой системы, нового поколения GNSS, одновременно отслеживаемые многие типы современных спутниковых систем и сигналов для надежности определения координат и отметок.

Работы по рекогносцировке и по обследованию пунктов включают в себя поиск и нахождение пункта на местности, определение сохранности центра и внешнего оформления. Обследование геодезических пунктов выполнено с целью определения их состояния и пригодности для использования при выполнении топографо-геодезических работ. При поиске пунктов ГГС практически ко всем пунктам проезд осуществлялся по имеющимся полевым дорогам. Все пункты были обнаружены посредством визуального обнаружения. Также были использованы Тахеометры фирмы Leica TS06 для сгущения и уравнивания вновь заложенных реперов. На каждый пункт составлено подробное описание, его местоположение и фотофиксация (рис. 4).



Рис. 4. Схема расположения реперных точек.
Сурет 4. Реперлі нүктелердің орналасу схемасы.
Figure 4. Layout of reference points.

Схема показывает расположение геодезических пунктов, используемых для маркшейдерско-геодезического мониторинга. Это обеспечивает точность измерений и контроль деформаций горного массива, что критично для безопасной эксплуатации карьера.

Для восстановления и создания пунктов геодезических данных был взят тригонометрический пункт. Высота 813 с известными координатными данными взята с сайта <https://ggo.gov.kz/geoportal>.

Для выбора пунктов были использованы места малопроезжимые и на возвышенности, для дальнейшего сохранения. Пункты устанавливались согласно ГОСТу.

Для результата данных закрепленных пунктов использовались разные оборудования, в зависимости требований к точности измерений в конкретных зонах наблюдений карьера [10, 11, 12]. На все утраченные или поврежденные геодезические пункты составлены соответствующие акты (рис. 5).

Иллюстрация восстановленных геодезических пунктов подтверждает проведение полевых работ по обследованию и восстановлению пунктов государственной геодезической сети (ГГС). Это важно для создания надежной геодезической основы мониторинга.

В качестве исходных пунктов, послуживших плано-высотной основой, приняты существующие пункты государственной геодезической сети (далее ГГС): пункты триангуляции 2-го класса.



Рис. 5. Восстановленные геодезические пункты.
Сурет 5. Қалпына келтірілген геодезиялық пункттер.
Figure 5. Restored geodetic points.

С целью доведения геодезической сети до плотности, обеспечивающей необходимую точность топографо-геодезических работ, на двух пунктах ГГС были установлены базовые станции и от них было выполнено сгущение геодезической сети на участках съемки методом триангуляции с использованием спутниковой системы GPS с повышенной технологией точности класса GNSS, приемник Leica GS16 в комплекте База-Ровер. Список координат и высот пунктов в координатах в WGS-84 в таблице 3.

Создание базы данных в ArcMap для интеграции геопространственных данных, включая границы участка и геологические данные, позволило систематизировать информацию, обеспечить ее наглядное отображение и упростить дальнейший анализ при принятии проектных и производственных решений.

База данных была создана в формате ArcMap для комплексного мониторинга, которая включает в себя выбор подходящих инструментов и технологий для непрерывного наблюдения за состоянием горного массива и выполнение рекогносцировки местности, проведение серий наблюдений инструментальными технологиями.

Координаты точек геодезических пунктов загружены с тахеометра в компьютер в текстовом формате, далее импортированы в рабочий набор ArcMap.

Сети сгущения предварительно созданы для дальнейших измерительных работ.

Рельеф местности создавался с помощью спутникового наблюдения Aster.

В базе данных есть границы участка, границы обработанной земли, границы участка, где хранятся геологические данные (рис. 6).

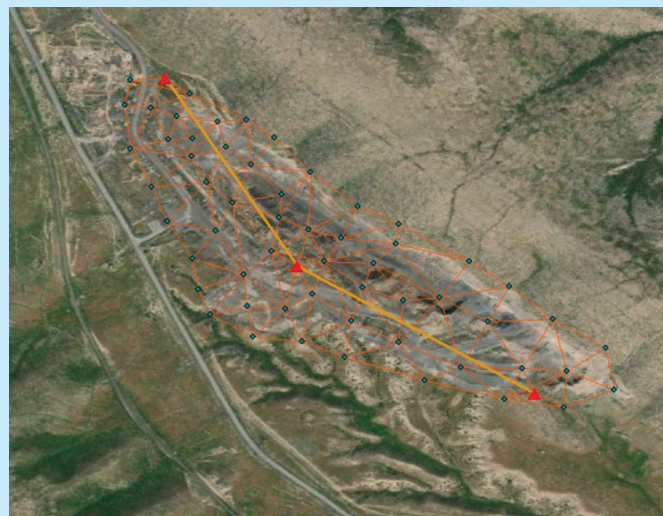


Рис. 6. Создание базы данных в ArcMap.
Сурет 6. ArcMap бағдарламасында мәліметтер қорын құру.
Figure 6. Creating a Database in ArcMap.

Рисунок демонстрирует структуру базы данных в ArcMap, включающую границы участка, геологические данные и обработанные земли. Это визуализирует процесс интеграции геопространственной информации для комплексного геомониторинга.

Для изучения фактической устойчивости откосов на карьерах определялись: высота уступа, углы откоса, тип пород, углы падения основных трещин и факторы, влияющие на устойчивость карьерных откосов.

Координаты геодезических пунктов

Геодезиялық нүктелердің координаттары

Coordinates of geodetic points

Таблица 3

Кесте 3

Table 3

Исходные данные					
Имя точки	Север	Восток	Высота (глобальная)	Широта (глобальная)	Долгота (глобальная)
ПП-1	4800777.642	599003.721	713,581	43°20'07.9175"	70°13'12.1177"
ПП-2	4801061.210	598604.091	701.231	43°20'17.2929"	70°12'54.5654"
ПП-3	4801485.576	598379.432	724.458	43°20'31.1466"	70°12'44.8667"

Выводы

Таким образом, карьер «Каратау-1» фосфоритоносного бассейна Каратау, характеризующийся сложной геологической структурой с фосфоритным пластом мощностью 2–18 м, перекрытым четвертичными отложениями, и анизотропным массивом, требует тщательного контроля устойчивости откосов.

Комплексный мониторинг включает маркшейдерско-геодезические съемки с использованием GNSS, реконсцировочные и геолого-поисковые маршруты, а также анализ прочностных свойств пород. Данные интегрированы в базу ArcMap для мониторинга деформаций и оценки геомеханических условий.

Создана база данных в ArcMap, обеспечивающая обработку геопространственной информации и прогнозирование зон риска обрушения.

Благодарность

Данное исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета Науки Министерства науки и высшего образования РК (ГФ ИРН № AP23489372–«Исследование геотехнического состояния горного массива и разработка методики геомеханического комплексного мониторинга для прогноза деформационных процессов при освоении недр»).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бек А.Ш. Геоинформационные основы прогнозирования характеристик устойчивости бортов карьеров: дис. ... д-р техн. наук: Алматы, 2009. 256 с. (на русском языке)
2. Нурпеисова Т.Б. Разработка методов формирования и использования геолого-маркшейдерской информации при решении задач обеспечения устойчивости карьерных откосов: дисс. ... канд. техн. наук: Алматы, 2005. 130 с. (на русском языке)
3. Методические рекомендации по оценке устойчивости бортов карьеров Акжал / Нурпеисова М.Б., Касымканова Х.М., Кыргызбаева Г.М. – Алматы: КазНТУ, 2004. – 27 с. (на русском языке)
4. Любушин А.А. Геодинамический мониторинг: шумы, сигналы, предвестники // Проблемы геофизики XXI века: М.: Наука, 2003. Кн. 2. С. 70–94 (на русском языке)
5. Указания по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам (Хибинские апатито-нефелиновые месторождения / Коллектив авторов. – Апатиты: КНЦ РАН, 2002. – 97 с. (на русском языке)
6. Нурпеисова М.Б. Геомеханическое обеспечение промышленной безопасности горных предприятий // Материалы XXV межд. Научной школы им. академика С.А. Христиановича, Алушта, 2015. С.133–138 (на русском языке)
7. Геодезический мониторинг деформаций высотного здания с использованием технологии наземного лазерного сканирования Madimarova G. [и др.] // Journal of Applied Engineering Science. 2022. № 20 (4). С. 1083–1092 (на английском языке)
8. Анализ смещений земной поверхности под влиянием повторных горных работ в районе Жезказгана / Nizametdinov N.F. [и др.] // Journal of Mining Science. 2021. № 57 (2). С. 184–189 (на английском языке)
9. Проверка методов сбора данных для измерения запасов обследований / Hulanová M. [и др.] // Инженерия полезных ископаемых. 2023. № 2 (2). С. 141–146 (на английском языке)
10. Корректировка кадастровых карт на местности после добычи полезных ископаемых / Staniczková M. [и др.] // Инженерия полезных ископаемых. 2023. № 2 (2). С. 147–152 (на английском языке)
11. Изучение физико-механических свойств пород месторождения бассейна Каратау / Мадимарова Г.С. [и др.] // «Маркшейдерия и недропользования» научно-технический и производственный журнал. 2024. № 2. С. 46–50 (на русском языке)
12. Использование индекса NDVI при мониторинге земель фосфоритовых месторождений / Мурсалимова Э.А. [и др.] // Научный журнал «Вестник ВКТУ им. Д. Серикбаева. 2023. № 3. С. 88–96 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Бек А.Ш. Карьер бекейінің тұрақтылық сипаттамаларын болжауға арналған географиялық ақпарат негіздері: т. г. д. ... дисс.: Алматы, 2009. 256 б. (орыс тілінде)
2. Нурпеисова Т.Б. Карьер беткейлерінің тұрақтылығын қамтамасыз ету мәселелерін шешу кезінде геологиялық-маркшейдерлік ақпаратты қалыптастыру және пайдалану әдістерін әзірлеу: т. г. к. дисс.: Алматы, 2005. 130 б. (орыс тілінде)
3. Ақжал карьері беткейлерінің тұрақтылығын бағалау бойынша әдістемелік ұсыныстар / Нурпеисова М.Б., Касымканова Х.М., Кыргызбаева Г.М. – Алматы: ҚазҰТУ, 2004. 27 б. (орыс тілінде)
4. Любушин А.А. Геодинамикалық мониторинг: шу, сигналдар, алдын алушылар // XXI ғасыр геофизикасының мәселелері: М.: Ғылым, 2003. 2 кітап. Б. 70–94 (орыс тілінде)
5. Тау жыныстарының жарылуына бейім және қауіпті кен орындарында тау-кен жұмыстарын қауіпсіз жүргізу жөніндегі нұсқаулық (Хибин апатит-нефелин кен орындары / Авторлар ұжымы. – Апатиты: КНЦ РАН, 2002. – 97 б. (орыс тілінде)

6. Нурпеисова М.Б. Тау-кен кәсіпорындарының өнеркәсіптік қауіпсіздігін геомеханикалық қамтамасыз ету // С.А. Христистанұлының академигі ХХІ Халықаралық ғылыми мектебінің материалдары, Алушта, 2015. Б. 133–138 (орыс тілінде)
7. Лазерлік сканерлеу технологиясын қолдану арқылы биік ғимараттың деформацияларын геодезиялық мониторингтеу / Madimarova G. [және т. б.] // *Journal of Applied Engineering Science*. 2022. № 20 (4). Б. 1083–1092 (ағылшын тілінде)
8. Жезқазған ауданында қайталанатын тау-кен жұмыстарының әсерінен жер бетінің ығысуын талдау / Nizametdinov N.F. [және т. б.] // *Journal of Mining Science*. 2021. № 57 (2). Б. 184–189 (ағылшын тілінде)
9. Тексеру зерттеулері қорларын өлшеу үшін деректерді жинау әдістерін тексеру / Hulanová M. [және т.б.] // *Пайдалы қазбалар инженериясы*. 2023. № 2 (2). Б. 141–146 (ағылшын тілінде)
10. Пайдалы қазбаларды өндіргеннен кейін жергілікті жерде кадастрлық карталарды түзету / Staniczková M. [және т.б.] // *Пайдалы қазбалар инженериясы*. 2023. № 2 (2). Б. 147–152 (ағылшын тілінде)
11. Қаратау бассейні кен орны тау жыныстарының физика-механикалық қасиеттерін зерттеу / Мадимарова Г.С. [және т.б.] // «Маркшейдерлік іс және жер қойнауын пайдалану» ғылыми-техникалық және өндірістік журнал. 2024. № 2. Б. 46– 50 (орыс тілінде)
12. Фосфорит кен орындарының жерлерін бақылауда NDVI индексын қолдану / Мурсалимова Е.А. [және т. б.] // Ғылыми журнал «Вестник ВКТУ им. Д. Серікбаева». 2023. № 3. Б. 88–96 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Bek A.Sh. Geoinformatsionnye osnovy prognozirovaniya kharakteristik ustoichivosti bortov kar'erov: dis. ... d-r tekhn. nauk [Geoinformation bases for forecasting the stability characteristics of quarry sides: dis. ... Dr. Tech. sciences], Almaty, 2009. 256 p. (in Russian)
2. Nurpeisova T.B. Razrabotka metodov formirovaniya i ispol'zovaniya geologo-marksheiderskoi informatsii pri resheni zadach obespecheniya ustoichivosti kar'ernykh otkosov: diss. ... kand. tekhn. nauk [Development of methods for the formation and use of geological and mine surveying information in solving problems of ensuring the stability of quarry slopes: diss. ... candidate of technical sciences], Almaty, 2005. 30 p. (in Russian)
3. Metodicheskie rekomendatsii po otsenke ustoichivosti bortov kar'erov Akzhal [Development of measures to ensure the stability of the sides of the Akzhal quarry], Nurpeisova M.B., Kasymkanova Kh.M., Kyrgyzbaeva G.M. – Almaty: KazNTU, 2004. – 27 p. (in Russian)
4. Lyubushin A.A. Geodinamicheskii monitoring: shumy, signaly, predvestniki [Geodynamic monitoring: noise, signals, precursors], Problemy geofiziki XXI veka [Problems of Geophysics of the XXI century], Moscow: Nauka, 2003. Book 2. 70–94 pp. (in Russian)
5. Ukazaniya po bezopasnomu vedeniyu gornykh rabot na mestorozhdeniyakh, sklonnykh i opasnykh po gornym udaram (Khibinskie apatito-nefelinovyе mestorozhdeniya [Guidelines for the safe conduct of mining operations at deposits prone to and dangerous for rock bursts (Khibiny apatite-nepheline deposits), A group of authors. – Apatity: KSC RAS, 2002. – 97 p. (in Russian)
6. Nurpeisova M.B. Geomekhanicheskoe obespechenie promyshlennoi bezopasnosti gornykh predpriyatiy [Geomechanical support of industrial safety of mining enterprises], Materialy KhKhV mezhd. Nauchnoi shkoly im. akademika S.A. Khristianovicha [Proceedings of the XXV International Scientific School named after Academician S.A. Khristianovich], Alushta, 2015. 133–138 pp. (in Russian)
7. The geodetic monitoring of deformations of a high-rise building using ground-based laser scanning technology / Madimarova G. [et al.] // *Journal of Applied Engineering Science*. 2022. No. 20 (4). 1083–1092 pp. (in English)
8. Analysis of Ground Surface Displacements under the Influence of Repeated Mining Activities in the Zhezkazgan Area / Nizametdinov N.F. [et al.] // *Journal of Mining Science*. 2021. No. 57 (2). 184–189 pp. (in English)
9. Validation of Data Collection Methods for Survey Stockpiles Measurement / Hulanová M. [et al.] // *Mineral Processing Engineering*. 2023. No. 2 (2). 141–146 pp. (in English)
10. Adjustment of Cadastral Maps in the Field After Mineral Extraction / Staniczková M. [et al.] / Staniczková M. [et al.] // *Mineral Processing Engineering*. 2023. No. 2 (2). 147–152 pp. (in English)
11. Izuchenie fiziko-mekhanicheskikh svoystv porod mestorozhdeniya basseina Karatau [Study of physical and mechanical properties of rocks of the Karatau basin deposit], Madimarova G.S. [et al.], «Marksheideriya i nedropol'zovaniya» nauchno-tekhnicheskii i proizvodstvennyi zhurnal [«Mine surveying and subsoil use» scientific, technical and production journal]. 2024. No. 2. 46–50 pp. (in Russian)
12. Ispol'zovanie indeksa NDVI pri monitoringe zemel' fosforitovykh mestorozhdenii [Use of the NDVI index in monitoring lands of phosphorite deposits], Mursalimova E.A. [et al.], Nauchnyi zhurnal «Vestnik VKTU im. D. Serikbaeva [Scientific journal «Bulletin of VKTU named after D. Serikbaev»]. 2023. No. 3. 88–96 pp. (in Russian)

Сведения об авторах:

Мадимарова Г.С., к.т.н., ассоциированный профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан), g.madimarova@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-9155-6332>

Нурпеисова Т.Б., к.т.н., профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан), t.nurpeissova@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0001-8162-6053>

Ортамбекова А.Е., доктор Ph.D, старший преподаватель кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан), a.ormambekova@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0003-2735-0257>

Жантмуева Ш.А., ст. преподаватель Satbayev University, Казахский национальный аграрный исследовательский университет (г. Алматы, Казахстан), shnar19610408@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0009-9630-4204>

Авторлар туралы мәліметтер:

Мадимарова Г.С., т.ғ.к., «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті (Алматы қ., Қазақстан)

Нурпеисова Т.Б., т.ғ.к., «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының профессоры, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті (Алматы қ., Қазақстан)

Ортамбекова А.Е., Ph.D докторы, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының аға оқытушысы, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті (Алматы қ., Қазақстан)

Жантмуева Ш.А., «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының аға оқытушысы, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Madimarova G.S., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mine Surveying and Geodesy, Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan)

Nurpeissova T.B., Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Mine Surveying and Geodesy, Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan)

Ormambekova A.E., Doctor Ph.D, Senior Lecturer Department of Mine Surveying and Geodesy, Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan)

Zhantmyeva S.A., Senior lecturer, Satbayev University, Kazakh National Agrarian Research University (Almaty, Kazakhstan)

ТРЕТИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

SEYMARTEC
ТОИРЧЕЛЯБИНСК
ОТЕЛЬ «RADISSON BLU»16–18
СЕНТЯБРЯПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ТОИР НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ТЭК,
ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО
КОМПЛЕКСА И МАШИНОСТРОЕНИЯ

seymartec.ru



+7 499 638-23-29



info@seymartec.ru

Код МРНТИ 52.13.17

Д. Таханов^{1,2}, *А. Рымкулова^{1,2}, Б. Рахметов², М. Балпанова^{1,2}¹Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан),²ТОО «Научно-технический центр промышленной безопасности» (г. Караганда, Казахстан)

КОМПЛЕКСНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ LEM И FEM ДЛЯ ОЦЕНКИ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ РИСКОВ

Аннотация. В работе представлен анализ устойчивости откосов карьеров Жайремского месторождения с использованием методов предельного равновесия (LEM) и конечных элементов (FEM). Моделирование выполнено в Slide3 и RS3 с учетом выветрелых пород и воздействия подземных вод. Построены трехмерные модели бортов, рассчитаны коэффициенты устойчивости, определены зоны риска. FEM позволил точнее оценить напряженно-деформированное состояние массива. Интеграция LEM и FEM обеспечила более полную картину устойчивости склонов и применима при проектировании мер безопасности в горных работах. Материалы исследования могут быть полезны специалистам в области геомеханики, проектирования и эксплуатации карьеров, а также при подготовке инженерных кадров в области горного дела.

Ключевые слова: устойчивость откосов, LEM, FEM, выветрелые породы, подземные воды, моделирование, коэффициент запаса.

LEM және FEM әдістерін геомеханикалық тәуекелдерді бағалау үшін кешенді қолдану

Аннотация. Бұл жұмыста Жайрем кен орнының карьерлеріндегі еңістердің тұрақтылығы шекті тепе-теңдік әдісі (LEM) және шектік элементтер әдісі (FEM) арқылы талданған. Модельдеу Slide3 және RS3 бағдарламаларында, әлсіз жыныстар мен жер асты суларының әсерін ескере отырып жүргізілді. Үш өлшемді еңіс модельдері құрылып, тұрақтылық коэффициенттері есептелді және қауіп аймақтары анықталды. FEM әдісі жыныс массасының кернеулі-деформациялық күйін дәлірек бағалауға мүмкіндік берді. LEM және FEM әдістерін біріктіру еңістердің тұрақтылығы туралы толық көрініс алуға мүмкіндік беріп, тау-кен жұмыстарында қауіпсіздік шараларын жобалауда қолдануға болады. Зерттеу материалдары геомеханика, карьер жобалау және пайдалану саласындағы мамандарға, сондай-ақ тау-кен ісі бойынша инженерлік кадрларды даярлауға пайдалы болуы мүмкін.

Түйінді сөздер: еңістердің тұрақтылығы, шекті тепе-теңдік әдісі (LEM), шектік элементтер әдісі (FEM), үгілген жыныстар, жер асты сулары, модельдеу, қауіпсіздік коэффициенті.

Integrated application of LEM and FEM methods for geomechanical risk assessment

Abstract. The study presents an analysis of slope stability at the Zhaim deposit open pits using the Limit Equilibrium Method (LEM) and the Finite Element Method (FEM). Modeling was carried out in Slide3 and RS3, taking into account weathered rock and the influence of groundwater. Three-dimensional slope models were developed, stability factors calculated, and risk zones identified. FEM provided a more accurate assessment of the stress-strain state of the rock mass. The integration of LEM and FEM offered a more comprehensive view of slope stability and is applicable in designing safety measures for mining operations. The research findings may be useful for professionals in geomechanics, open-pit design and operation, as well as in the training of engineering personnel in the mining industry.

Key words: slope stability, LEM, FEM, weathered rocks, groundwater, modeling, safety factor.

Введение

В условиях интенсификации горнодобывающей деятельности и расширения географии эксплуатируемых месторождений возрастает значимость геотехнических исследований, направленных на обеспечение устойчивости откосов карьеров. Особую актуальность проблема приобретает для Жайремского месторождения, где выветрелые породы достигают 100 метров и усложняют обеспечение геотехнической безопасности.

Цель данного исследования – анализировать и сравнивать эффективность и точность методов предельного равновесия (LEM) и методов конечных элементов (FEM) в оценке устойчивости откосов на указанном месторождении. Эти методы были выбраны из-за их широкого применения в горной инженерии для решения подобного рода задач, однако их применимость и точность могут значительно различаться в зависимости от специфики геологических условий [1].

В данной работе особое внимание уделяется анализу геологической структуры Жайремского месторождения, оценке механических свойств выветрелых пород и влиянию подземных вод на устойчивость откосов. Исследование поддерживается анализом ряда кейсов, где данные методы применялись в аналогичных условиях, что позволяет обосновать выбор инструментария и подходов.

Результаты исследования помогут оптимизировать выбор методов анализа и проектные решения в сложных геологических условиях. Понимание потенциальных геотехнических рисков при ведении горных работ на ранее затопленных карьерах Дальнезападный 1 и 2, входящие

в Жайремский горно-обогатительный комбинат, является важным фактором для обеспечения безопасности горных работ. Выявление фактических и проектных геотехнических рисков способствует предотвращению обрушений или их контролю на ранних этапах отработки месторождения [2].

Материалы и методы

В области геотехнического инжиниринга, особенно при оценке устойчивости откосов, применяются различные методики, среди которых особое место занимают метод предельного равновесия (Limit Equilibrium Method, LEM) и метод конечных элементов (Finite Element Method, FEM). Эти методы имеют как преимущества, так и ограничения, которые могут проявляться по-разному в зависимости от конкретных условий исследования, например, в ранее затопленных карьерах [3].

Метод предельного равновесия (LEM) традиционно используется для оценки устойчивости откосов за счет анализа равновесия сил и моментов вдоль предполагаемой поверхности скольжения. LEM делит массив на срезы и оценивает баланс между удерживающими и движущими силами. Этот метод отмечается своей простотой и эффективностью, что делает его популярным среди инженеров. Он хорошо подходит для различных типов склонов и обеспечивает быстрые оценки коэффициента запаса устойчивости [4]. Преимущества метода заключаются в его простоте и эффективности, так как он легко применим, требует минимальных вычислительных ресурсов и подходит для различных типов склонов и геологических условий,

предоставляя быстрые и точные оценки коэффициента запаса устойчивости [5].

Однако LEM требует предварительного задания формы поверхности скольжения, что может привести к неточностям, и не учитывает распределение напряжений и деформаций в массиве [6].

Метод конечных элементов (FEM), напротив, позволяет детально моделировать напряженно-деформированное состояние грунта, учитывая его дискретизацию на множество элементов и решение уравнений равновесия для каждого из них. FEM особенно эффективен для моделирования сложных геометрий и неоднородностей, что делает его идеальным для анализа условий в ранее затопленных карьерах, где условия могут быть весьма изменчивыми [7]. Однако FEM требует значительных вычислительных ресурсов и очень чувствителен к качеству входных данных [8], точность его результатов зависит от качества исходных данных.

Сравнение LEM и FEM в контексте различных геотехнических условий показывает, что оба метода могут давать схожие результаты для простых случаев. При сложных геологических условиях, например, наличии глубоких выветрелых пород или в ранее затопленных карьерах, FEM предоставляет более детальный и точный анализ [9]. Так, Zhang P. и соавторы обсуждают, как FEM позволяет более точно моделировать механизмы разрушения без предварительных предположений о форме поверхности скольжения, что может быть критично для ранее затопленных карьеров [10].

Закключение исследования утверждает, что выбор между LEM и FEM должен базироваться на конкретных требованиях проекта, доступности данных и желаемой точности анализа. В сложных условиях, как в ранее затопленных карьерах, применение FEM может быть предпочтительнее из-за его способности учитывать динамичные изменения в геологическом и гидрогеологическом контексте. Тем не менее, LEM остается важным инструментом для предварительных оценок и простых случаев, где требуется скорость и экономичность анализа.

Методология

Для анализа устойчивости откосов на месторождении Жайрем использовались методы предельного равновесия (LEM) и конечных элементов (FEM). В качестве инструментов для анализа методом LEM выбрана программа Slide3 от Rocscience Inc, что позволяет эффективно работать с трехмерными геометриями и обеспечивает точные оценки коэффициентов запаса прочности склонов. Этот метод был использован для быстрой оценки потенциальных зон обрушения [11]. Для более детального и глубокого анализа напряженно-деформированного состояния пород применялся метод FEM с использованием программы RS3, также разработанной Rocscience Inc. Эта программа идеально подходит для моделирования сложных геологических процессов и взаимодействия различных типов пород, что особенно важно для условий Жайремского месторождения.

Моделирование включало сбор и анализ данных о геометрии карьера, типах пород, их механических свойствах и уровне грунтовых вод. Особое внимание уделялось

пьезометрическим данным для оценки порового давления воды. Трехмерное моделирование позволило учесть реальные условия и геометрические особенности месторождения, а также моделировать различные сценарии, включая изменения уровня грунтовых вод и их влияние на устойчивость откосов. В Slide3 и RS3 проводился расчет коэффициентов запаса прочности и анализ потенциальных зон обрушения, при этом в RS3 дополнительно анализировались напряжения и деформации в массиве.

В процессе моделирования проводилась валидация результатов с использованием данных наблюдений за состоянием откосов в реальных условиях карьера. По результатам валидации модели корректировались для повышения точности прогнозов. Этот подход позволил достичь высокой степени достоверности результатов исследования и разработать эффективные меры по обеспечению устойчивости откосов.

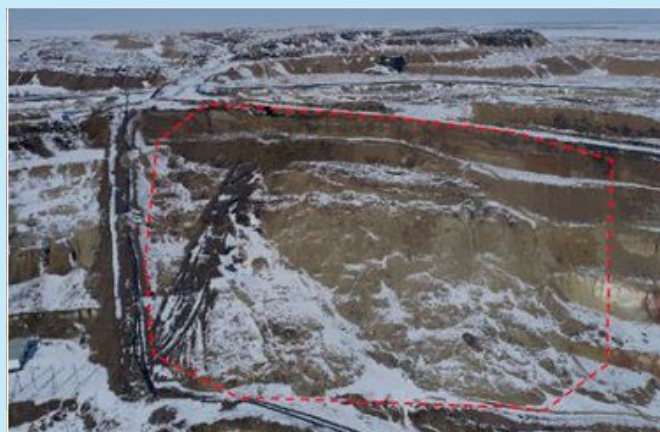
Трехмерное моделирование устойчивости проводилось в программах Slide3 (LEM) и RS3 (FEM), компании Rocscience Inc., для выявления зон потенциальных обрушений и оценки деформаций. На основе собранных данных были построены 3D модели откосов для всех стадий отработки. Был проведен анализ ожидаемого поведения грунта для оценки геотехнических рисков.

Геологически месторождение сложено из трех основных литологических толщ:

- *Clay* – глинисто-песчаного комплекса аральской свиты мощностью до 50 м;
- *Weathered rocks* – выветрелые породы;
- *Fresh rocks* – скальные породы.

Гидрогеологические условия участка являются сложными и по степени обводненности относятся к III группе. Грунтовые воды залегают на глубине до 7 м и следуют за рельефом водоупорного горизонта. Направление движения грунтовых вод определяется, в основном, рельефом кровли подстилающего водоупорного неогенового горизонта, который в общих чертах повторяет современный рельеф территории. Для моделирования порового давления воды был использован коэффициент u_0 . По накопленным данным пьезометрических скважин за период с 2022 по 2024 годы был проведен анализ порового давления воды рудного поля ДЗР-1 и ДЗР-2. Анализ 19 датчиков VWP показал, что средний коэффициент u_0 составил 0,56, для насыщенных пород и разломов условно принят $u_0 = 1.0$. Уровни воды в карьерных озерах ДЗР-1 и ДЗР-2 снизились на 35 м и 81 м соответственно по сравнению с естественным уровнем до откачных работ.

Паспортизация нарушений устойчивости откосов проводится для систематизации сведений об их характере и причинах. Эти сведения после обобщения и анализа используются для прогнозирования деформаций и разработки противооползневых мероприятий. С момента возобновления горных работ на карьере Дальнезападный 2 выявлена, согласно «Паспорту деформации №1», одна деформация в виде оползня (сползание массива горных пород) по северо-западному борту карьера между отм. +385 м и отм. +344 м. Впервые деформация отмечена 04.05.2023 г., угол откола деформации составлял 210 на 28.03.2024 г., деформация достигла угла откоса 170. Причины деформации: увлажнение грунтовыми водами (рис. 1).



**Рис. 1. Снимки Деформации № 1, северо-западный борт с гор. +384 м на гор. +344 м.
Сурет 1. № 1 деформацияның суреттері, +384 м гор. +344 м гор. солтүстік-батыс жағынан.
Figure 1. Images of Deformation No. 1, north-west side from hor. +384 m to hor. +344 m.**

Трехмерная (3D) модель устойчивости бортов была разработана в программе Slide3 компании Rocscience Inc. с использованием метода предельного равновесия (LEM).

Далее при расчетах различных оболочек карьера вышеупомянутая базовая модель была разделена на части с использованием геометрий карьера: контур фактического состояния карьера; проектный контур карьера Фаза 1; проектный контур карьера Фаза 2; конечный контур карьера LOM.

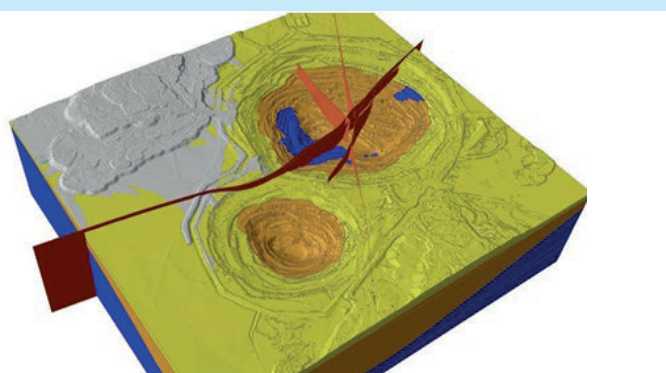
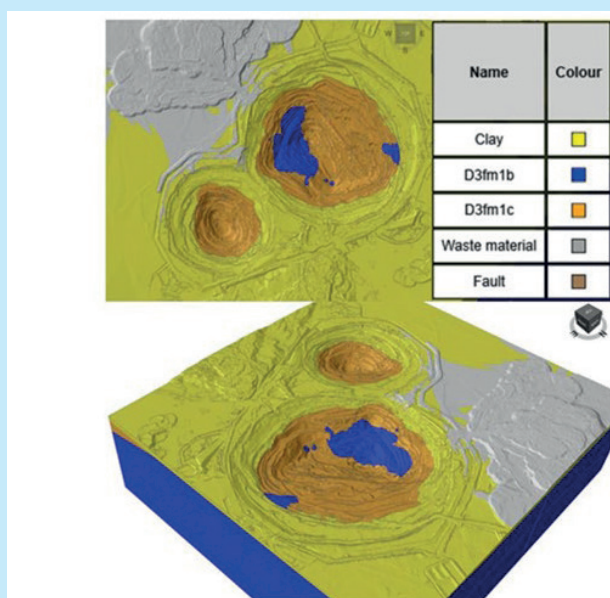
Модель подземных вод: уровень грунтовых вод повторяет топографическую поверхность, смещенную вертикально вниз на 10 м. Далее поровое давление, рассчитанное на основе полевых наблюдений, смоделировано с помощью коэффициентов U_v .

Традиционные методы и численное моделирование широко используются для моделирования устойчиво-

сти бортов. 3D методы анализа предельного равновесия включают метод колон GLE / Morgenstern-Price (полный) и метод колон Bishop (неполный). Для каждой поверхности скольжения по осям X и Y использовалось по 50 колон. Все поверхности скольжения были ограничены таким образом, чтобы минимальная глубина поверхности составляла 15 м ниже внешней границы, что позволило избежать анализа локальных нестабильностей уступа.

Эллипсоидальные поверхности скольжения рассчитывались с использованием алгоритмов оптимизации Particle Swarm и Cuckoo Search, что позволило определить глобальные минимумы коэффициента устойчивости в разных частях карьера.

Разломы моделировались как ослабленные зоны в откосах, чтобы отразить структурно-контролируемые сценарии обрушений (рис. 2).



**Рис. 2. 3D-модель устойчивости борта фактического состояния карьера.
Сурет 2. Нақты карьер күйінің борттық тұрақтылығының 3D моделі.
Figure 2. 3D model of the stability of the side of the actual state of the quarry.**

Обсуждение результатов

Наиболее вероятный случай состоит из литологической модели 2024 года и структурной модели 2020 года, включающие изотропные прочностные свойства пород по критерию разрушения Хука-Брауна для скальных и выветрелых пород и по критерию Мора-Кулона для перекрывающей толщи, как показано в таблице 1.

Коэффициент разрушения от взрыва $D = 1$ применяется по критерию разрушения Хука-Брауна на межсездовых и генеральных углах бортов карьера.

Для анализа прочностных свойств разломов используется критерий разрушения Мора-Кулона: $c' = 1$ кПа, $\phi' = 25^\circ$. Эти параметры свидетельствуют о зеркалах скольжения (полированных), структурах со слабым глинистым или перемятым кварцитовым заполнителем. То есть, используемые значения прочности на сдвиг в разломах остаются очень консервативными, требующие дальнейшего подтверждения для дальнейшей оптимизации бортов.

Уровень грунтовых вод повторяет топографическую поверхность, смещенную вертикально вниз на 10 м. В случае с карьером Дальнезападный это дает консервативное или более высокое поровое давление, которое выше фактического гидростатического уровня грунтовых вод.

Структурно-контролируемые и сложные механизмы обрушения могут быть оценены только в трехмерном анализе из-за взаимодействия между различными геологическими структурами и геометрией борта карьера в трехмерном пространстве. Для устойчивости бортов карьера критерий приемлемости DAC требует минимальные статические КЗУ, такие как:

- $FoS_{min} = 1,20$ для межсездовых откосов;
- $FoS_{min} = 1,30$ для генерального борта карьера.

В связи с субвертикальной ориентацией всех разломов структурно контролируемые и сложные механизмы обрушения не определены на всех стадиях отработки карьера.

Механизмы обрушения по прочностным свойствам пород оценивались с помощью трехмерного анализа методом предельного равновесия.

- $FoS3D-GLE > 1,20$ был определен для межсездовых откосов;

- $FoS3D-GLE > 1,30$ был определен для генерального борта карьера.

Оболочка фактического положения карьера соответствует и превышает минимальные требования DAC для Сценария 1, за исключением 3 зон потенциальных обрушений. Для наиболее вероятного случая выявлены 3 локальных участка с минимальным КЗУ (GLE) $FoS3D < 1,20$ на откосе выветрелых пород с объемами от 500 000 до 1 480 000 м³. В дальнейшем данная зона будет называться зоной риска 1–3. Анализ Бишопы выявил схожую зону потенциального обрушения с анализом GLE (рис. 3).

Оболочка проектного контура Фаза 1 соответствует и превышает минимальные требования DAC, за исключением 2 зон потенциального обрушения. Для наиболее вероятного случая выявлен 1 локальный участок с минимальным КЗУ (GLE) $FoS3D < 1,20$ на откосах выветрелых пород с объемом около 1 124 000 м³. В дальнейшем данные участки будут называться зоной риска 1. Анализ Бишопы также выявил 1 локальный участок с минимальным КЗУ ($FoS3D < 1,20$) на откосах выветрелых пород с объемом около 25 000 м³ (рис. 4).

Оболочка проектного контура Фаза 2 соответствует и превышает минимальные требования DAC, за исключением 1 зоны потенциального обрушения. Для наиболее вероятного случая выявлен 1 локальный участок с минимальным КЗУ (GLE) $FoS3D < 1,20$ на откосах выветрелых пород с объемом около 200 000 м³. В дальнейшем данный участок будет называться зоной риска 1 (рис. 5). Анализ Бишопы выявил практически схожие зоны потенциального обрушения с анализом GLE.

Таблица 1

Прочностные свойства материалов

Кесте 1

Материалдардың беріктік қасиеттері

Table 1

Strength properties of materials

Наименование	Цвет	Удельный вес (кН/м ³)	Поверхность воды	Критерий разрушения	Сцепление (кПа)	Phi(0)	UCS неповрежденной породы (кПа)	GSI	mi	D
Глина		19	Уровень грунтовых вод	Mohr Coulomb	22	24				
Свежий		28		Generalized Hoek-Brown			75000	50	10	1
Водоносные породы		25		Generalized Hoek-Brown			45000	25	6	1
Водоносные материалы		20		Mohr Coulomb	0	32				
Разлом		22		Mohr Coulomb	1	25				

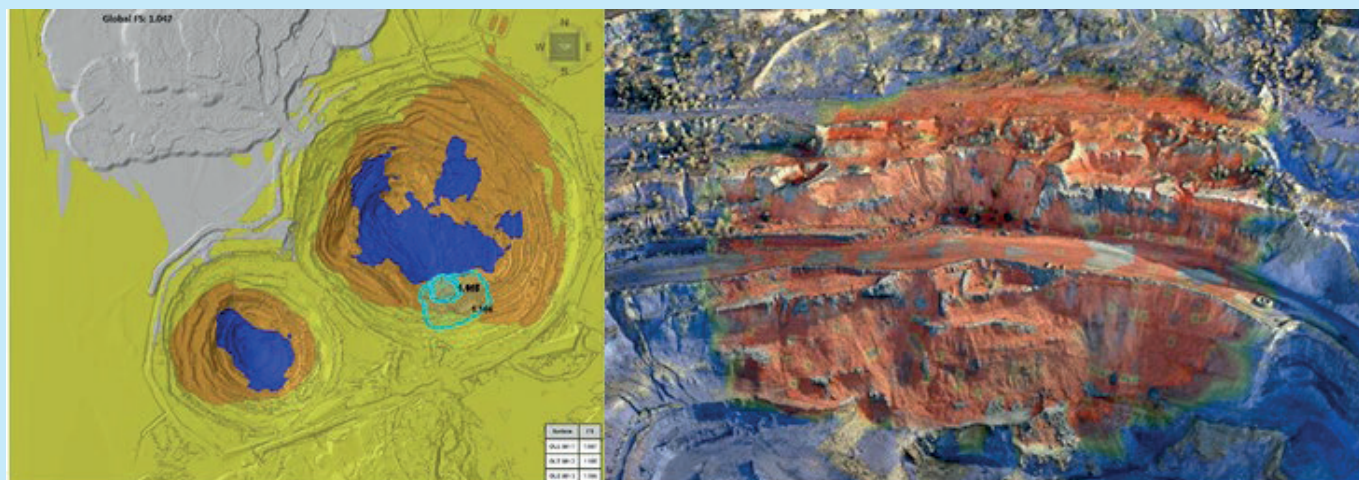


Рис. 3. Потенциальное обрушение (Зона риска 3, GLE).

Сурет 3. Ықтимал құлау (Қатерлі аймақ 3, GLE).

Figure 3. Potential collapse (Risk zone 3, GLE).

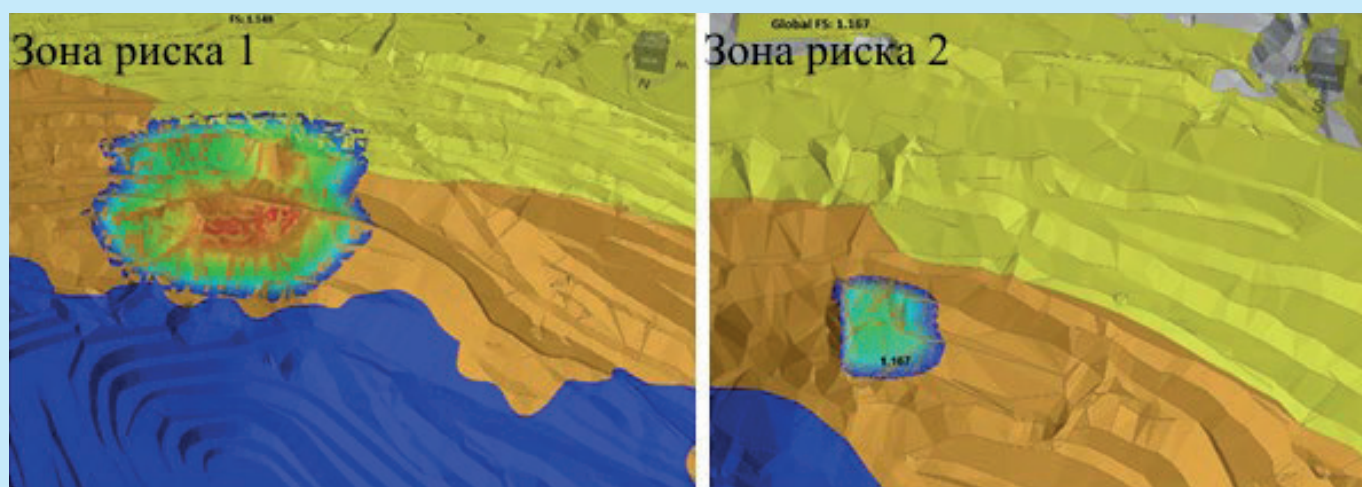


Рис. 4. Зоны риска на выветрелых откосах (Фаза 1).

Сурет 4. Тозған жыныстардың беткейлеріндегі ықтимал құлау аймақтары (Фаза 1).

Figure 4. Potential collapse zones on weathered rock slopes (Phase 1).

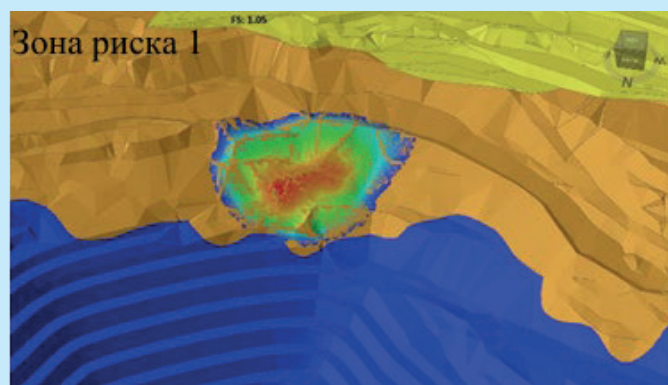


Рис. 5. Потенциальные обрушения на откосах выветрелых пород (Фаза 2, GLE).

Сурет 5. Тозған тау жыныстарының беткейлеріндегі ықтимал құлау (Фаза 2, GLE).

Figure 5. Potential collapses on weathered rock slopes (Phase 2, GLE).

Оболочка конечного контура (ЛОМ) соответствует и превышает минимальные требования DAC, за исключением 4 зон потенциального обрушения. Для наиболее вероятного случая выявлены 4 локальных участка с минимальным КЗУ (GLE) $FoS3D < 1,20$ на откосах выветрелых пород с объемом от 330 000 до 1 500 000 м³. В дальнейшем данные участки будут называться зонами рисков 1–4. Анализ Бишопы выявил практически схожие зоны потенциального обрушения с анализом GLE. Ниже в таблице 2 приведены результаты анализа устойчивости бортов.

Анализ устойчивости склонов карьера показал, что в целом проектные контуры соответствуют нормативам DAC, однако на всех стадиях разработки (фактическое положение, Фазы 1 и 2, конечный контур) выявлены локальные зоны риска с $FoS3D < 1,20$ на выветрелых породах (рис. 6). Объемы потенциальных обрушений варьируются от 200 000 до 1 500 000 м³. Наиболее крупные зоны риска зафиксированы в фактическом контуре и в ЛОМ. Результаты GLE подтверждены анализом Бишопы. Необходим

Таблица 2

Результаты анализа устойчивости конечного контура

Кестме 2

Соңғы контурдың тұрақтылығын талдау нәтижелері

Table 2

The results of the stability analysis of the final contour

Стадии отработки	Участок	С учетом разломов					
		Particle S.S.			Cuckoo S.		
		FoS GLE	Объем, м³	FoS Bishop	FoS GLE	Объем, м³	FoS Bishop
Конечный контур карьера (LOM)	ДЗР-2_север	1,25	381 822	1,19	1,17	332 158	1,1
		1,54	275 194	1,5			
		1,55	240 569	1,51			
	ДЗР-1_север	1,14	763 643	1,09	1,09	443 175	1,08
		1,31	1 307 610	1,28			
		1,6	1 728 890	1,56			
	ДЗР-1,2_юг	1,15	929 956	1,14	1,14	559 344	1,13
		1,19	635 355	1,14			
		1,26	1 673 170	1,25			

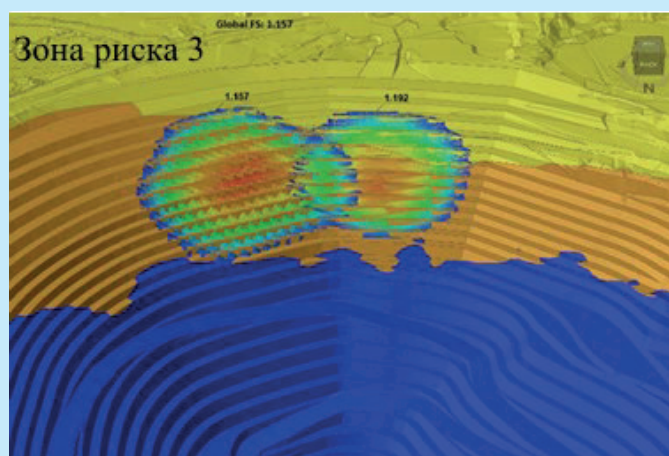
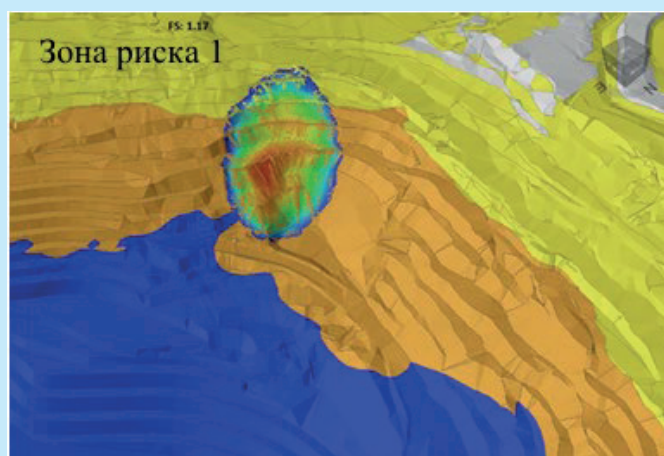


Рис. 6. Потенциальные обрушения по LOM-контру (Зоны риска 1 и 3).
Сурет 6. LOM контур бойынша ықтимал құлау (1 және 3 құлау аймақтар).
Figure 6. Potential collapses on weathered rock slopes (Risk zones 1 and 3).

постоянный мониторинг и меры по снижению рисков в указанных зонах.

Закключение

Исследование подтвердило, что комбинирование методов LEM и FEM является ценным подходом в анализе устойчивости откосов, особенно в сложных условиях месторождения Жайрем. В то время как LEM предоставляет достаточную точность для общей оценки устойчивости, FEM вносит дополнительную глубину в понимание процессов, особенно при наличии значительного воздействия подземных вод. Это исследование не только улучшает техническое понимание устойчивости склонов, но также предоставляет практические рекомендации для их укрепления, что способствует повышению безопасности на месторождении Жайрем.

Оба метода учитывают влияние подземных вод, регулярный мониторинг с применением этих методов помогает предотвратить обрушения. Сравнительный анализ показывает, что LEM дает более консервативные оценки, тогда как FEM точнее отражает сложные взаимодействия. Интеграция этих методов с данными наблюдений позволяет эффективно управлять рисками в условиях горных работ.

Благодарность

Статья опубликована по результатам научно-исследовательских работ, выполняемых в рамках проекта №AP19677938 «Создание метода прогнозирования сдвижения вмещающих пород до земной поверхности для модернизации технологии повторной разработки пологих рудных залежей», при грантовом финансировании Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Орынбаев Б.А., Алиев С.Б., Мырзахметов С.С. Сравнительный анализ методов оценки устойчивости откосов в изотропной среде // Горный журнал Казахстана. 2024. № 11. С. 40–46 (на русском языке)
2. Андреева О.Н., Кольцов П.В., Пыхтеева Н.Ф. Анализ устойчивости откосов карьера Западно-Озерный для обеспечения безопасности ведения горных работ // Проблемы недропользования. 2023. № 1. С. 32–40 (на русском языке)
3. Метод оценки масштабов распространения физических процессов в естественном напряженном состоянии массива / Таханов Д.К. [и др.] // Горный журнал Казахстана. 2023. № 11. С. 33–38 (на казахском языке)
4. Эргашев Н.Х., Шарипов Л.О. Анализ современных методов определения и оценки параметров устойчивых откосов бортов карьеров // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2025. Т. 2. № 131. С. 29–33 (на русском языке)
5. Ayob M. Оценка устойчивости склонов с использованием методов предельного равновесия и конечных элементов // International Journal of Advanced Science and Technology. 2019. Т. 28. № 18. С. 27–43 (на английском языке)
6. Bhandary R.P., Krishnamoorthy A., Rao A.U. Анализ устойчивости склонов с использованием метода конечных элементов и генетического алгоритма // Geotechnical and Geological Engineering. 2018. Т. 37. № 3. С. 1877–1889 (на английском языке)
7. Shi L., Wang H., Bai B., Li X. Совершенствованный метод предельного равновесия на основе конечных элементов для анализа устойчивости склонов с учетом нелинейных критериев прочности и его применение для оценки анкерного эффекта // International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics. 2019. Т. 43. № 2. С. 578–598 (на английском языке)
8. Afiri R., Gabi S. Анализ устойчивости склонов дамбы Souk Tleta методом конечных элементов с использованием техники уменьшения прочности // Innovative Infrastructure Solutions. 2018. Т. 3. № 1. С. 6–16 (на английском языке)
9. Saha B.K. Сравнительное исследование методов анализа устойчивости склонов: большие деформации методом конечных элементов и методы предельного равновесия // Memorial University Research Repository. 2017. С. 45–47 (на английском языке)
10. Zhang P., Liu L.L., Zhang S.H. Диаграммы анализа устойчивости склонов с использованием метода материальных точек, учитывающие коэффициент глубины для двухмерных когезивно-фрикционных склонов // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 2022. Т. 81. С. 42–44 (на английском языке)
11. Олжатаев О.К., Хамзе А.М. Разработка мероприятий по обеспечению устойчивости карьерных уступов и откосов // Материалы для академических и научных обзоров. 2024. № 5. С. 135–137 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Орынбаев Б.А., Алиев С.Б., Мырзахметов С.С. Изотропты ортада төбе тұрақтылығын бағалау әдістерін салыстырмалы талдау // Қазақстанның тау-кен журналы. 2024. № 11. Б. 40–46 (орыс тілінде)
2. Андреева О.Н., Кольцов П.В., Пыхтеева Н.Ф. Западно-Озерный карьерінің төбе тұрақтылығын талдау тау-кен жұмыстарын қауіпсіз жүргізуді қамтамасыз ету мақсатында // Табиғи ресурстарды пайдалану мәселелері. 2023. № 1. Б. 32–40 (орыс тілінде)
3. Табиғи кернеулі күйдегі массивтің физикалық процестерінің таралу ауқымын бағалау әдісі / Таханов Д.К. [және т. б.] // Қазақстанның тау-кен журналы. 2023. № 11. Б. 33–38 (қазақ тілінде)
4. Эргашев Н.Х., Шарипов Л.О. Карьер қырқаларының тұрақтылық параметрлерін анықтау және бағалау үшін қазіргі әдістерді талдау // Universum: техникалық ғылымдар: электронды ғылыми журнал. 2025. Т. 2. № 131. Б. 29–33 (орыс тілінде)
5. Ayob M. Төбе тұрақтылығын бағалау шекті теңе-теңдік және соңғы элементтер әдістерін қолдану арқылы // International Journal of Advanced Science and Technology. 2019. Т. 28. № 18. Б. 27–43 (ағылшын тілінде)
6. Bhandary R.P., Krishnamoorthy A., Rao A.U. Төбе тұрақтылығын талдау соңғы элементтер әдісі және генетикалық алгоритмдер қолдану арқылы // Geotechnical and Geological Engineering. 2018. Т. 37. № 3. Б. 1877–1889 (ағылшын тілінде)

7. Shi L., Wang H., Bai B., Li X. Нелинейлі беріктік критерийлерін ескере отырып, төбе тұрақтылығын талдау үшін соңғы элементтер әдісі негізінде жетілдірілген шекті тепе-теңдік әдісі және оның анкерлеу әсерін бағалауда қолданылуы // *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*. 2019. Т. 43. № 2. Б. 578–598 (ағылшын тілінде)
8. Afiri R., Gabi S. Souk Tleta бөгетінің төбе тұрақтылығын соңғы элементтер әдісі арқылы шекті беріктік азайту әдісімен талдау // *Innovative Infrastructure Solutions*. 2018. Т. 3. № 1. Б. 6–16 (ағылшын тілінде)
9. Saha B.K. Төбе тұрақтылығын талдауда үлкен деформациялар әдісі мен шекті тепе-теңдік әдістерін салыстыру // *Memorial University Research Repository*. 2017. Б. 45–47 (ағылшын тілінде)
10. Zhang P., Liu L.L., Zhang S.H. Тереңдік коэффициентінің әсерін ескере отырып, материалдық нүкте әдісімен екі өлшемді когезивті-фрикциялық төбе тұрақтылығын талдау диаграммалары // *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 2022. Т. 81. Б. 42–44 (ағылшын тілінде)
11. Олжатаев О.К., Хамзе А.М. Карьерлік қырқалар мен төбелердің тұрақтылығын қамтамасыз ету жөніндегі шараларды әзірлеу // Академиялық және ғылыми шолуларға арналған материалдар. 2024. № 5. Б. 135–137 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Orinbaev B.A., Aliev S.B., Myrzakhmetov S.S. *Sravnitel'nyi analiz metodov otsenki ustoychivosti otkosov v izotropnoi srede [Comparative Analysis of Slope Stability Assessment Methods in Isotropic Medium]*, *Gornyi zhurnal Kazakhstana [Mining magazine of Kazakhstan]*. 2024. No. 11. 40–46 pp. (in Russian)
2. Andreeva O.N., Kol'tsov P.V., Pykhiteeva N.F. *Analiz ustoychivosti otkosov kariiera Zapadno-Ozernyi dlia obespecheniia bezopasnosti vedeniia gornyykh rabot [Analysis of Slope Stability of the Zapadno-Ozernyi Quarry to Ensure Safety of Mining Operations]*, *Problemy nedropol'zovaniia [Problems of Subsurface Use]*. 2023. No. 1. 32–40 pp. (in Russian)
3. *Method for Estimating the Spread of Physical Processes in the Natural Stress State of the Massif /* *Takhanov D.K. [et al.] // Mining magazine of Kazakhstan*. 2023. No. 11. 33–38 pp. (in Kazakh)
4. Ergashev N.Kh., Sharipov L.O. *Analiz sovremennykh metodov opredeleniia i otsenki parametrov ustoychivyykh otkosov bortov kariierov [Analysis of Modern Methods for Determining and Assessing the Parameters of Stable Quarry Slopes]*, *Universum: tekhnicheskie nauki: elektron. nauchn. zhurn. [Universum: Technical Sciences: Electronic Scientific Journal]*. 2025. No. 131. 29–33 pp. (in Russian)
5. Ayob M. *Slope Stability Evaluations Using Limit Equilibrium and Finite Element Methods // International Journal of Advanced Science and Technology*. 2019. V. 28. No. 18. 27–43 pp. (in English)
6. Bhandary R.P., Krishnamoorthy A., Rao A.U. *Stability Analysis of Slopes Using Finite Element Method and Genetic Algorithm // Geotechnical and Geological Engineering*. 2018. V. 37. No. 3. 1877–1889 pp. (in English)
7. Shi L., Wang H., Bai B., Li X. *Improved finite element-based limit equilibrium method for slope stability analysis by considering nonlinear strength criteria and its application in assessing the anchoring effect // International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*. 2019. V. 43. No. 2. 578–598 pp. (in English)
8. Afiri R., Gabi S. *Finite element slope stability analysis of Souk Tleta dam by shear strength reduction technique // Innovative Infrastructure Solutions*. 2018. V. 3. No. 1. 6–16 pp. (in English)
9. Saha B.K. *A comparative study between large deformation finite element and limit equilibrium methods of slope stability analysis // Memorial University Research Repository*. 2017. 45–47 pp. (in English)
10. Zhang P., Liu L.L., Zhang S.H. *Material point method-based two-dimensional cohesive-frictional slope stability analysis charts considering depth coefficient effect // Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 2022. V. 81. 42–44 pp. (in English)
11. Olzhataev O.K., Khamze A.M. *Razrabotka meropriiatiy po obespecheniiu ustoychivosti kar'ernyykh ustupov i otkosov [Development of measures to ensure the stability of quarry benches and slopes]*, *Materialy dlya akademicheskikh i nauchnykh obzorov [Academics and Science Reviews Materials]*. 2024. No. 5. 135–137 pp. (in Russian)

Сведения об авторах:

Таханов Д.К., к.т.н., старший преподаватель кафедры «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых», Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, главный научный сотрудник ТОО «Научно-технический центр промышленной безопасности» (г. Караганда, Казахстан), takhanov80@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2360-9156>

Рымкулова А.Б., преподаватель кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, младший научный сотрудник ТОО «Научно-технический центр промышленной безопасности» (г. Караганда, Казахстан), arai-1995@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2116-6371>

Рахметов Б.Р., ведущий инженер, геотехник ТОО «Научно-технический центр промышленной безопасности» (г. Караганда, Казахстан), bekzad.rakhmetov@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0006-0929-190X>

Балпанова М.Ж., доктор Ph.D, директор ТОО «Научно-технический центр промышленной безопасности» (г. Караганда, Казахстан), balpanova86@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1513-5317>

Авторлар туралы мәліметтер:

Таханов Д.К., Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, «Геология және пайда қазбалар орынын барлау» кафедрасының т.ғ.к., аға оқытушысы, «Өнеркәсіптік қауіпсіздік ғылыми-техникалық орталығы» ЖШС бас ғылыми қызметкері (Қарағанды қ., Қазақстан)

Рымқұлова А.Б., Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Маркшейдерлік іс және Геодезия кафедрасының оқытушысы, «Өнеркәсіптік қауіпсіздік ғылыми-техникалық орталығы» ЖШС кіші ғылыми қызметкері (Қарағанды қ., Қазақстан)

Рахметов Б.Р., «Өнеркәсіптік қауіпсіздік ғылыми-техникалық орталығы» ЖШС жетекші геотехник инженері (Қарағанды қ., Қазақстан)

Балпанова М.Ж., Ph.D докторы, «Өнеркәсіптік қауіпсіздік ғылыми-техникалық орталығы» ЖШС директоры (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Takhanov D.K., Senior lecturer at the Department of Geology and exploration of mineral deposits, Abylkas Saginov University, Chief Researcher at Scientific and Technical Center for Industrial Safety LLP, Ph.D (Karaganda, Kazakhstan)

Rymkulova A.B., lecturer at the Department of Mining and Geodesy, Abylkas Saginov University, Junior Researcher at the Scientific and Technical Center for Industrial Safety LLP (Karaganda, Kazakhstan)

Rakhmetov B.R., a leading geotechnical engineer at Scientific and Technical Center for Industrial Safety LLP (Karaganda, Kazakhstan)

Balpanova M.Zh., Director of Scientific and Technical Center for Industrial Safety LLP, Ph.D (Karaganda, Kazakhstan)

Рудник The Mine

22–24 октября 2025, Екатеринбург

10-я международная выставка современных технологий, оборудования и спецтехники для горнодобывающей промышленности

одна из крупнейших горных выставок в России

МВЦ «Екатеринбург-ЭКСПО»
ЭКСПО-бульвар, дом 2
(342) 206-44-80

mine.proexpo.ru



официальная
поддержка:



Торгово-промышленная
палата Российской
Федерации



Правительство
Свердловской области



НП «Горнопромышленники
России»



2025
РОССИЯ

21—Й ГОРНЫЙ ФОРУМ И ВЫСТАВКА МАЙНЕКС РОССИЯ МАРАФОН ВОЗМОЖНОСТЕЙ

8 - 9 октября 2025 года,
Москва, Рэдиссон Славянская

УСЛОВИЯ УЧАСТИЯ



minexrussia.ru

Код МРНТИ 52.13.05

А.Ж. Имашев¹, *А.А. Мусин¹, Г.Т. Нуршайыкова², М. Рабатұлы¹¹Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан),²Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан)

ПРИМЕНЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Аннотация. В статье рассмотрено обоснование устойчивости откосов техногенных образований на основе результатов кинематического анализа. Исследование направлено на выявление вероятных режимов разрушения, включая плоское и клиновидное скольжение, а также гибкое и прямое опрокидывание с использованием данных стереографических проекций и геомеханических характеристик массива. Для анализа использованы современные методы геостатистики и структурной интерпретации данных, полученных в полевых условиях. Проведен детальный анализ системы трещин и определены параметры склонов, оказывающие ключевое влияние на устойчивость. Представленные результаты могут быть использованы при проектировании и мониторинге откосов в условиях открытых горных работ.

Ключевые слова: устойчивость откосов, кинематический анализ, техногенные образования, стереографическая проекция, плоское скольжение, клиновидное скольжение, опрокидывание.

Техногендік құрылымдардың тұрақтылығын бағалау үшін кинематикалық талдауды қолдану

Андатпа. Мақалада кинематикалық талдау нәтижелері негізінде техногендік түзілімдердің еңістерінің тұрақтылығын негіздеу қарастырылған. Зерттеу жазықтық және сына тәрізді сырғу, сондай-ақ икемді және тік аударылу сияқты ықтимал қирау режимдерін анықтауға бағытталған. Талдау стереографиялық проекциялар мен далалық жағдайда алынған геомеханикалық сипаттамалар деректерін пайдалана отырып жүргізілді. Жартасты массивтің жарықшақ жүйесі мұқият зерттеліп, еңістің тұрақтылығына әсер ететін негізгі параметрлер анықталды. Жұмыс зерттеулердің бірінші кезеңінің аралық нәтижелеріне негізделген және болашақта сандық модельдеу және практикалық ұсыныстарды әзірлеу арқылы толықтыру жоспарлануда. Ұсынылған нәтижелер ашық тау-кен жұмыстарында еңістерді жобалау және мониторинг жүргізу кезінде қолдануға болады.

Түйінді сөздер: еңіс тұрақтылығы, кинематикалық талдау, техногендік түзілімдер, стереографиялық проекция, жазықтық сырғу, сына тәрізді сырғу, аударылу.

Application of kinematic analysis for slope stability assessment of man-made formations

Abstract. The article focuses on the justification of the stability of slopes of man-made formations based on the results of kinematic analysis. The study aims to identify potential failure modes, including planar and wedge sliding, as well as flexural and direct toppling, using stereographic projections and geomechanical characteristics obtained from field data. A detailed analysis of the joint system of the rock mass was conducted, and key slope parameters affecting stability were determined. The work is based on intermediate results of the first stage of research, with further extension planned through numerical modelling and the development of practical recommendations. The results presented can be applied in the design and monitoring of slopes in open-pit mining conditions.

Key words: slope stability, kinematic analysis, man-made formations, stereographic projection, planar sliding, wedge sliding, toppling.

Введение

Обеспечение устойчивости техногенных образований, таких как отвалы вскрышных пород и хвостохранилища, представляет собой одну из приоритетных задач горнодобывающей отрасли. На устойчивость этих объектов оказывают влияние как геомеханические процессы, связанные с напряженно-деформированным состоянием массива, так и геодинамические факторы, включая сейсмические воздействия, самовозгорание и фильтрацию.

В научной практике Гапонов Ю.С. [1] акцентирует внимание на влиянии характеристик разрушенной горной массы на устойчивость отвалов. Преимуществом исследования является комплексность подхода, недостатком – ограниченность в условиях моделирования. Кутепова Н.А. с коллегами [2] рассматривают инженерные меры повышения устойчивости, включая применение геомембран. Хотя исследование практически ориентировано, оно требует дополнительной валидации в полевых условиях. Немов Н.А. и Бельш Т.А. [3] представляют ценные данные по устойчивости откосов в условиях Северо-Западного региона России, однако сосредоточены преимущественно на конкретном месторождении. Исследование Коврова О.С. и соавторов [4] ценно с точки зрения анализа подработанных оснований, но страдает от недостатка геостатистического обоснования.

Одним из наиболее информативных инструментов предварительной оценки является кинематический анализ, основанный на геометрическом сопоставлении ориентации откосов и структурных особенностей массива. Кинематический анализ позволяет выявить потенциаль-

но опасные направления и формы разрушения, такие как плоскостное скольжение, клиновидное смещение и опрокидывание блоков, исходя из реальной конфигурации систем трещин. Применение данного подхода особенно актуально для предварительного обоснования параметров откосов и разработки проектных рекомендаций по обеспечению устойчивости техногенных образований в сложных инженерно-геологических условиях.

За последние годы кинематический анализ прочно вошел в арсенал геомеханических исследований благодаря своей наглядности и способности быстро оценивать потенциально опасные зоны массива на основе ориентации откосов и систем трещин. Например, в работе Skagway et al. (2025) продемонстрирована эффективность интеграции стереографического кинематического анализа с географическими информационными системами для картирования зон потенциального обрушения откосов в горных районах США [5]. В исследовании Liu et al. (2023) выполнена комплексная геотехническая оценка устойчивости откосов автомобильных дорог в Китае с использованием кинематического анализа в сочетании с лабораторными и полевыми данными, что позволило обнаружить критические участки [6]. Kumar et al. (2025) показали преимущества совместного применения кинематического анализа и модифицированных эмпирических систем (SMR, CoSMR) для откосов Гималаев, подтвердив высокую чувствительность метода к ориентации склонов и трещиноватости [7]. Работы Singh et al. (2025) продемонстрировали значимость анализа геометрических параметров клиньев для прогнозирования клино-

видных разрушений на основе численного и физического моделирования [8].

Настоящая работа направлена на обоснование устойчивости техногенных образований с использованием кинематического анализа, проведенного на основе полевых данных о трещиноватости и пространственной конфигурации массивов. В статье рассмотрены основные принципы методики, приведены результаты анализа для типовых конфигураций откосов, а также даны рекомендации по практическому применению полученных выводов в проектной деятельности.

Методика исследований

Методология проведенного исследования базируется на комплексном подходе к оценке устойчивости техногенных образований с применением кинематического анализа. Основное внимание уделено обработке полевых данных о трещиноватости массива и пространственной конфигурации откосов, а также их интеграции в расчетную схему для выявления потенциальных механизмов разрушения.

Первым этапом стало выполнение инженерно-геологических изысканий, включавших описание и картирование систем трещин с фиксацией их пространственной ориентировки (азимута и угла падения), частоты, состояния поверхностей и заполнителей. Для повышения точности измерений использовались стереографические проекции, а обработка данных проводилась с применением специализированного программного обеспечения Dips.

Вторым ключевым этапом исследования стал кинематический анализ, в рамках которого выполнена проверка возможности развития следующих форм разрушения откосов:

- скользящее разрушение по плоскости (Planar Sliding);
- клиновидное скольжение (Wedge Sliding);
- гибкое и прямое опрокидывание (Flexural and Direct Toppling).

При этом учитывались различные конфигурации откосов (углы падения и азимут направления), значения угла внутреннего трения, а также боковые пределы возможного смещения. Анализ проводился с использованием стереографических проекций, что позволило визуализировать критические зоны и оценить вероятность реализации каждого из механизмов разрушения.

Результаты методологии легли в основу выявления наиболее опасных направлений и условий формирования неустойчивых блоков в техногенных образованиях и позволили обосновать рекомендации для проектирования и эксплуатации откосов.

Результаты

В ходе настоящего исследования выполнен комплексный геомеханический анализ массива горных пород с применением статистических, структурных и классификационных методов. Основное внимание уделено пространственной ориентировке систем трещин, определяемой на основе стереографических проекций [9].

На рис. 1 представлена стереографическая проекция трещиноватости массива горных пород. Стереосетка по-

строена по 436 ориентациям трещин с учетом взвешивания по Терцаги, что позволило выявить четыре доминирующие системы. Максимальная плотность концентрации полюсов составляет 46.95%, контуры плотности отображены по шкале Фишера. Линия падения откоса позволяет оценить возможные направления разрушения по существующим системам [10].

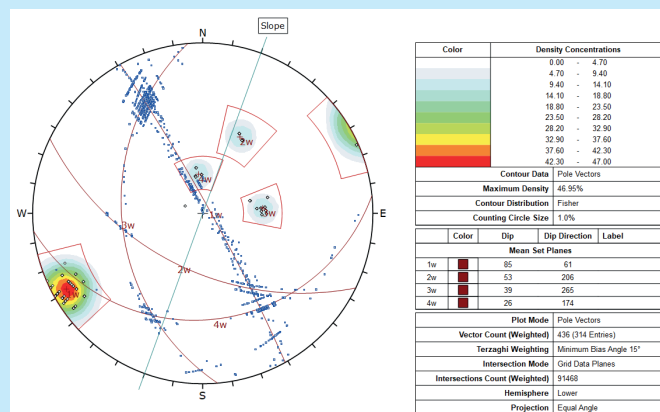


Рис. 1. Стереографическая проекция систем трещин. Сурет 1. Жарықшақ жүйелерінің стереографиялық проекциясы.

Figure 1. Stereographic projection of joint systems.

В таблицу 1 сведены средние значения параметров систем трещин, полученные в ходе геотехнического картирования угла и азимута падения трещин.

Таблица 1

Среднее значение систем трещин

Кесте 1

Жарықшақ жүйелерінің орташа мәндері

Table 1

Average values of joint systems

Обозначение систем	Угол падения (Dip), °	Азимут падения (Dip Direction), °
1w	85	61
2w	53	206
3w	39	265
4w	26	174

В настоящем исследовании для выполнения кинематического анализа использовалась программа Dips – профессиональный программный инструмент для обработки и интерпретации данных о трещиноватости на основе стереографических проекций. Методика реализована на основе теории кинематического соответствия направлений структурных плоскостей и склонов, что позволяет определить геометрическую возможность развития различных типов разрушения без учета внешней нагрузки.

На рис. 2 представлена стереографическая проекция, выполненная в программе Dips, отображающая результаты кинематического анализа на предмет плоского и клиновидного скольжения, а также гибкого и прямого опрокидывания.

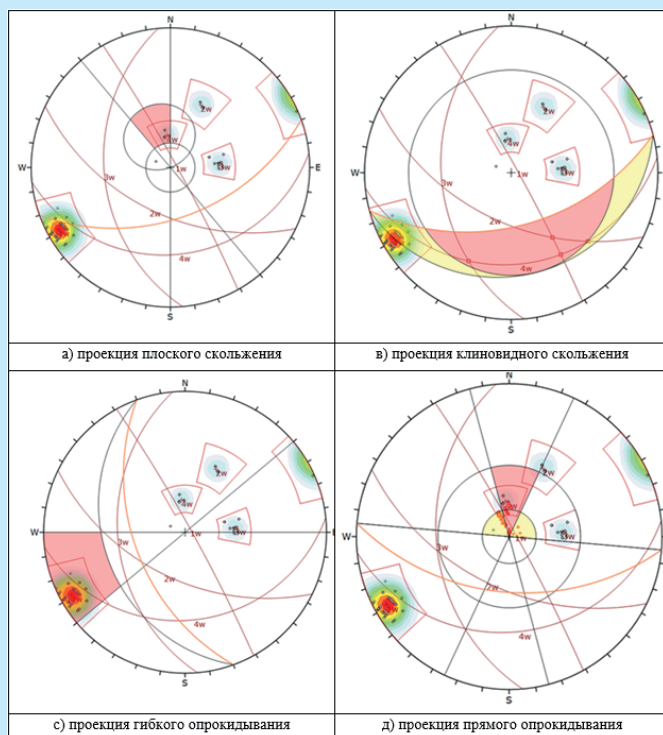


Рис. 2. Результаты кинематического анализа.

Сурет 2. Кинематикалық талдау нәтижелері.

Figure 2. Results of kinematic analysis.

На рис. 2 представлена стереографическая проекция, выполненная в программном комплексе Dips, которая иллюстрирует результаты кинематического анализа вероятных режимов разрушения откоса. Каждый вариант демонстрирует зоны критических положений системы трещин относительно направления падения и угла внутреннего трения, что позволяет визуализировать потенциальные опасные сочетания плоскостей для различных видов разрушения.

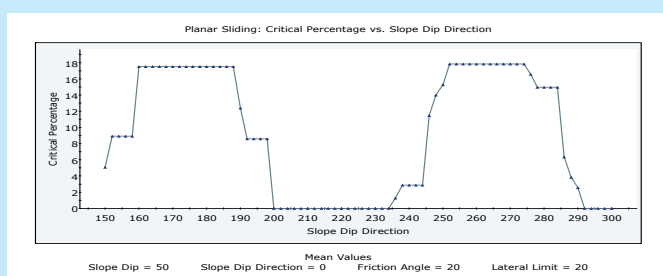


Рис. 3. Зависимость критического процента плоского скольжения от азимута простираения откоса.

Сурет 3. Жағдаудың бағыты азимутынан жазықтық сырғудың критикалық пайызының тәуелділігі.

Figure 3. Dependence of critical percentage of planar sliding on slope dip direction azimuth.

На графике (рис. 3) представлена динамика изменения вероятности развития плоского скольжения в зависимости от изменения направления падения откоса (Slope Dip Direction). Участки с пиковыми значениями критического процента (до 17–18%) приходятся на направле-

ния 165–185° и 250–275°, что согласуется с ориентацией доминирующих трещиноватых плоскостей, выявленных на стереопроекции. Данный график позволяет оценить потенциально опасные направления при проектировании откосов.

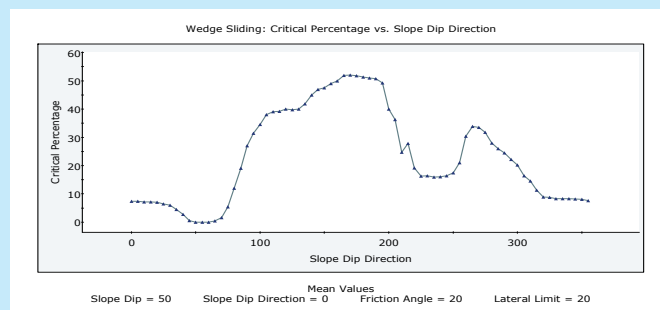


Рис. 4. График зависимости критической вероятности клиновидного скольжения от азимута направления откоса.

Сурет 4. Жағдаудың бағыты азимутынан сына тәрізді сырғудың критикалық ықтималдығының тәуелділік графигі.

Figure 4. Graph of dependence of critical probability of wedge sliding on slope dip direction azimuth.

Рис. 4 демонстрирует зависимость критического процента клиновидного скольжения от направления падения откоса. Максимальные значения (до 53%) достигаются при направлениях от 100° до 200°, что подтверждает чувствительность результатов к пространственной ориентации откоса. График четко указывает на наличие неблагоприятных направлений, в которых вероятность разрушения существенно возрастает.

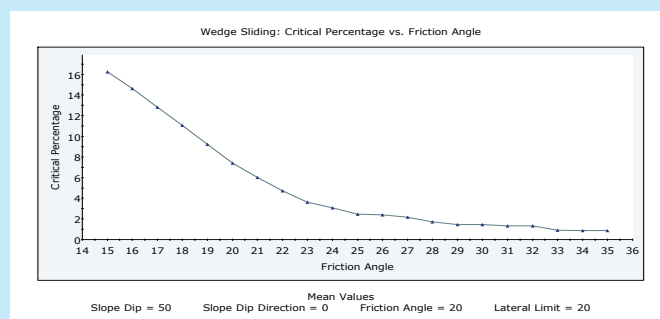


Рис. 5. Влияние угла внутреннего трения на вероятность клиновидного скольжения.

Сурет 5. Ішкі үйкеліс бұрышының сына тәрізді сырғу ықтималдығына әсері.

Figure 5. Influence of internal friction angle on probability of wedge sliding.

Рис. 5 отражает влияние внутреннего угла трения пород на вероятность возникновения клиновидного скольжения. Как видно, при снижении угла трения от 35° до 15° критический процент возрастает экспоненциально – от 1% до 16,5%. Это подчеркивает ключевую роль сдвиговой прочности пород в обеспечении устойчивости массива.

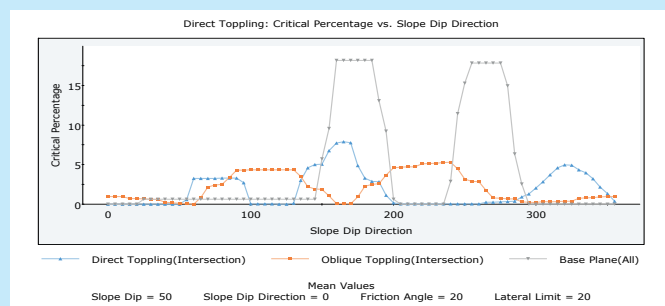


Рис. 6. Зависимость вероятности прямого опрокидывания от азимута направления откоса.
Сурет 6. Жағдаудың бағыты азимутынан тік аударылу ықтималдығының тәуелділігі.
Figure 6. Dependence of probability of direct toppling on slope dip direction azimuth.

На рис. 6 показано изменение вероятности разрушения в зависимости от направления падения откоса. Синим цветом обозначена вероятность прямого опрокидывания, оранжевым – косого, а серым – пересечения с плоскостью основания. Максимальная вероятность прямого и косого опрокидывания наблюдается при направлениях в диапазоне 170–190° и 250–270°, достигая до 18%. Это указывает на зоны повышенного риска в зависимости от ориентации откоса.

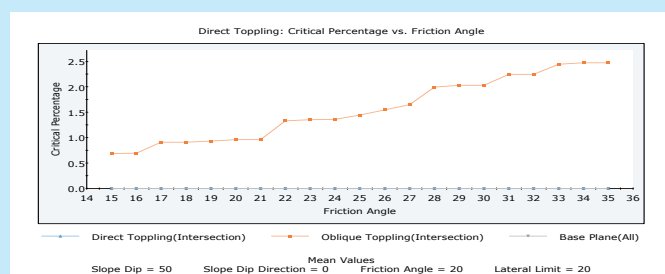


Рис. 7. Зависимость вероятности опрокидывания от угла внутреннего трения.
Сурет 7. Ішкі үйкеліс бұрышынан аударылу ықтималдығының тәуелділігі.
Figure 7. Dependence of toppling probability on internal friction angle.

На рис. 7 исследована чувствительность системы к углу внутреннего трения. Увеличение угла трения от 15° до 35° вызывает существенное снижение вероятности косого опрокидывания с 2,5% до менее 1%, в то время как прямая форма опрокидывания не демонстрирует значительной чувствительности к этому параметру.

Выводы

Проведенный кинематический анализ в программной среде Dips позволил выявить потенциальные направления и типы нарушений устойчивости откосов, обусловленные наличием трещиноватости в горном массиве. Используемая стереографическая проекция с параметрами откоса (угол падения 50°, варьирующееся направление падения, угол внутреннего трения 20°, боковые ограничения $\pm 20^\circ$) обеспечила достоверную визуализацию зон риска в рамках трех основных механизмов разрушения: скольжение по плоскости, клиновидное скольжение и опрокидывание – как гибкое, так и прямое.

Анализ плоскостного скольжения показал, что при направлении падения 160° вероятность критических пересечений составляет 14,83%, а при 230° – возрастает до 29,73%. Отдельные системы трещин показывают 100% пересечение с критической зоной, что указывает на их потенциальную нестабильность при соответствующей ориентации откоса.

Анализ клиновидного скольжения выявил, что 4 из 6 возможных клиновидных пересечений расположены в критической зоне (66,67%). Анализ зависимости критических пересечений от направления и угла падения откоса подтвердил, что максимальные риски наблюдаются при направлениях 100–200° и углах более 65°. Увеличение угла внутреннего трения значительно снижает вероятность разрушения, подтверждая его ключевую роль в обеспечении устойчивости.

Прямое опрокидывание оказалось менее выраженным по сравнению с другими механизмами, однако его нельзя исключать. Общая вероятность критических пересечений для Direct Toppling составляет 4,75%, а для Oblique Toppling – 3,16%. Плоскость основания также показала 15,54% пересечений, что подчеркивает необходимость анализа сопряженных плоскостей при оценке опрокидывания.

Полученные данные свидетельствуют о высокой чувствительности устойчивости откоса к ориентации склонов относительно структурных систем трещин. Максимальные риски фиксируются при направлениях откоса от 100° до 200°, особенно в сочетании с высокими углами падения и низкими значениями угла внутреннего трения. Эти результаты являются критически важными при инженерном обосновании откосов карьеров, отвалов, дамб и других инженерных сооружений в трещиноватых породах.

Благодарность

Статья опубликована в рамках конкурса на программно-целевое финансирование по научным, научно-техническим программам на 2024–2026 годы (ИРН – BR24992854), при финансировании Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гапонов Ю.С. Геомеханическое обоснование устойчивости породных отвалов с учетом влияния характеристик разрушенной горной массы: дис. ... канд. техн. наук: Москва, 2015. С. 25–26 (на русском языке)
2. Влияние на устойчивость отвалов гидроизоляции основания с применением геомембран / Кутепова Н.А. [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2025. № 1. С. 47–65 (на русском языке)

3. Немова Н.А., Бельш Т.А. Геомеханическая оценка устойчивости откосов и уступов месторождения «Олений Ручей» // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 11. С. 109–120 (на русском языке)
4. Ковров О.С., Бабий Е.В., Бубнова Е.А. Геомеханическая оценка устойчивости внутреннего отвала на подработанном основании борта карьера // Научный вестник НГУ. Серия: Геология и горное дело. 2022. № 3. С. 55–67 (на русском языке)
5. Skagway J., Miller D., Thompson R. Характеристика опасности камнепадов с использованием интегрированного кинематического анализа // EGU sphere. 2025. С. 2–3 (на английском языке)
6. Liu Y., Zhang L., Chen J. Геотехническая оценка устойчивости склонов с использованием кинематического анализа: пример с автодорогой в провинции Аньхой // Water. 2023. Т. 15 (10). С. 22–24 (на английском языке)
7. Kumar S., Sharma V., Singh R. Применение различных расширений рейтинга массива склонов и кинематического анализа для оценки устойчивости склонов вдоль трассы NH-9, Индия // Geoenvironmental Disasters. 2025. Т. 12. С. 15–18 (на английском языке)
8. Singh A., Verma P., Elmo D. Влияние геометрических параметров на клиновидное разрушение склонов // Journal of Rock Mechanics. 2025. Т. 50 (2). С. 145–160 (на английском языке)
9. Определение устойчивого состояния техногенных обнажений при отработке наклонных рудных залежей камерно-столбовой системой разработки / Мусин А.А. [и др.] // Горный журнал Казахстана. 2024. № 10. С. 6–12 (на русском языке)
10. Снижение разубоживания руды при отработке тонких рудных тел путем искусственного поддержания выработанного пространства / Мусин А. [и др.] // Mining of Mineral Deposits. 2023. Т. 17. № 1. С. 35–42 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Гапонов Ю.С. Жарықшақтанған тау жыныстарының сипаттамаларын ескере отырып, жыныс үйінділерінің тұрақтылығын геомеханикалық негіздеу: техникалық ғылымдар кандидаты ғылыми дәрежесін алу үшін диссертация: Мәскеу, 2015. Б. 25–26 (орыс тілінде)
2. Геомембраналарды қолдану арқылы үйінділердің негізін гидроқшаулау тұрақтылыққа әсері / Кутепова Н.А. [және т. б.] // Тау-кен ақпараттық-талдамалық бюллетені. 2025. № 1. Б. 47–65 (орыс тілінде)
3. Немова Н.А., Бельш Т.А. «Олений Ручей» кен орнының қиялары мен сатыларының тұрақтылығын геомеханикалық бағалау // Томск политехникалық университетінің хабаршысы. Георесурстар инжинирингі. 2019. Т. 330. № 11. Б. 109–120 (орыс тілінде)
4. Ковров О.С., Бабий Е.В., Бубнова Е.А. Карьер жиегінің өңделген негізіндегі ішкі үйіндінің тұрақтылығын геомеханикалық бағалау // НГУ ғылыми хабаршысы. Геология және тау-кен ісі сериясы. 2022. № 3. Б. 55–67 (орыс тілінде)
5. Skagway J., Miller D., Thompson R. Интеграцияланған кинематикалық талдау арқылы тас құлауы қаупінің сипаттамасы // EGU sphere. 2025. Б. 2–3 (ағылшын тілінде)
6. Liu Y., Zhang L., Chen J. Кинематикалық талдау қолдана отырып, еңістердің тұрақтылығын геотехникалық бағалау: Аньхой автожолы мысалында // Water. 2023. Т. 15 (10). Б. 22–24 (ағылшын тілінде)
7. Kumar S., Sharma V., Singh R. NH-9 бойындағы еңістердің тұрақтылығын бағалау үшін еңіс массасының рейтингін және кинематикалық талдау кеңейтулерін қолдану, Үндістан // Geoenvironmental Disasters. 2025. Т. 12. Б. 15–18 (ағылшын тілінде)
8. Singh A., Verma P., Elmo D. Тау жыныстарының қияларындағы сына тәрізді қирауларға геометриялық параметрлердің әсері // Journal of Rock Mechanics. 2025. Т. 50 (2). Б. 145–160 (ағылшын тілінде)
9. Камералық-бағаналық жүйемен еңіс рудалы денелерді өндіру кезінде техногендік ашылымдардың тұрақты жағдайын анықтау / Мусин А.А. [және т. б.] // Қазақстанның тау-кен журналы. 2024. № 10. Б. 6–12 (орыс тілінде)
10. Жұмыс істелген кеңістікті жасанды түрде ұстап тұру арқылы жұқа рудалы денелерді өндіру кезінде руданың кедейленуін азайту / Мусин А. [және т. б.] // Mining of Mineral Deposits. 2023. Т. 17. № 1. Б. 35–42 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Gaponov Yu.S. Gaponov Yu.S. Geomekhanicheskoe obosnovanie ustoichivosti porodnykh otvalov s uchetom vliyaniya kharakteristik razrushennoi gornoï massy: dis. ... kand. tekhn. nauk [Geomechanical justification of the stability of rock waste dumps considering the influence of fractured rock mass characteristics: dissertation ... candidate of technical sciences], Moscow, 2015. 25–26 pp. (in Russian)

2. *Vliyanie na ustoichivost' otvalov gidroizolyatsii osnovaniya s primeneniem geomembran [Influence of base waterproofing using geomembranes on dump stability]*, Kutepova N.A. [et al.], *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'* [Mining Information and Analytical Bulletin]. 2025. No. 1. 47–65 pp. (in Russian)
3. *Nemova N.A., Belsh T.A. Geomekhanicheskaya otsenka ustoichivosti otkosov i ustupov mestorozhdeniya «Olenii Ruchei» [Geomechanical assessment of slope and bench stability at the Oleniy Ruchey deposit]*, *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov* [Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Georesource Engineering]. 2019. V. 330. No. 11. 109–120 pp. (in Russian)
4. *Kovrov O.S., Babiy E.V., Bubnova E.A. Geomekhanicheskaya otsenka ustoichivosti vnutrennego otvala na podrobotannom osnovanii borta kar'era [Geomechanical assessment of the stability of an internal dump on a mined-out pit wall foundation]*, *Nauchnyi vestnik NGU. Seriya: Geologiya i gornoe delo* [Scientific Bulletin of NSU. Series: Geology and Mining]. 2022. No. 3. 55–67 pp. (in Russian)
5. *Skagway J., Miller D., Thompson R. Characterizing rockfall hazard with an integrated kinematic analysis // EGUsphere. 2025. 2–3 pp. (in English)*
6. *Liu Y., Zhang L., Chen J. Geotechnical assessment of rock slope stability using kinematic analysis: A case study along Anhui Highway // Water. 2023. V. 15 (10). 22–24 pp. (in English)*
7. *Kumar S., Sharma V., Singh R. Application of various extensions of slope mass rating and kinematic analysis for slope stability assessment along NH-9, India // Geoenvironmental Disasters. 2025. V. 12. 15–18 pp. (in English)*
8. *Singh A., Verma P., Elmo D. The effect of geometrical parameters on wedge failure of rock slopes // Journal of Rock Mechanics. 2025. V. 50 (2). 145–160 pp. (in English)*
9. *Opreделение ustoichivogo sostoyaniya tekhnogennykh obnazhenii pri otrabotke naklonnykh rudnykh zalezhei kamerno-stolbovoi sistemoi razrabotki [Determination of the stable state of man-made exposures during mining of inclined ore bodies by the chamber-and-pillar method]*, *Mussin A.A. [et al.], Gornyi zhurnal Kazakhstana* [Mining Journal of Kazakhstan]. 2024. No. 10. 6–12 pp. (in Russian)
10. *Reduction of ore dilution when mining low-thickness ore bodies by means of artificial maintenance of the mined-out area / Mussin A. [et al.] // Mining of Mineral Deposits. 2023. V. 17. 35–42 pp. (in English)*

Сведения об авторах:

Имашев А.Ж., Ph.D, асс. профессор кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), a.imashev@ktu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-9799-8115>

Мусин А.А., Ph.D, и.о. доцента кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), musin_aibek@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6318-9056>

Нұршайықова Г.Т., к.т.н., ассоциированный профессор школы наук о земле Восточно-Казахстанского технического университета им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан), ahmadievag@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9915-8315>

Рабатұлы М., Ph.D, и.о. доцента кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), mukhammedrakhym@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7558-128X>

Авторлар туралы мәліметтер:

Имашев А.Ж., Ph.D, «Пайдалы кенорындарын қазып өндіру» кафедрасының қауымдастырылған профессорі, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Мусин А.А., Ph.D, «Пайдалы қазбалар кен орындарын өңдеу» кафедрасының доцент м.а., «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Нұршайықова Г.Т., т.ғ.к., Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетінің Жер туралы ғылымдар мектебінің қауымдастырылған профессоры (Өскемен қ., Қазақстан)

Рабатұлы М., Ph.D, «Пайдалы қазбалар кен орындарын өңдеу» кафедрасының доцент м.а., «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Imashev A., Ph.D, associate professor of the Department «Development of mineral deposits» Non-profit joint-stock company «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Mussin A., Ph.D, acting Associate Professor of the Department «Development of mineral deposits» Non-profit joint-stock company «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Nurshaiykova G., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Faculty of Earth Sciences D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)

Rabatuly M., Ph.D, acting Associate Professor of the Department of «Development of Mineral Deposits» Non-profit Joint Stock Company «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ И ДОКАЗАННАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ



ME Elecmetal обладает знаниями, опытом и производственными возможностями для обеспечения вашего предприятия надежными и эффективными решениями в технологиях дробления и измельчения.



ME FIT Grinding

**Изнашиваемые детали для мельниц
и дробилок всех типов**

- | | |
|-----------------------|----------------|
| ■ Полусамоизмельчения | ■ Гирационных |
| ■ Самоизмельчения | ■ Щековых |
| ■ Шаровых | ■ Конусных |
| ■ Стержневых | ■ Вертикальных |

ME Elecmetal

тел.:

+7 914 880 4545
+7 777 247 0787
+1 778 875 7525

mongolia@me-elecmetal.com
www.me-elecmetal.com

Код МРНТИ 52.01.83

*O. Kurbonov¹, L. Atakulov¹, G. Akanova², D. Kramsakov²¹Navoiy State Mining Institute (Navoiy, Uzbekistan),²Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

INVESTIGATION OF VELOCITY MODES OF LIQUID FLOWS AROUND ELECTRIC MOTORS OF SUBMERSIBLE PUMPS

Abstract. Water supply and wastewater disposal are among the industries with intensive use of pumping equipment, the share of electricity consumed by pumps is more than 50% of the total energy consumption. One of the reasons for the decrease in technical and economic indicators of submersible pumping units is the failure of pump motors due to overheating during their operation. In this regard, the substantiation and development of methods of research and calculation of fluid flow parameters around the pump motor, is an urgent scientific and practical task. The aim of the work is to provide conditions of stable cooling of pump motors at which the temperature of electric motor windings will be within permissible limits. To achieve this goal, the task of developing a methodology for modelling the turbulent vortex fluid flow along the electric motor of a submersible pump is solved.

Key words: : flow velocity, liquid, submersible pump, electric motor, hydrodynamics, design optimisation, efficiency of operation, productivity, energy losses, liquid flow.

Суасты сорғыларының электр қозғалтқыштарының айналасындағы сұйықтық ағындарының жылдамдық режимдерін зерттеу

Аннотация. Сумен жабдықтау және су бұру сорғы жабдыктарын қарқынды пайдаланатын өнеркәсіп салаларына жатады, сорғылар тұтынатын электр энергиясының үлесі жалпы энергия тұтынудың 50%-дан астамын құрайды. Суасты сорғы қондырғылары жұмысының техникалық-экономикалық көрсеткіштерінің төмендеуінің себептерінің бірі сорғылардың Электр қозғалтқыштарының жұмыс процесінде қызып кетуіне байланысты істен шығуы болып табылады. Осыған байланысты сорғы қозғалтқышының айналасындағы сұйықтық ағынының параметрлерін зерттеу және есептеу әдістерін негіздеу және дамыту өзекті ғылыми және практикалық міндет болып табылады. Мақсатқа жету үшін суасты сорғысының электр қозғалтқышы бойымен сұйықтықтың турбулентті құйынды ағынын модельдеу әдісін әзірлеу міндеті шешілуде.

Түйінді сөздер: дизайнды оңтайландыру, жұмыс тиімділігі, өнімділік, энергия шығыны, сұйықтық ағыны.

Исследование скоростных режимов потоков жидкости вокруг электродвигателей погружных насосов

Аннотация. Водоснабжение и водоотведение относятся к отраслям промышленности с интенсивным использованием насосного оборудования, доля электроэнергии, потребляемой насосами, составляет более 50% от общего энергопотребления. Одной из причин снижения технико-экономических показателей работы погружных насосных установок является выход из строя электродвигателей насосов из-за перегрева в процессе их работы. В этой связи обоснование и развитие методов исследования и расчета параметров потока жидкости вокруг двигателя насоса является актуальной научной и практической задачей. Для достижения поставленной цели решается задача разработки методики моделирования турбулентного вихревого потока жидкости вдоль электродвигателя погружного насоса.

Ключевые слова: скорость потока, жидкость, погружной насос, электродвигатель, гидродинамика, оптимизация конструкции, эффективность работы, производительность, течение жидкости.

Introduction

The overall energy consumption in industries depends in no small measure on the performance of pumping equipment. The efficiency of a pumping station is often lower than the efficiency of the individual pumps installed in the station. The reason for the low energy efficiency is a mis-match in the operating characteristics of the equipment. To improve the efficiency of pumping plants, it is necessary to reduce the operating costs of the pumping equipment [1].

In an electric motor, during high efficiency operation, part of the electrical power input is used for heating. Heating the motor reduces its efficiency, which is often accompanied by power overruns. At the same time, cooling the motor increases the service life of the pump unit. Surface motors have a fan on the shaft, which cools the motor with air flow when the motor is switched on. Motors for borehole pumps have a different design, and they do not have a fan, but they also need to be cooled by any means during operation. When the motor is working in the well, usually the water temperature ranges from 8–14°C, and it is this water that will cool the motor [2]. Due to improper selection and operation of the pumping unit in some wells the motors are cooled normally, and in others they fail due to overheating. In surface motors, a fan creates sufficient airflow to extract the heat generated by the motor during operation. Similarly, well motors are cooled by the flow of the pumped fluid. A certain flow velocity around the pumping unit makes it possible to cool and operate the motors normally. In some cases, the fluid flow velocity along the submersible pump motor is not sufficient. In such cases, the liquid flow velocity can be

ensured by means of cooling shrouds. In addition, very often borehole pumps are used to supply water from tanks, cisterns or open ponds, where the use of cooling covers is mandatory. Manufacturers of borehole pumps specify in the technical data the minimum permissible liquid velocity for cooling the motor housing. Some manufacturers also specify the maximum operating time of the motor when the valve is closed [3].

Submersible pumps are used in demanding applications. They are constantly exposed to water pressure, vibration, high temperatures, abrasive particles, etc. Therefore, the pump units are manufactured with a large safety margin, but over time they develop various failures. The main failures of electric submersible pump units and their causes can be divided as follows:

1. Decrease in insulation resistance:

a. mechanical damage to the cable insulation when the submersible pump is lowered, due to violation of the rate of descent of the unit or presence of foreign objects in the well;

b. displacement of current carrying conductors of the ex-tension or main cable running to the check valve, due to poor installation during operation.

2. Infiltration of formation or purge fluid into the motor cavity, frontal part or outlet ends (non-tightness of mechanical seals, tightness failures in the places of current input or flange connection motor – waterproofing), due to vibration or atmospheric precipitation during installation.

3. Motor overheating due to violation of the cooling mode [4, 5].

The considered reasons of failure of electric motor of submersible pumps are connected mainly with its overheating.

Insufficient pump cooling occurs when a small diameter pump is installed in a well with too large a diameter or, even worse, in an open well [6]. When the well diameter is slightly larger than the pump, the water cools the motor housing, protecting it from overheating. It is recommended that the difference between the internal diameter of the borehole and the diameter of the pump should be at least 4 mm and not more than 100 mm. In addition, very often borehole pumps are used to supply water from tanks, cisterns or open ponds, where the use of cooling covers is mandatory. Cooling covers for submersible pumps allow a part of the pumped liquid or external liquid to circulate around the stator housing of the electric motor. In doing so, excess heat is absorbed by forced convection, providing effective cooling of the pump. They provide additional cooling of the motor when the pumped liquid is warm or the pumps have to run continuously. During the operation of a borehole pump, its service life is directly dependent on the cooling of the motor. Therefore, it is very important for the operation of a downhole pump to provide the necessary temperature and rational speed of the turbulent vortex fluid flow along the electric motor of the submersible pump [7].

Research methods

In practice, the surface temperature of some modern pump motors can reach 90°C (194°F). At elevated temperatures, many materials begin to char and become conductive. All materials become brittle from prolonged exposure to elevated temperatures long before charring, easily break down and lose their insulating properties. This process is called thermal ageing [8, 9, 10].

In most modern designs of submersible pumps their water intake part is located above the electric motor. This technical solution ensures high pump performance, but under some conditions (installation of a narrow pump in a well with too large a diameter) it can lead to overheating of the electric motor.

When the electric motor is located above the water intake part of the pump, the entire pump unit is mounted in a casing so that the flowing water cools the electric motor. This solution leads to a reduction of the impeller diameter, which in turn reduces the pump performance.

Increase of productivity can be achieved in a similar way by increasing the speed of rotation of the motor, but increasing the speed of rotation of the electric motor will require an increase in the frequency of the power supply network more than 50 Hz, which in turn prevents the motor speed from exceeding 3000 rpm. Therefore, today the task of eliminating the processes of overheating of submersible pump motors is urgent and in demand [11]. The set task is achieved by the fact that a cooling casing is installed on the upper part of the suction pipe of a submersible pump. When entering the device, the liquid passes close to the motor part, thus increasing the speed of the liquid flow entering the pump, improving the cooling process of the electric motor (Fig. 1.).

It is recommended to install cooling hoods when the cooling of the electric motor is insufficient [12]. This increases the life of the motor. Cooling covers are recommended when:

- the borehole pump is subjected to high thermal loads due to e.g. asymmetrical current consumption, dry running, overloads, high ambient temperatures and poor cooling;

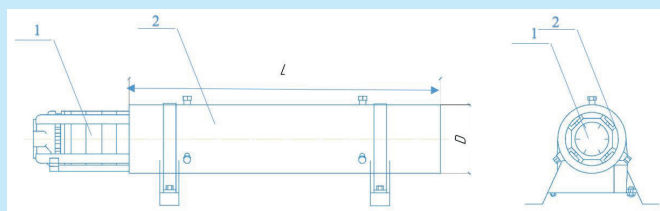


Figure 1. Schematic diagram of the pump unit cooling jack-et: 1 – pump; 2 – cooling jacket.

Сурет 1. Сорғы қондырғысының салқындатқыш көйлегінің схемасы: 1 – сорғы; 2 – салқындатқыш көйлек.

Рис. 1. Принципиальная схема рубашки охлаждения насосного агрегата: 1 – насос; 2 – охлаждающая рубашка.

- the pump is pumping corrosive liquids, as the corrosion rate doubles when the temperature rises by 10°C.

The discussion of the results

Figure 2 shows the general view of the process well and the principle of operation of the cooling shroud in wells. The device consists of an electric submersible pump unit (1), cooling shroud (2), suction pipe of the submersible electric pump (3), casing (4), process well (5), fluid bed (6), motor part of the submersible pump (7) and fluid flow (8). The cooling shroud is attached to the top of the suction pipe, with its length exceeding the length of the pump unit motor by 20–50 cm. A gap of 20–30 mm in diameter is left between the pump unit and the end of the blind pipe.

It is recommended to use a cooling jacket made of PVC material, as this type of material is low cost and lightweight

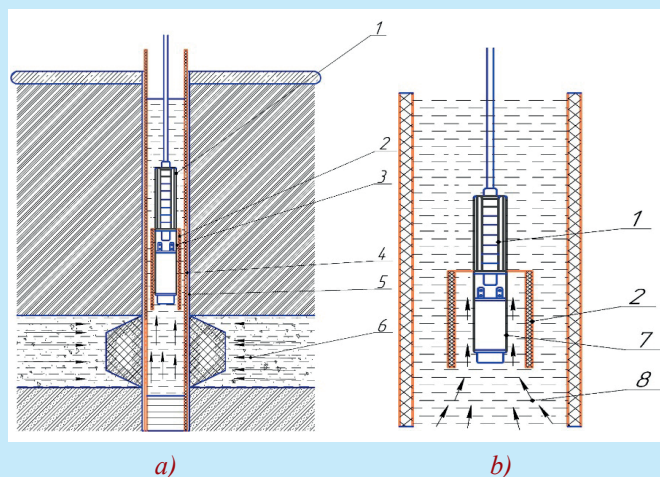


Figure 2. General view of the process well: a – scheme of installation of downhole submersible pump; b – principle of operation of submersible pump with cooling casing.

Сурет 2. Технологиялық ұңғыманың жалпы түрі:

а – ұңғыма суасты сорғысын орнату схемасы; б – салқындатқыш қаптамасы бар суасты сорғысының жұмыс принципі.

Рис. 2. Общий вид технологической скважины:

а – схема установки скважинного погружного насоса; б – принцип работы погружного насоса с охлаждающим кожухом.

compared to a stainless steel sheet construction, making it more cost effective.

By using a suction cooling shroud, the motor operates at a reduced temperature and does not overheat during continuous operation. During pump shutdowns, the cooling jacket absorbs residual heat from the motor, thus preventing thermal effects. This prolongs the intervals between the necessary cleaning of the well from mineral crust.

Danger of localised heating of the pump motor, especially in horizontal pump installations and where several units are located close to each other. In such cases, cooling hoods should always be used on the suction side.

Examples of options for installing cooling covers on submersible pumps installed in open water bodies, cisterns, tanks, wells and boreholes with inlets above the suction inlets, where cooling of the submersible pump motor is only provided by free convection, are shown in Figure 3.

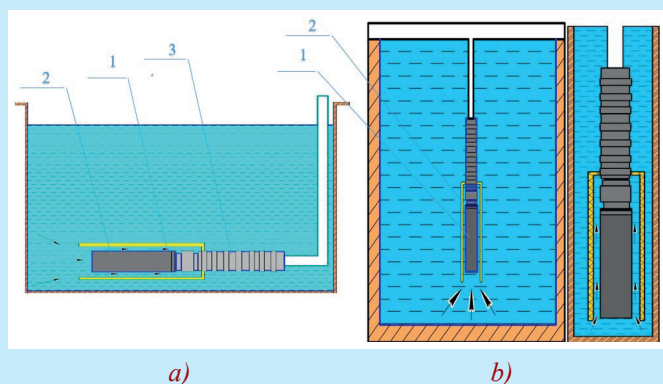


Figure 3. Examples of installation of the cooling jacket for: *a – horizontal installation of the pump; b – vertical installation of the pump; 1 – electric motor; 2 – cooling jacket; 3 – pump.*

Сурет 3. Салқындатқыш күртешені орнату мысалдары: *а – сорғыны көлденең орнату; б – сорғыны тік орнату; 1 – электр қозғалтқышы; 2 – салқындатқыш күрте; 3 – сорғы.*

Рис. 3. Примеры установки рубашки охлаждения для: *а – горизонтальной установки насоса; б – вертикальной установки насоса; 1 – электродвигатель; 2 – рубашка охлаждения; 3 – насос.*

If the flow velocity of the pump motor is less than that specified in the equipment data sheet, the use of cooling covers is mandatory.

The following formula is used to calculate the cooling rate:

$$v = \frac{353 \cdot Q}{D^2 - d^2} \text{ [m/s]},$$

Q – flow rate (minimum pump capacity is required for calculation), m³/h;

D – nominal diameter of the well, mm;

d – nominal diameter of the electric motor, mm.

At carrying out mathematical calculations and experimental works we have chosen 2 types of technological wells (well diameter Dsk = 159 mm and Dsk = 195 mm), 2 types of submersible pumps (USK408/42 pump motor diameter Ddv = 93 mm and URN 6 25/14 pump motor diameter Ddv = 145 mm).

As they are frequently used types of equipment at industrial enterprises. The results of the performed calculations are given in table 1.

Table 1
Types of submersible pumps

Кесте 1
Суасты сорғыларының түрлері

Таблица 1
Типы погружных насосов

Flow rate Q , m ³ /h	Well diameters Dsk, mm	Pump motor diameters Ddv, mm	Suggested diameters of cooling hoods, mm	Flow cooling velocities of motors, m/s
8	159	93	113	0,6
			123	0,43
			133	0,31
			143	0,23
			159	0,19
25	195	145	165	1,42
			170	1,12
			175	0,91
			180	0,77
			185	0,66
			195	0,51

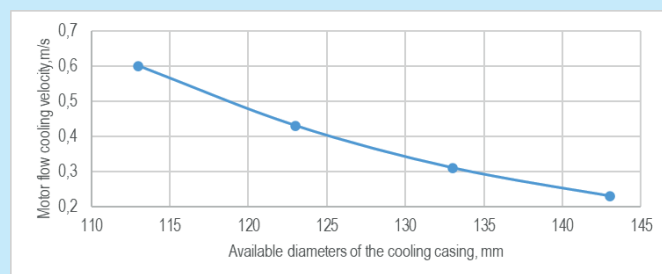


Figure 4. Dependence of change of flow cooling velocities on internal diameters of cooling casings (well diameter Dsk = 159 mm, pump motor diameter Ddv = 93 mm).

Сурет 4. Ағынның салқындату жылдамдығының өзгеруінің салқындатқыш қаптамалардың ішкі диаметрлеріне тәуелділігі (ұңғыманың диаметрі Bск = 159 мм, сорғының электр қозғалтқышының диаметрі Bдв = 93 мм).

Рис. 4. Зависимость изменения скоростей охлаждения потока от внутренних диаметров охлаждающих кожухов (диаметр скважины Dск = 159 мм, диаметр электродвигателя насоса Dдв = 93 мм).

The velocity of the liquid flow around the electric motor should be in the range from 0.15 to 3 m/s to ensure optimum operating conditions for the pump.

On the basis of the obtained data, studies were carried out by modelling the hydrodynamic processes during the operation of the submersible pump and the cooling shroud using the KOMPAS software package (Figure 6).

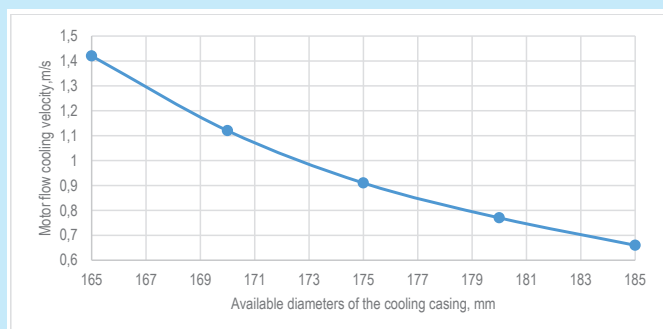


Figure 5. Dependence of flow cooling velocity variation on the internal diameter of the cooling casing (borehole diameter $D_{sk} = 195$ mm, pump motor diameter $D_{dv} = 145$ mm).

Сурет 5. Ағынның салқындату жылдамдығының өзгеруінің салқындатқыш корпусың ішкі диаметріне тәуелділігі (ұңғыма оқпанының диаметрі $D_{sk} = 195$ мм, сорғы қозғалтқышының диаметрі $D_{dv} = 145$ мм).

Рис. 5. Зависимость изменения скорости охлаждения потока от внутреннего диаметра охлаждающего кожуха (диаметр ствола скважины $D_{sk} = 195$ мм, диаметр двигателя насоса $D_{dv} = 145$ мм).

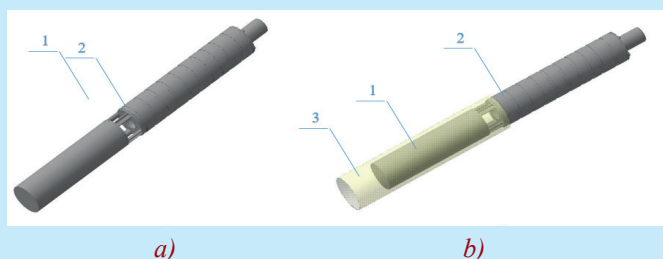


Figure 6. Submersible electric pump: a – general view of the submersible electric pump without cooling jacket; b – submersible electric pump with cooling jacket: 1 – electric motor; 2 – pump; 3 – cooling jacket.

Сурет 6. Суасты электр сорғысы: а – салқындатқыш жейдесіз суасты электр сорғысының жалпы көрінісі; б – салқындатқыш жейдесі бар суасты электр сорғысы: 1 – электр қозғалтқышы; 2 – сорғы; 3 – салқындатқыш жейде.

Рис. 6. Погружной электронасос: а – общий вид погружного электронасоса без рубашки охлаждения; б – погружной электронасос с рубашкой охлаждения: 1 – электродвигатель; 2 – насос; 3 – рубашка охлаждения.

Experimental work to investigate the changes in the flow cooling rate using the recommended cooling shroud was carried out using SolidWorks software. The obtained results are shown in Figure 7.

Analysis of the results shown in the graphs indicates that in order for the motor to cool normally, it is necessary to provide a certain speed of the fluid flow around it. This velocity can be achieved by means of cooling shrouds.

Conclusion

To establish the technical and economic efficiency of using the results of research on the application of the recommended

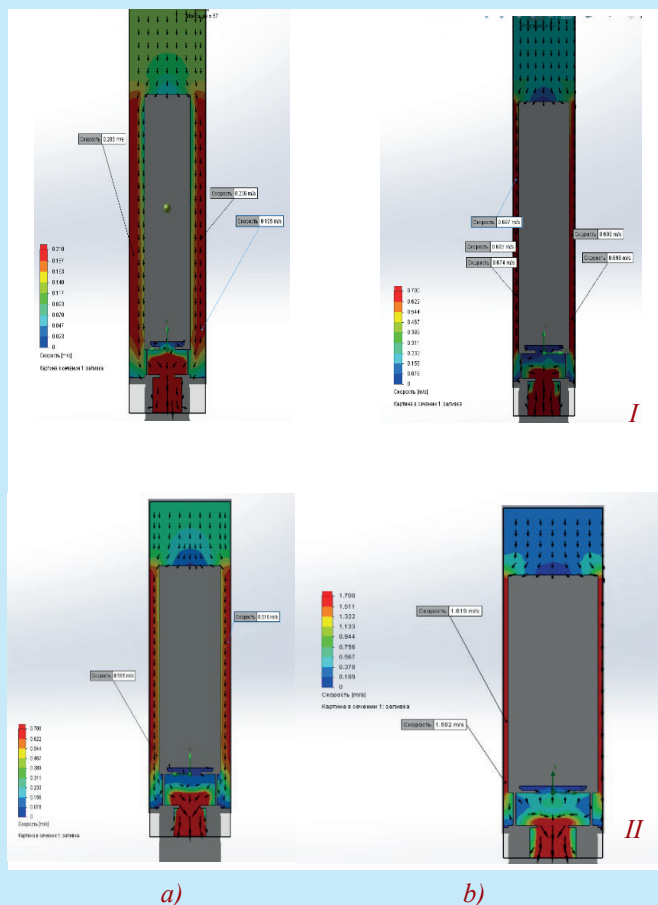


Figure 7. Results of experimental work in SolidWorks software. I – at borehole diameter $D_{sk} = 159$ mm, pump motor diameter $D_{dv} = 93$ mm; II – at borehole diameter $D_{sk} = 195$ mm, pump motor diameter $D_{dv} = 145$ mm; a – submersible electric pump without cooling casing; b – submersible electric pump with a cooling casing

Figure 7. Results of experimental work in SolidWorks software.

Сурет 7. SolidWorks бағдарламалық жасақтамасындағы эксперименттік жұмыстардың нәтижелері.

Рис. 7. Результаты экспериментальной работы в программе SolidWorks.

cooling device for submersible pump motors, the following calculations were made.

Annual power consumption of the used pumping equipment without application of the recommended cooling device of the submersible pump motor:

$$Wn_{oun op} = P_a \cdot EUR \cdot t = 7,4 \cdot 0,85 \cdot 8760 = 55100,4 \text{ kW}\cdot\text{h/year},$$

where:

P_a – actual capacity of pumping equipment at pump capacity $Q_{cr} = 8$ (m³/hour);

$EUR = 0.85$ equipment utilization rate over time;

$t = 8760$ operating time of pumping equipment relative to the billing period, hour/year.

Annual electricity consumption when using the recommended cooling device for the submersible pump motor:

$$W_{\text{prelim.ver}} = P_a \cdot EUR \cdot t = 7 \cdot 0,85 \cdot 8760 = 52122 \text{ kW}\cdot\text{h/year},$$

where:

P_a – actual capacity of pumping equipment at pump capacity $Q_{cr} = 8 \text{ (m}^3/\text{hour)}$;

$EUR = 0.85$ equipment utilization rate over time;

$t = 8760$ operating time of pumping equipment relative to the billing period, hour/year.

The electrical resistance of conductors increases with in-creasing temperature and decreases with decreasing temperature. At very low temperatures, the resistance of some metals and alloys drops to zero (superconductivity). When heated, the vibrations of metal ions in the nodes of the metal lattice increase, so the free space for the movement of electrons becomes smaller. The electrons are more likely to be thrown back, so the value of current decreases and the value of resistance increases, from this we can conclude that, when the temperature of the motor increases, the power consumption of the submersible pumping equipment increases [4].

Energy saving by using a cooling device for the submersible pump motor:

$$\Delta W = W_{\text{noun op}} - W_{\text{prelim.ver}} = 55100,4 - 52122 = 2978,4 \text{ kW}\cdot\text{h/year}.$$

Calculated data and obtained performance indicators of pumping units at application of submersible pump motor cooling device are given in Tables 2, 3, 4, and changes of energy efficiency of submersible pump motor cooling device application by years of operation are shown in Fig. 8.

Table 2
Capital cost per submersible pump

Суасты сорғысының күрделі шығындары

Капитальные затраты на погружной насос

Expenses	Thousand dollars
Cost of the submersible pump motor cooling unit	350
Installation work (17%)	60
Delivery to (10%)	35
Total amount in dollars:	445
Total amount in tenge:	217 572

As a result of the conducted researches it has been established that it is expedient and economically reasonable to install cooling covers in case of: insufficient cooling; high ambient temperature; pumping of aggressive liquid; sludge (deposits on the electric motor). At the same time, the cooling cover provides a longer life of the electric motor by increasing the velocity of the fluid flow along the motor and contributes to increasing the energy efficiency of the pumping unit by 5–7%.

Table 3
Costs per submersible pump

Бір суасты сорғысының құны

Затраты на один погружной насос

Name	Units of measurement	Per 1 submersible pump
Annual electricity consumption of the pumping equipment in use		
Annual electricity consumption	kWh/year	55100,4
Cost of 1 kWh of electricity including VAT	Dollars/kWh	450
Cost of consumed electricity	million USD/year	27,8
Annual electricity consumption by pumping equipment under the proposed variant		
Annual electricity consumption	kW·h/year	52122
Cost of 1 kWh of electricity including VAT	million Dollars/year	23,5
Electricity saving	million USD/year	4,3

Table 4
Calculation of cumulative cash flow and equipment payback period

Кумулятивтік ақша ағынын және жабдықтың өтелу мерзімін есептеу

Расчет кумулятивного денежного потока и срока окупаемости оборудования

Indicators of economic efficiency	Unit	Years				
		2024	2025	2026	2027	2028
Operating cost variance	Mln. Dollars	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3
Depreciation and amortisation	Mln. Dollars	-	0,9	0,9	0,9	0,9
Net profit	Mln. Dollars	4,3	3,4	3,4	3,4	3,4
Capital expenditure	Mln. Dollars	0,45	0,0	0,0	0,0	0,0
Net cash flow	Mln. Dollars	3,85	3,4	3,4	3,4	3,4
Cumulative cash flow	Mln. Dollars	3,85	7,25	10,65	14,05	17,45
Payback period	Year	2				

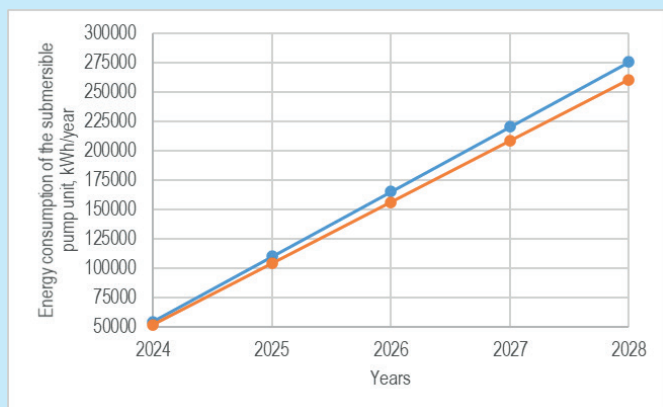


Figure 8. Change in energy efficiency of the application of the submersible pump motor cooler by year of operation.

Сурет 8. Пайдалану жылдары бойынша

суасты сорғысының электр қозғалтқышының салқындатқышын қолданудың энергия тиімділігін өзгерту.

Рис. 8. Изменение энергоэффективности применения охладителя электродвигателя погружного насоса по годам эксплуатации.

Cooling casing is a space formed between the body of the cooling casing and the stator surface of the electric motor in which there is a singlephase, turbulent, vortex motion of the fluid flow along the electric motor with convective heat exchange.

It has been experimentally established that there are several main reasons for the equipment of additional cooling jacket (cooling shrouds): to ensure the required fluid flow velocity; to prevent the formation of deposits of components (iron, manganese, fluid salts, bacteria or minerals, etc.) in the well water and to ensure uniform cooling of the electric motor; to reduce the growth of corrosive activity of water by eliminating the increase in temperature of the electric motor; to absorb heat and prevent the thermal effect.

The results of numerical simulation and experimental work performed to investigate the changes in the flow cooling rate using the recommended cooling casing allowed to characterise in detail the velocity fields around the pump unit, to identify the features of the hydrodynamic behaviour of the system and to establish the dependence of the change in the flow cooling rate on the internal diameter of the cooling casing.

Acknowledgments

The authors express their gratitude and appreciation to the staff and faculty of the departments: «Mining Electro-mechanics» Navoi State Mining and Technical University and «Technological Machines and Equipment» of the Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev for their assistance in discussing and writing the text of the article.

This research is funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (grant No. AP23489685).

REFERENCES

1. Jesus R. Rodriguez, Fathi Finaish, Shari Dunn-Norman. Parametric Study of Motor Shroud Heat Transfer Performance in an Electrical Submersible Pump (ESP) // *Journal Energy Resour. Technolog.* 2000. No. 122. 118–121 pp. (in English)
2. Egidi N., Maponi P., Misici L., Rubino S. A three-dimensional model for the study of the cooling system of sub-mersible electric pumps // *Mathematics and Computers in Simulation.* 2012. No. 82 (12). 2962–2970 pp. (in English)
3. Mohanty S., Maiti P., Dash S.K. Study of flow pattern around a submersible pump for analyzing the performance // *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT).* 2016. No. 5 (6). 45–50 pp. (in English)
4. Kurbonov O.M. Method of selection and operation of pumps with regulation of change of frequency of rotation of shaft of the submersible electric pumping equipment // *Scientific Enquiry in the Contemporary World: Theoretical Basics and Innovative Approach.* 2017. No. 9 (226). 112–118 pp. (in English)
5. Al-Salem K., Al-Dossary A. Computational fluid dynamics simulation of the flow around a submersible motor pump // *Journal of Fluids Engineering.* 2017. No. 139 (10). 1–11 pp. (in English)
6. O'Brien W., Tuzson J. Computational fluid dynamics analysis of a submersible water pump. *Proceedings of the 12th International Conference on Energy Sustainability and the ASME 2018 Nuclear Forum,* 2018. 1–8 pp. (in English)
7. Jain V.K., Gupta A. Numerical analysis of flow field around submersible pump motor // *International Journal of Engineering Research and Technology.* 2019. No. 8 (11). 230–235 pp. (in English)
8. Rao K.M., Vijay B. Computational fluid dynamics analysis of a submersible motor pump // *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT).* 2019. No. 8 (5). 150–155 pp. (in English)
9. Atakulov L.N., Kurbonov O.M. Research to improve the performance of pumping equipment // *Journal of Advances in Engineering Technology.* 2020. No. 1 (1). 25–30 pp. (in English)
10. Al.Rashidi, A., AlAnsari A., Radcliffe A. Shrouded Y-Tool application for optimum ESP system run life // *Proceedings of the International Petroleum Technology Conference.* 2020. 1–6 pp. (in English)

11. Heat dissipation of the Electrical Submersible Pump (ESP) installed in a subsea skid / Martins J.R. [et. al.] // *Oil & Gas Science and Technology – Revue d'IFP Energies nouvelles*. 2020. No. 75. 1–13 pp. (in English)
12. Choosing the flow part geometric shape of the dredge pumps for viscous fluids / Guldana Akanova G. [et. al.] // *Mining of Mineral Deposits*. 2021. No. 15 (4). 75–82 pp. (in English)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Jesus R. Rodriguez, Fathi Finaish, Shari Dunn-Norman. Электрлік суасты сорғысының (ESP) қозғалтқыш корпусындағы жылу алмасу өнімділігін параметрлік зерттеу // *Journal of Energy Resources Technology*. 2000. № 122. Б. 118–121 (ағылшын тілінде)
2. Edi N., Maroni P., Misici L., Rubino S. Суасты электр сорғыларының салқындату жүйесін зерттеуге арналған үш өлшемді модель // *Mathematics and Computers in Simulation*. 2012. № 82 (12). Б. 2962–2970 (ағылшын тілінде)
3. Mohanty S., Maiti P., Dash S.K. Суасты сорғысының айналасындағы ағын үлгісін зерттеу және оның өнімділігін талдау // *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*. 2016. № 5 (6). Б. 45–50 (ағылшын тілінде)
4. Kurbonov O.M. Суасты электр сорғы жабдықтарының білігінің айналу жиілігін реттеу арқылы сорғыларды таңдау және пайдалану әдісі // *Scientific enquiry in the contemporary world: theoretical basics and innovative approach*. 2017. № 9 (226). Б. 112–118 (ағылшын тілінде)
5. Al-Salem K., Al-Dossary A. Суасты қозғалтқыш сорғысының айналасындағы ағынды есептеуіш гидродинамикалық модельдеу // *Journal of Fluids Engineering*. 2017. № 139 (10). Б. 1–11 (ағылшын тілінде)
6. O'Brien W., Tuzson J. Суасты су сорғысын есептеуіш гидродинамикалық талдау // *12th International Conference on Energy Sustainability and the ASME 2018 Nuclear Forum*, 2018. Б. 1–8 (ағылшын тілінде)
7. Jain V.K., Gupta A. Суасты сорғы қозғалтқышының айналасындағы ағын өрісін сандық талдау // *International Journal of Engineering Research and Technology*. 2019. № 8 (11). Б. 230–235 (ағылшын тілінде)
8. Rao K.M., Vijay B. Суасты қозғалтқыш сорғысының есептеуіш гидродинамикалық талдауы // *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. 2019. № 8 (5). Б. 150–155 (ағылшын тілінде)
9. Atakulov L.N., Kurbonov O.M. Сорғы жабдықтарының өнімділігін арттыруға арналған зерттеу // *Journal of Advances in Engineering Technology*. 2020. № 1 (1). Б. 25–30 (ағылшын тілінде)
10. Al. Anoud, Al. Rashidi, Aminah AlAnsari, Alan Radcliffe. ESP жүйесінің оңтайлы қызмет ету мерзімі үшін жабық Y-құралды қолдану // *International Petroleum Technology Conference*, Дахран, 2020. Б. 1–6 (ағылшын тілінде)
11. Суасты тіреуішке орнатылған электрлік суасты сорғысының (ESP) жылу таратуы / Jonathan Ribeiro Martins [және т. б.] // *Oil Gas Sci. Technol.* 2020. № 75. Б. 1–13 (ағылшын тілінде)
12. Тұтқыр сұйықтықтар үшін драждық сорғылардың ағын бөлігі геометриялық пішінін таңдау / Akanova G. [және т. б.] // *Mining of Mineral Deposits*. 2021. № 15 (4). Б. 75–82 (ағылшын тілінде)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Jesus R. Rodriguez, Fathi Finaish, Shari Dunn-Norman. Параметрическое исследование эффективности теплообмена в корпусе двигателя электрического погружного насоса (ESP) // *Journal of Energy Resources Technology*. 2000. № 122. С. 118–121 (на английском языке)
2. Edi N., Maroni P., Misici L., Rubino S. Трехмерная модель для исследования системы охлаждения погружных электрических насосов // *Mathematics and Computers in Simulation*. 2012. № 82 (12). С. 2962–2970 (на английском языке)
3. Mohanty S., Maiti P., Dash S.K. Исследование схемы потока вокруг погружного насоса и анализ его производительности // *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*. 2016. № 5 (6). С. 45–50 (на английском языке)
4. Kurbonov O.M. Метод выбора и эксплуатации насосов с регулировкой частоты вращения вала погружного электронасосного оборудования // *Scientific enquiry in the contemporary world: theoretical basics and innovative approach*. 2017. № 9 (226). С. 112–118 (на английском языке)
5. Al-Salem K., Al-Dossary A. Численное моделирование потока вокруг погружного моторного насоса методом вычислительной гидродинамики (CFD) // *Journal of Fluids Engineering*. 2017. № 139 (10). С. 1–11 (на английском языке)
6. O'Brien W., Tuzson J. CFD-анализ погружного водяного насоса // *12-я Международная конференция по устойчивой энергетике и ядерному форуму ASME 2018*. С. 1–8 (на английском языке)

7. Jain, V. K., Gupta, A. Численный анализ поля потока вокруг двигателя погружного насоса // *International Journal of Engineering Research and Technology*. 2019. № 8 (11). С. 230–235 (на английском языке)
8. Rao K. M., Vijay B. CFD-анализ погружного моторного насоса // *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. 2019. № 8 (5). С. 150–155 (на английском языке)
9. Atakulov L.N., Kurbonov O.M. Исследование по повышению эффективности насосного оборудования // *Journal of Advances in Engineering Technology*. 2020. № 1 (1). С. 25–30 (на английском языке)
10. Al. Anoud Al. Rashidi, Aminah Al. Ansari, Alan Radcliffe. Применение закрытого Y-инструмента для оптимизации срока службы системы ESP // *Международная нефтяная технологическая конференция, Дахран*, 2020. С. 1–6 (на английском языке)
11. Теплоотвод от электрического погружного насоса (ESP), установленного на подводной раме / Jonathan Ribeiro Martins [и др.] // *Oil & Gas Science and Technology*. 2020. № 75. С. 1–13 (на английском языке)
12. Выбор геометрической формы проточной части шламовых насосов для вязких жидкостей / Akanova G. [и др.] // *Mining of Mineral Deposits*. 2021. № 15 (4). С. 75–82 (на английском языке)

Information about the authors:

Kurbonov O., Ph.D., Associate Professor, Department of Mining Electromechanics, Navoi State Mining Technological University (Navoi, Uzbekistan), oybek7001@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0000-7699-0520>

Atakulov L., Professor, Navoi Mining Institute (Navoi, Uzbekistan), laziz218@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3561-8850>

Akanova G.K., Doctor of Philosophy (Ph.D), Deputy Director of the Institute of Technology and Professional Development, Senior Lecturer of the Department of «Management and Mathematical Economics», Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan), kairatguldana8@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-7182-0386>

Kramsakov D.E., Master's and doctoral student of the «Technological Machines and Equipment» Department, Institute of Energy and Mechanical Engineering, Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan), kramsakov.d@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-4504-3392>

Авторлар туралы мәліметтер:

Курбонوف О., техника ғылымдары бойынша филос. докторы (Ph.D), Навои мемлекеттік тау-кен технологиялық университетінің «Тау-кен электромеханикасы» кафедрасының доценті (Навои қ., Өзбекстан)

Атакулов Л., техника ғылымдарының докторы ғылымдар, профессор, Навои мақала тау-кен институты (Навои қ., Өзбекстан)

Ақанова Г.К., Ph.D, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, Менеджмент және математикалық экономика кафедрасының аға оқытушысы (Алматы қ., Қазақстан)

Крамсаков Д.Е., Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті Энергетика және машина жасау институтының «Технологиялық машиналар және жабдықтар» кафедрасының магистранты, докторанты (Алматы қ., Қазақстан)

Сведения об авторах:

Курбонов О., д-р филос. по техн. наукам (Ph.D), доцент кафедры «Горная электромеханика» Навоийского государственного горно-технологического университета (г. Навои, Узбекистан)

Атакулов Л., DSc, профессор, заведующий кафедрой «Горная электромеханика» Навоийского государственного горно-технологического университета (г. Навои, Узбекистан)

Аканова Г.К., доктор философии (Ph.D), заместитель директора института технологий и профессионального развития, старший преподаватель кафедры «Менеджмент и математическая экономика» Казахского национального исследовательского технического университета им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан)

Крамсаков Д.Е., магистр, докторант кафедры «Технологические машины и оборудование» института Энергетики и машиностроения, Казахского национального исследовательского технического университета им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан)

Код МРНТИ 55.39.39

Ж.К. Татаева, К.К. Елемесов, *Д.Д. Басканбаева, Л.Б. Сабирава
Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

ГАЗ АЙДАУ СТАНЦИЯСЫНЫҢ БҰРАНДАЛЫ КОМПРЕССОРЫНЫҢ ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІН ОҢТАЙЛАНДЫРУ

Аннотация. Мақалада газ сорғы станцияларында қолданылатын бұрандалы компрессордың электр жетегінің тиімділігі мен сенімділігін арттыру мәселелері қарастырылады. Тұрақты ток қозғалтқышы негізіндегі электр жетегінің динамикалық сипаттамалары талданып, оның тікелей іске қосу мен жүктің кенет өзгерісі кезіндегі кемшіліктері анықталған. ПИД контроллерлерімен реттелетін басқару жүйесі әзірленіп, іске қосу токтарын шектеу, қысымның асып кетуін төмендету және жүйенің тұрақтылығын арттыру шаралары ұсынылған. Асинхронды қозғалтқышпен салыстырмалы модельдеу нәтижесінде оның артықшылықтары көрсетіліп, ұсынылған тәсілдің тиімділігі және сыртқы жағдайлардың әсеріне бейімделу үшін контроллер параметрлерін адаптивті реттеу қажеттілігі расталды. Айнымалы жиілікті жетектерді қолдану перспективалары мен жүйені толық ауқымды тестілеу қажеттілігі қорытындыланды.

Түйінді сөздер: бұрандалы компрессор, электр жетегі, басқару жүйесі, модельдеу, жиілікті реттеу, ПИД контроллері, газ айдау станциясы, автоматика.

Optimization of the Electric Drive of a Screw Compressor at a Gas Pumping Station

Abstract. The article addresses the enhancement of efficiency and reliability of the electric drive in screw compressors used at gas pumping stations. It analyzes the dynamic characteristics of a DC motor-based drive, identifying issues during direct startup and sudden load changes. A control system using PID controllers is developed to limit startup currents, reduce pressure overshoot, and improve system stability. Comparative modeling with an induction motor highlights its advantages, and the effectiveness of the proposed approach is confirmed. The need for adaptive tuning of controller parameters to address changing external conditions is emphasized. The article concludes with the prospects of variable frequency drives and the need for full-scale testing and integration with existing infrastructure.

Key words: screw compressor, electric drive, control system, modeling, frequency regulation, PID controller, gas pumping station, automation.

Оптимизация электропривода винтового компрессора газоперекачивающей станции

Аннотация. В статье рассматривается повышение эффективности и надежности электропривода винтового компрессора на газоперекачивающих станциях. Проанализированы динамические характеристики электропривода на базе двигателя постоянного тока независимого возбуждения, выявлены его недостатки при прямом пуске и резком изменении нагрузки. Разработана система управления с ПИД-регуляторами, обеспечивающая ограничение пусковых токов, снижение перерегулирования и повышение устойчивости. Проведено сравнительное моделирование с асинхронным двигателем, показавшее его преимущества. Моделирование подтвердило эффективность подхода и необходимость адаптивной настройки регуляторов для компенсации внешних условий. Сделан вывод о перспективах использования частотно-регулируемых приводов и необходимости дальнейших исследований для натурных испытаний и интеграции с инфраструктурой ГКС.

Ключевые слова: винтовой компрессор, электропривод, система управления, моделирование, частотное регулирование, ПИД-регулятор, газоперекачивающая станция, автоматизация.

Кіріспе

Табиғи газ ғаламдық энергетикалық жүйеде барған сайын маңызды рөл атқарады. Көмір мен мұнайға қарағанда экологиялық таза отын бола отырып, ол дүниежүзілік энергия тұтынудың маңызды бөлігін қамтамасыз етеді. Тұтынушыларды табиғи газбен қамтамасыз етудің ең маңызды кезеңі оны мыңдаған шақырымға созылатын магистральдық газ құбырлары арқылы тасымалдау болып табылады. Газды тиімді және сенімді тасымалдау елдердің энергетикалық қауіпсіздігі мен экономикалық дамуын қамтамасыз ету үшін стратегиялық маңызы бар.

Магистральдық газ құбыры инфрақұрылымының негізгі элементі құбырдағы қажетті қысымды ұстап тұруға және үздіксіз газ беруді қамтамасыз етуге арналған газ компрессорлық станциялары (ГКС) болып табылады. ГКС компрессорлық жабдықтың әртүрлі түрлерін пайдаланады, соның ішінде орталықтан тепкіш, поршеньді және бұрандалы компрессорлар. Газ сорғы станцияларына арналған бұрандалы компрессорлар өзінің жинақылығымен, жоғары сенімділігімен және өнімділіктің кең ауқымында жұмыс істеу қабілетімен ерекшеленеді [1].

ГКС тиімділігін арттырудың әртүрлі тәсілдері бар. Олардың бірі компрессорлық жабдықтың технологиялық жұмыс режимдерін оңтайландыру болып табылады. Бұл тәсіл ротор жылдамдығы, сору және шығару қысымы сияқты компрессордың оңтайлы жұмыс параметрлерін анықтау үшін күрделі математикалық модельдер мен алгоритмдерді қолдануды қамтиды. Дегенмен, бұл тәсіл айтарлықтай есептеу ресурстарын қажет етуі мүмкін және жұмыс жағдайындағы динамикалық өзгерістерді әрқашан ескермеуі мүмкін. Басқа тәсіл – технологиялық параметр-

лердің өзгеруіне жедел әрекет етуге және компрессорлық жабдықтың оңтайлы жұмыс жағдайларын сақтауға мүмкіндік беретін заманауи автоматты басқару жүйелерін пайдалану. Бұл тәсілдің артықшылығы – нақты уақыт режимінде айтарлықтай күрделі шығындарсыз ГКС тиімділігін арттыру мүмкіндігі. Дегенмен, мұндай жүйелерді әзірлеу және енгізу автоматты басқару саласындағы терең білімді және компрессорлық жабдықты пайдалану ерекшеліктерін талап етеді. Үшінші тәсіл ескірген үлгілерді заманауи және энергияны үнемдейтіндерге ауыстыру арқылы компрессорлық жабдықты жаңартуды қамтиды. Бұл тәсіл айтарлықтай инвестицияны қажет етеді, бірақ энергияны тұтынуды айтарлықтай азайтуға және газ компрессорлық станциясының сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Кемшіліктерге жаңа жабдықты қолданыстағы инфрақұрылымға біріктірудің қиындығы және жұмыстарды орындау үшін ұзақ уақыт тоқтау қажеттілігі жатады [2, 3].

Газ айдау станцияларындағы бұрандалы компрессорларды автоматтандыру газ тасымалдау жүйесінің тиімділігі мен сенімділігін арттырудың өзекті және маңызды бағыты болып табылады. Автоматтандырылған басқару жүйелері компрессорлардың технологиялық жұмыс режимдерін оңтайландыруға, энергияны тұтынуды азайтуға, жабдықтың сенімділігін арттыруға және пайдалану шығындарын азайтуға мүмкіндік береді. Бұрандалы компрессорларды басқарудың заманауи автоматты жүйелерін енгізу газ тасымалдау жүйесінің тұрақты және қауіпсіз жұмысын қамтамасыз ететін негізгі факторлардың бірі болып табылады. Автоматтандыру көрсетілген параметрлерді дәлірек ұстауды, адам факторының әсерін азайтуды және туындаған төтенше жағдайларға тез әрекет ету мүмкінді-

гін қамтамасыз етеді [4, 5]. Сонымен қатар, автоматтандырылған жүйелер жұмыс режимдерін оңтайландыру және компрессорлардың техникалық жағдайын болжау үшін қажетті жабдықтың жұмысы туралы деректерді жинауға және талдауға мүмкіндік береді. Өз кезегінде, бұл ресурстарды пайдаланудың тиімділігін арттыруға және қызмет көрсету мен жөндеу шығындарын азайтуға әкеледі [6].

Бұл жұмыстың мақсаты бұрандалы компрессор негізіндегі газ айдау қондырғысының электр жетегінің басқару жүйесін әзірлеу, технологиялық жұмыс режимдерін оңтайландыруды және жабдықтың сенімділігін арттыруды қамтамасыз ету болып табылады. Осы жұмыс шеңберінде газ айдау қондырғыларының электр жетектерін басқарудың қолданыстағы жүйелеріне талдау жүргізілді, бұрандалы компрессордың электр жетегінің математикалық моделі жасалды, бағынышты басқару жүйесі синтезделді, MATLAB Simulink ортасында басқару жүйесін цифрлық модельдеу жүргізілді. Жұмыс нәтижелері газ тасымалдау жүйесінің тиімділігі мен сенімділігін арттыратын газ сорғы станцияларының бұрандалы компрессорларын басқарудың заманауи автоматты жүйелерін әзірлеу және енгізу үшін пайдаланылуы мүмкін.

Әдістер мен материалдар

Бұл жұмыста алға қойылған мақсатқа жету үшін бұрандалы компрессор негізіндегі газ айдау қондырғысының электр жетегінің басқару жүйесінің тиімділігін әзірлеуге және бағалауға бағытталған эксперименттік және аналитикалық зерттеулер кешені жүргізілді. Жұмыстың тәжірибелік бөлімі MATLAB SimulinkR2017b ортасында басқару жүйесін цифрлық модельдеуден тұрды. Басқару объектісі Siemens 1GG5 631-5EV310-7NV5 тәуелсіз қоздырғыш тұрақты ток қозғалтқышы болды, ол супер зарядтағыш жетек ретінде таңдалды [8]. Модельдеу электр жетегінің әртүрлі жұмыс режимдері үшін жүргізілді, соның ішінде номиналды бұрыштық жылдамдықпен және жүктеме әсерінен бастап. Модельдеу мақсаты якорь тогы, бұрыштық жылдамдық және компрессор қысымындағы өтпелі процестерді бағалау, сонымен қатар басқару жүйесіндегі әлсіз нүктелерді анықтау болды.

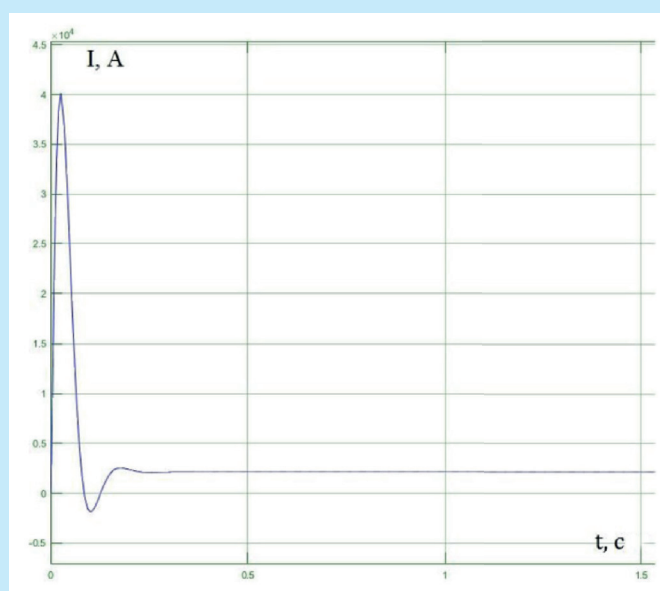
Сонымен қатар реттеуіш коэффициенттері, сүзгі параметрлері және жиілік түрлендіргіш сипаттамалары сияқты басқару жүйесінің әртүрлі параметрлерінің оның тиімділігіне әсер етуіне талдау жүргізілді. Бұл басқару жүйесінің параметрлерінің оңтайлы мәндерін анықтауға мүмкіндік берді, бұрандалы компрессордың ең жақсы өнімділігін қамтамасыз етеді, мысалы, энергияны аз тұтыну, жоғары сенімділік және жұмыс тұрақтылығы.

Нәтижелер және оларды талқылау

Жүргізілген зерттеуде газ айдау станцияларында (ГКС) қолданылатын бұрандалы компрессордың электр жетегі үшін басқару жүйесі әзірленді және бағаланды. Жүйеде болып жатқан процестерді егжей-тегжейлі талдау үшін якорь тогының, бұрыштық жылдамдықтың және компрессор жасаған қысымның өтпелі сипаттамалары өлшенді және жазылды. Бастапқы анықтамалық кернеу 10 В болды, ол компрессордың номиналды жұмыс режиміне сәйкес келді. Алынған графиктер жүйе динамикасын сандық

бағалауға және одан әрі оңтайландыруды талап ететін ықтимал кемшіліктерді анықтауға мүмкіндік берді [7].

Модельдеу нәтижесінде номиналды бұрыштық жылдамдықпен тікелей іске қосу кезінде қозғалтқыштың якорь тогы оның шамадан тыс жүктеме қабілетімен анықталған рұқсат етілген мәндерден айтарлықтай асып түсетіні анықталды. Токтың максималды мәні 5200 А-ға жетті, бұл 4664 А рұқсат етілген мәннен 11,5% жоғары (1-сурет). Бұл қозғалтқыштың шамадан тыс жүктелу қаупінің жоғарылығын және іске қосу токтарын шектеу бойынша шараларды жүзеге асыру қажеттілігін көрсетеді. Сонымен қатар, 25%-ға жеткен қысымның айтарлықтай асып кетуі байқалды. Бұл құбыр жүйесіндегі гидравликалық соққыларға, жабдықтың бұзылуына және газ компрессорлық станциясының жалпы сенімділігінің төмендеуіне әкелуі мүмкін. Жүйенің бұрыштық жылдамдықта тұрақты күйге жетуіне кететін уақыт 1,2 секундты құрады, бұл қолайлы көрсеткіш, бірақ оны жақсартуға да болады.



Сурет 1. Рұқсат етілген мәндердің асып кетуін көрсететін жеке қоздырғышпен (DCSM) тұрақты ток қозғалтқышын тікелей іске қосу кезінде якорь тогындағы өтпелі процесс.

Figure 1. Transient process of the armature current during direct start-up of a separately excited DC motor (DPT SE), showing the exceeding of permissible values.

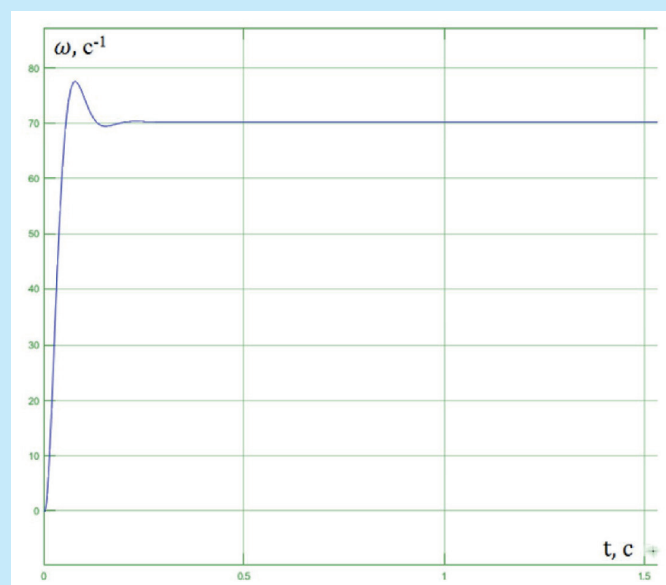
Рис. 1. Переходный процесс по току якоря при прямом пуске двигателя постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ), демонстрирующий превышение допустимых значений.

Салыстыру үшін ұқсас процесс модельденді, бірақ Danfoss VLT AutomationDrive FC 302 жиілігін реттейтін заманауи асинхронды қозғалтқыш қолданылды. Асинхронды қозғалтқыштар өздерінің қарапайымдылығы мен сенімділігіне байланысты компрессорлық станциялардың электр жетектерінің құрамында көбірек қолданылады. Жиіліктерді реттеу, өз кезегінде, қозғалтқыштың айналу жылдамдығын тегіс басқаруға және іске қосу токтарын азайтуға мүмкіндік береді. Бірдей іске қосу жағдайын-

да асинхронды қозғалтқыштың максималды статор тогы 3800 А болды, бұл тұрақты ток қозғалтқышынан 27% төмен. Қысымның асып кетуі де 15%-ға дейін төмендеді, ал тұрақты күйге жету уақыты 0,8 секундқа дейін қысқарды (2-сурет). Бұл бұрандалы компрессор жетектерінде айнымалы жиілікті жетектерді (VFD) пайдаланудың ықтимал артықшылықтарын көрсетеді.

Өзірленген жүйенің динамикалық сипаттамаларын жақсарту үшін бағынышты басқару әдісін (CPM) қолданатын басқару жүйесі синтезделді. Якорь тогы мен бұрыштық жылдамдықты реттеу тізбектерінің каскадты қосылуына негізделген бұл әдіс электр жетегінің жұмысын дәлірек және жылдам басқаруға мүмкіндік береді.

Реттегіштердің параметрлері модульдік оптимум принципі негізінде есептелді, ол якорь тогын астатикалық бақылауды және статикалық қатені азайтуды қамтамасыз етеді. Жоғары жиілікті тербелістерді басу үшін жылдамдықты реттеу тізбегіне төмен жиілікті сүзгі енгізілді, бұл жүйенің тұрақтылығын арттыруға мүмкіндік берді.



Сурет 2. Тұрақты ток қозғалтқышын тікелей іске қосу кезінде бұрыштық жылдамдықтағы ауысу процесі, тұрақты күйге жетуге кететін уақытты көрсетеді.

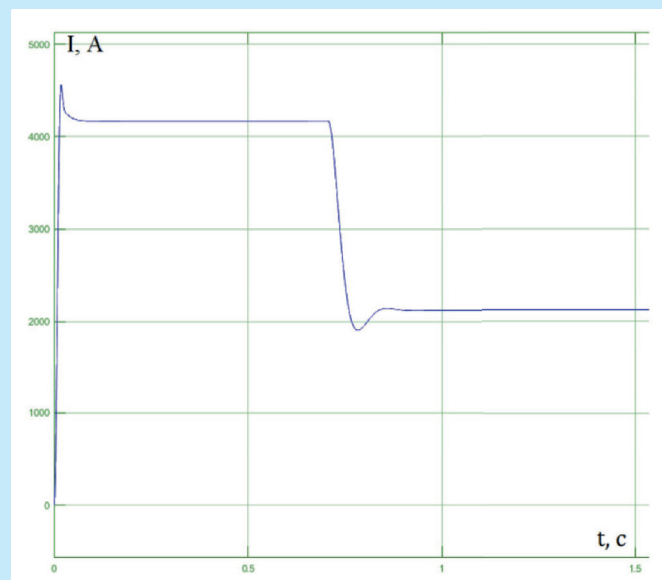
Figure 2. Transient process of angular velocity during direct start-up of a separately excited DC motor (DPT SE), showing the time to reach the steady-state mode.

Рис. 2. Переходный процесс по угловой скорости при прямом пуске ДПТ НВ, демонстрирующий время выхода на установившийся режим.

SPR жүзеге асырылғаннан кейін қайталанатын модельдеу нәтижелері динамикалық сипаттамалардың айтарлықтай жақсарғанын көрсетті. Арматураның максималды іске қосу тогы 4500 А-мен шектелді, бұл рұқсат етілген мәндер шегінде және қозғалтқыштың шамадан тыс жүктелуіне жол бермейді (3-сурет). Гидравликалық соққылар мен жабдықтың зақымдалу қаупін барынша азайтып, қысымның асып кетуі 5%-ға дейін төмендетілді. Жүйенің тұрақты күйдегі бұрыштық жылдамдыққа жетуіне кететін

уақыт 0,6 секундқа дейін қысқарды, бұл жүйенің жауап беру жылдамдығының жоғарылауын көрсетеді.

Дегенмен, бағынышты басқару жүйесін пайдалана отырып, 7,65 рад/с номиналды жылдамдықта іске қосуды модельдеу кезінде жүктемені күрт қолдану кезінде асып кету 20%-ға жеткені анықталды. Бұл газ компрессорлық станциясының нақты жұмыс жағдайларына тән айнымалы жүктемелер кезінде жүйенің тұрақты жұмысын қамтамасыз ету үшін контроллер параметрлерін одан әрі оңтайландыру қажеттілігін көрсетеді.



Сурет 3. Бағынышты басқару жүйесі бар төмен вольтты тұрақты ток қозғалтқышын іске қосу кезінде якорь тогының өтпелі процесі.

Figure 3. Transient process of the armature current during start-up of a separately excited DC motor (DPT SE) with a subordinate regulation system.

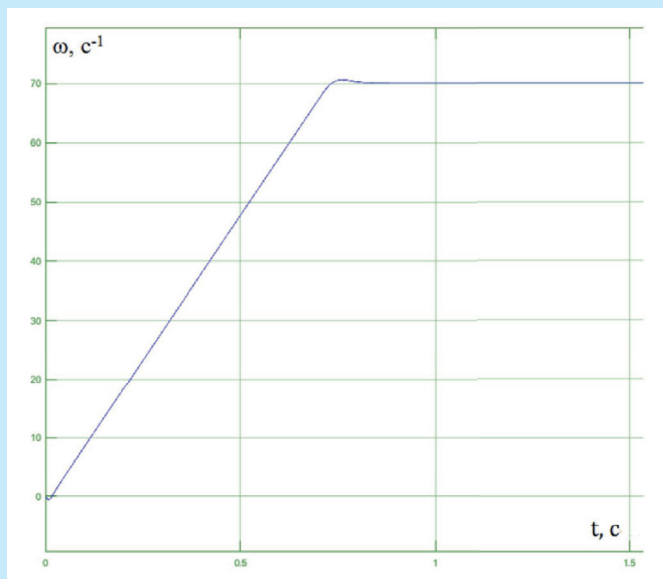
Рис. 3. Переходный процесс по току якоря при пуске ДПТ НВ с системой подчиненного регулирования.

Асинхронды қозғалтқышпен және Danfoss VLT AutomationDrive FC 302 жиілікті бақылаумен жүргізілген қосымша сынақтар PID контроллерлерін пайдалану тұрақты ток қозғалтқышының бағынышты басқару жүйесімен салыстырғанда номиналды жұмыс режиміне жеткенде өтпелі процестердің уақытын орта есеппен 15–20% қысқартуға мүмкіндік беретінін көрсетті (4-сурет). Бұл асинхронды қозғалтқыштың жоғары динамикасына және контроллер параметрлерін дәлірек реттеу мүмкіндігіне байланысты.

Өзірленген басқару жүйесінің мүмкіндіктерін неғұрлым толық зерттеу үшін газ сорғы станцияларының нақты жұмыс режимдерінің деректерін ескере отырып, асинхронды қозғалтқышпен қосымша модельдік сынақтар жүргізілді. Компрессордың кіріс және шығыс қысымының өзгеруі, газ температурасының өзгеруі және компрессор секцияларының бірінің кенеттен тоқтауы сияқты әртүрлі сценарийлер имитацияланды.

Біздің дерекқорымызда газ температурасы қыста -20°C-тан жазда +40°C-қа дейін өзгеруі мүмкін солтүс-

тік аймақтардағы компрессорлық станциялар туралы деректер бар. Модельдеу әзірленген басқару жүйесі осы факторлардың әсерін тиімді өтеуге және компрессордың тұрақты жұмысын қамтамасыз етуге қабілетті екенін көрсетті.



Сурет 4. Бағынышты басқару жүйесі бар төмен жылдамдықты тұрақты ток қозғалтқышын іске қосу кезінде бұрыштық жылдамдыққа өту процесі.
Figure 4. Transient process of angular velocity during start-up of a separately excited DC motor (DPT SE) with a subordinate regulation system.

Рис. 4. Переходный процесс по угловой скорости при пуске ДПТ НВ с системой подчиненного регулирования.

Алынған деректерді талдау нәтижесінде әртүрлі жұмыс режимдерінде бұрандалы компрессордың ең жақсы өнімділігін қамтамасыз ететін реттегіш параметрлерінің оңтайлы мәндері анықталды. Компрессордың көрсетілген жұмыс параметрлерін сақтауда жоғары дәлдікті қамтамасыз ету және өзгеретін сыртқы жағдайлардың әсерін өтеу үшін адаптивті коэффициентті реттейтін PID контроллерлерін пайдалану қажет екендігі анықталды. Бұл бейімдеу жүйенің оңтайлы өнімділігі мен қауіпсіздігін қамтамасыз ете отырып, ағымдағы жұмыс жағдайларына байланысты контроллердің параметрлерін автоматты түрде реттеуге мүмкіндік береді [9].

Алынған нәтижелерді газ айдау қондырғыларын автоматтандыру саласындағы басқа зерттеулердің мәліметтерімен салыстыру әзірленген басқару жүйесінің бәсеке-лестік сипаттамалары бар екенін көрсетті. Атап айтқанда, [10]-да алынған нәтижелер PID контроллері бар айнымалы жиілікті жетекті пайдалану дәстүрлі басқару жүйелерімен салыстырғанда компрессордың энергия шығынын 10–15%-ға азайтуды қамтамасыз ететінін көрсетеді. Біздің жұмысымыз сондай-ақ энергия тұтынуды 12% төмендетуге қол жеткізді, бұл ұсынылған тәсілдің тиімділігін растайды.

Сонымен қатар, әдебиет деректері мен жабдыққа арналған техникалық құжаттаманы талдау айнымалы жиілікті жетекті пайдалану энергияны тұтынуды азайтып

қана қоймай, компрессордың сенімділігін арттыратынын көрсетті. Қозғалтқыш жылдамдығын біркелкі өзгерту жабдыққа механикалық жүктемелерді азайтады, оның қызмет ету мерзімін арттырады. Айнымалы жиілікті жетегі қозғалтқышты шамадан тыс жүктемелерден және асқын кернеулерден қорғауды қамтамасыз етеді, газ тасымалдау жүйесінің қауіпсіздігін арттырады.

Жалпы, жүргізілген зерттеу газ сорғы станцияларында бұрандалы компрессорлардың электр жетектерін басқарудың заманауи жүйелерін қолдану мүмкіндігін растады. Дамыған басқару жүйесі үлкен экономикалық және экологиялық маңызы бар газ тасымалдау жүйесінің жұмысының тиімділігін, сенімділігін және қауіпсіздігін арттыруға мүмкіндік береді. Дегенмен, әзірленген жүйені іс жүзінде іске асыру үшін нақты бұрандалы компрессоры бар стендте толық ауқымды сынақтарды қоса алғанда, одан әрі зерттеулер жүргізу, сонымен қатар реттегіш параметрлерін бейімдеуші реттеу алгоритмдерін әзірлеу қажет.

Бұдан басқа, одан әрі зерттеулер әзірленген басқару жүйесін газ тасымалдау жүйесінің қолданыстағы автоматты басқару жүйелерімен біріктіруге, сондай-ақ басқару жүйесімен жиналған деректер негізінде бұрандалы компрессорлардың техникалық жағдайын болжау алгоритмдерін әзірлеуге бағытталуы тиіс екенін атап өту маңызды. Бұл жабдыққа проактивті техникалық қызмет көрсетуге көшуге мүмкіндік береді және апаттық тоқтау қаупін азайтады, бұл сайып келгенде, газ тасымалдау жүйесінің сенімділігі мен тиімділігін арттыруға әкеледі.

Қорытынды

Жүргізілген зерттеу газ айдау станцияларында қолданылатын бұрандалы компрессорлардың электр жетектерін басқару жүйесін әзірлеу және оңтайландыруда цифрлық модельдеудің тиімділігін көрсетті. Модельдеу нәтижесінде алынған өтпелі процестерді талдау басқару жүйесіндегі әлсіз жерлерді анықтауға, сонымен қатар әртүрлі типтегі электр жетектерін және басқару әдістерін қолданудың артықшылықтарын бағалауға мүмкіндік берді. Контроллер параметрлерін кейіннен оңтайландырумен бағынышты басқару жүйесінің синтезі электр жетегінің динамикалық сипаттамаларын айтарлықтай жақсартуға және оның кедергі келтіретін әсерлерге төзімділігін арттыруға мүмкіндік берді. Жұмыстың нәтижелері нақты газ компрессорлық станцияларында тиімді автоматты басқару жүйесін әзірлеу және енгізу үшін пайдаланылуы мүмкін, бұл газ тасымалдау жүйесінің сенімділігі мен энергия тиімділігін арттыруға көмектеседі.

Бұрандалы компрессордың электр жетегін басқару үшін бағынышты басқару жүйесін (БҚЖ) пайдалану жүйесінің динамикалық сипаттамаларын айтарлықтай жақсартуға мүмкіндік берді. Атап айтқанда, қысымның асып кетуін 5%-ға дейін төмендетуге, арматураның іске қосу тоғын рұқсат етілген мәндерде (4500 А) шектеуге және тұрақты күйдегі бұрыштық жылдамдыққа жету уақытын 0,6 секундқа дейін қысқартуға қол жеткізілді.

LV тұрақты қозғалтқышының Danfoss VLT Automation-Drive FC 302 айнымалы жиілікті асинхронды қозғалтқышымен модельдеу нәтижелерін салыстыру соңғысының төменгі іске қосу тоғы (3800 А), төмен қысымның асып кетуі (15%) және тұрақты күйге жету үшін қысқа уақыт

(0,8 секунд) сияқты ықтимал артықшылықтары бар екенін көрсетті. Бұл бұрандалы компрессорларға арналған электр жетектері ретінде ауыспалы жиілікті жетектерді (VFD) енгізуге бағытталған әрі қарайғы зерттеулердің орындылығын көрсетеді.

Бұрандалы компрессордың белгіленген жұмыс параметрлерін сақтауда жоғары дәлдікті қамтамасыз ету және өзгеретін сыртқы жағдайлардың (кіру және шығыс қысымы, газ температурасы) әсерін өтеу үшін адаптивті коэффициентті реттейтін PID контроллерлерін пайдалану қажет. Адаптивті баптау ағымдағы жұмыс жағдайларына байла-

нысты контроллердің параметрлерін автоматты түрде реттеуге мүмкіндік береді, жүйенің оңтайлы өнімділігі мен қауіпсіздігін қамтамасыз етеді, бұл жүргізілген модельдеу және әдебиет деректерін талдау нәтижелерімен расталады.

Алғыс

Зерттеу Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің қаржылық қолдауымен № BR24992956 «Газды сығымдау үшін инновациялық жабдықтар мен технологияларды әзірлеу және құру» тақырыбы аясында жүзеге асырылды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Панкратов В.В. Электр жетектерін автоматты басқару: оқулық. нұсқаулық / В.В. Панкратов. I бөлім. Тұрақты ток электр жетектерінің координаталарын реттеу: Новосибирск: НМТУ, 2013. Б. 200 (орыс тілінде)
2. Aristides M. Bonanos. Тұзсыздандыруға арналған термокомпрессорды физикалық модельдеу // Тұзсыздандыру. 2017. Т. 412. Б. 13–19 (ағылшын тілінде)
3. Шаммазов А.М. Сорғы және компрессорлық станцияларды жобалау және пайдалану: ЖОО-ға арналған оқу құралы: М.: ООО Недра-Бизнес-центр, 2003. Б. 404 (орыс тілінде)
4. Коршак А.А. Магистральдық газ құбырларының компрессорлық станциялары: оқу құралы: Ростов н/Д: Феникс, 2016. Б. 157 (орыс тілінде)
5. Корж В.В. Сорпа-компрессорлық станциялардағы жабдықтарды пайдалану және жөндеу: оқу құралы. нұсқаулық / В.В. Корж, А.В. Сальников. Ухта: УСТУ, 2010. Б. 184 (орыс тілінде)
6. Ahmad K. Sleiti. Экспандер компрессорлық қондырғымен басқарылатын жаңа термомеханикалық тоңазытқыш жүйесінің өнімділігін эксперименттік зерттеу. / Ahmad K. Sleiti [және т. б.] // Қолданбалы жылу инженерингі. 2022. Б. 212 (ағылшын тілінде)
7. Tao Wang, Qiang Qi, Wei Zhang, Dengyi Zhan. (23 сәуір, 2023 жыл). BP нейрондық желісіне және генетикалық алгоритмге негізделген бұрандалы компрессор профилінің параметрлерін оңтайландыруды зерттеу. <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/9/3632> (ағылшын тілінде)
8. Chongyuan Shui, Ruifan Shao, Shulong Wei, Hongjun Li, Dengji Zhou and Linfeng Xu. Ірі газ құбырлары үшін компрессорлардың жұмысын бақылау және оңтайландыру әдісі // Энергетикалық интернет және интерактивті энергетикалық технологиялар бойынша 2-ші халықаралық конференция, «Физика журналы: конференциялар сериясы», Нанкин, 2023. Сер. 2567 012002 (ағылшын тілінде)
9. Иванов И.И. Газ айдау қондырғыларының электр жетектерін басқарудың заманауи жүйелері // Өнеркәсіптегі автоматтандыру. 2020. № 5. Б. 45–50 (орыс тілінде)
10. Ahmad K. Sleiti, Mohammed Al-Khawaja, Wahib A. Al-Ammari. Төмен сортты жылумен жұмыс істейтін изобарикалық кеңейткіш компрессорлық қондырғысы бар біріктірілген термомеханикалық жүйесі-жобалау және талдау // Халықаралық баламалы журналы. 2020. Т. 120. Б. 39–49 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Pankratov V.V. Avtomaticheskoe upravlenie elektroprivodami: ucheb. posobie [Automatic Control of Electric Drives: Study Guide], V.V. Pankratov. Part I. Regulirovanie koordinat elektroprivodov postoyannogo toka [Regulation of Coordinates of DC Electric Drives], Novosibirsk: NGTU, 2013. 200 p. (in Russian)
2. Aristides M. Bonanos. Physical Modeling of Thermo-Compressor for Desalination Applications // Desalination. 2017. V. 412. 13–19 pp. (in English)
3. Shammazov A.M. Proektirovanie i ekspluatatsiya nasosnykh i kompressornykh stantsii: uchebnik dlya vuzov [Design and Operation of Pumping and Compressor Stations: Textbook for Universities], Moscow: ООО «Nedra-Biznestsentr», 2003. 404 p. (in Russian)
4. Korshak A.A. Kompessornye stantsii magistral'nykh gazoprovodov: uchebnoe posobie [Compressor Stations of Main Gas Pipelines: Study Guide], Rostov on Don: Feniks, 2016. 157 p. (in Russian)
5. Korzh V.V. Ekspluatatsiya i remont oborudovaniya nasosnykh i kompressornykh stantsii: ucheb. posobie [Operation and Repair of Pumping and Compressor Station Equipment: Study Guide], V.V. Korzh, A.V. Salnikov. Uhta: UGTU, 2010. 184 p. (in Russian)
6. Experimental Investigation on the Performance of a Novel Thermo-Mechanical Refrigeration System Driven by an Expander-Compressor Unit / Ahmad K. Sleiti [et al.] // Applied Thermal Engineering. 2022. 212 p. (in English)
7. Tao Wang, Qiang Qi, Wei Zhang, Dengyi Zhan. (April 23, 2023). Research on Optimization of Profile Parameters in Screw Compressor Based on BP Neural Network and Genetic Algorithm. <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/9/3632> (in English)
8. Chongyuan Shui, Ruifan Shao, Shulong Wei, Hongjun Li, Dengji Zhou, Linfeng Xu. Compressor Operation Monitoring and Optimization Method for Large-scale Natural Gas Pipelines // 2nd

International Conference on the Energy Internet and Energy Interactive Technology «Journal of Physics: Conference Series», Nanjing, 2023. Conf. Ser. 2567 012002 (in English)

9. *Ivanov I.I. Sovremennye sistemy upravleniya elektroprivodami gazoperekachivayushchikh agregatov [Modern Control Systems for Electric Drives of Gas Pumping Units], Avtomatizatsiya v promyshlennosti [Automation in Industry]. 2020. No. 5. 45–50 pp. (in Russian)*
10. *Ahmad K. Sleiti, Mohammed Al-Khawaja, Wahib A. Al-Ammari. A Combined Thermo-Mechanical Refrigeration System with Isobaric Expander Compressor Unit Powered by Low Grade Heat – Design and Analysis // International Journal of Refrigeration. 2020. V. 120. 39–49 pp. (in English)*

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Панкратов В.В. Автоматическое управление электроприводами: учеб. пособие / В.В. Панкратов. Ч. I. Регулирование координат электроприводов постоянного тока: Новосибирск: НГТУ, 2013. С. 200 (на русском языке)*
2. *Aristides M. Bonanos. Физическое моделирование термокомпрессора для применения в опреснении воды // Опреснение воды. 2017. Т. 412. С. 13–19 (на английском языке)*
3. *Шаммазов А.М. Проектирование и эксплуатация насосных и компрессорных станций: учебник для вузов: М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003. С. 404 (на русском языке)*
4. *Коршак А.А. Компрессорные станции магистральных газопроводов: учебное пособие: Ростов н/Д: Феникс, 2016. С. 157 (на русском языке)*
5. *Корж В.В. Эксплуатация и ремонт оборудования насосных и компрессорных станций: учеб. пособие / В.В. Корж, А.В. Сальников. Ухта: УГТУ, 2010. С. 184 (на русском языке)*
6. *Экспериментальное исследование эффективности новой термомеханической холодильной системы с расширительно-компрессионным агрегатом / Ahmad K. Sleiti [и др.] // Прикладная теплотехника. 2022. С. 212 (на английском языке)*
7. *Tao Wang, Qiang Qi, Wei Zhang, Dengyi Zhan. (23 апреля 2023 г.). Исследование оптимизации параметров профиля винтового компрессора на основе нейронной сети BP и генетического алгоритма. <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/9/3632> (на английском языке)*
8. *Chongyuan Shui, Ruifan Shao, Shulong Wei, Hongjun Li, Dengji Zhou and Linfeng Xu. Метод мониторинга и оптимизации работы компрессоров для крупных газопроводов // 2-я Международная конференция по энергетическому Интернету и интерактивным энергетическим технологиям, «Журнал физики: Серия конференций», Нанкин, 2023. Сер. 2567 012002 (на английском языке)*
9. *Иванов И.И. Современные системы управления электроприводами газоперекачивающих агрегатов // Автоматизация в промышленности. 2020. № 5. С. 45–50 (на русском языке)*
10. *Ahmad K. Sleiti, Mohammed Al-Khawaja, Wahib A. Al-Ammari. Комбинированная термомеханическая установка с изобарическим расширительным компрессором, работающим на низкосортном тепле – проектирование и анализ // Международный журнал холодильной техники. 2020. Т. 120. С. 39–49 (на английском языке)*

Авторлар туралы мәліметтер:

Татаева Ж.К., «Машиналар мен жабдыктардың цифрлық инженериясы» мамандығының 1-курс докторанты, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан), z.tatayeva@satbayev.university; <https://orcid.org/0009-0009-2874-1090>

Елемесов К.К., т.ғ.к., профессор, Энергетика және машинажасау институтының директоры, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан), k.yelemessov@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0001-6168-2787>

Басқанбаева Д.Ж., Ph.D докторы, «Технологиялық машиналар және жабдыктар» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан), d.baskanbayeva@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0003-1688-0666>

Сабирова Л.Б., т.ғ.к., «Технологиялық машиналар және жабдыктар» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан), l.sabirova@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0001-8231-9944>

Information about the authors:

Tatayeva Zh., 1st year doctoral student of the EP «Digital Engineering of Machines and Equipment», Senior Lecturer of the Department of «Technological Machines and equipment» Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Yelemessov K., Candidate of Technical Sciences, Professor, Director of the Institute of Energy and Mechanical Engineering, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Baskanbayeva D., Ph.D. Associate Professor of the Department of Technological Machines and equipment, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Sabirova L., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technological Machines and equipment, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Сведения об авторах:

Татаева Ж.К., докторант 1-го курса по ОП «Цифровая инженерия машин и оборудования», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Елемесов К.К., к.т.н., профессор, директор Института энергетики и машиностроения, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Басқанбаева Д.Д., доктор Ph.D, ассоциированный профессор кафедры «Технологические машины и оборудование», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Сабирова Л.Б., к.т.н., ассоциированный профессор кафедры «Технологические машины и оборудование», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Код МРНТИ 52.45.19

А.Р. Мамбеталиева¹, *С. Сагатбек², А.О. Мугинов², Б. Жәкен²¹Сәтбаев университеті (Алматы қ., Қазақстан),²«КазГидроМедь» ЖШС (Қарағанды қ., Қазақстан)

ҚҰРАМЫНДА КӨМІРІ БАР ҚАЛДЫҚТАРДЫ РЕАГЕНТ-ДЕПРЕССОРДЫ ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ ФЛОТАЦИЯЛЫҚ БАЙЫТУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ЗЕРТТЕУ

Аннотация. Күрделі құрамды жатқан қалдықтарды байыту мәселесі қарастырылған. Көміртекті заттың зиянды әсерін азайту және бағалы компонент шығындарын азайту үшін өнеркәсіпте әртүрлі әдістер мен технологиялық тәсілдер қолданылады. Өмбебап әдістің бірі сульфидті флотация кезінде көміртекті заттың селективті депрессорын пайдалану болып табылады. Онда пайдалы компонент концентратқа максималды түрде бөлініп, көміртекті байыту қалдықтарында қалдырады. Зертханалық тәжірибе құрамында мыс мөлшері 0,19% және көміртегі 1,87%, тотыққан мыс минералдарының салыстырмалы мөлшері 44,94% болатын жатқан қалдықтардың сынамасымен жүргізілді. Зертханалық эксперимент арқылы Р-2 көміртекті реагент-депрессорын пайдаланған кезде аралық өнімге көміртегінің алынуы 25,94%-дан 7,26%-ға дейін төмендейтіні анықталды.

Гүйінді сөздер: пайдалы қазбаларды байыту, флотация, техногендік шикізат, жатқан қалдықтар, мыс, көміртек, реагентті депрессор.

Study of the technology of flotation enrichment of carbon-containing waste tailings with the use of a reagent-depressor

Abstract. The problem of enrichment of stale tails of complex material composition is considered. To reduce the harmful effects of carbonaceous matter and minimize the loss of a valuable component, various methods and technological techniques are used in industry. A more universal method is the use of a selective carbonaceous depressor at the stage of sulfide flotation, in which the useful component is maximally extracted into the concentrate, leaving carbon in the tailings of enrichment. The laboratory experiment was carried out on a sample of stale tailings with a copper content of 0.19% and carbon content of 1.87%, the relative content of oxidized copper minerals was 44.94%. Laboratory experiment has determined that when using the reagent of the carbon depressor P-2, the extraction of carbon into the copper industrial product decreases from 25.94% to 7.26%.

Key words: mineral processing, flotation, man-made raw materials, stale tailings, copper, carbon, depressor reagent.

Исследование технологии флотационного обогащения углеродсодержащих лежалых хвостов с применением реагента-депрессора

Аннотация. Рассмотрена проблема обогащения лежалых хвостов сложного вещественного состава. Для уменьшения вредного воздействия углеродистого вещества и минимизации потерь ценного компонента, в промышленности применяют различные методы и технологические приемы. Более универсальным методом является использование селективного депрессора углеродистого вещества на стадии сульфидной флотации, при котором полезный компонент максимально извлекается в концентрат, оставляя углерод в хвостах обогащения. Лабораторный эксперимент проведен на пробе лежалых хвостов с содержанием меди 0,19% и углерода 1,87%, относительное содержание окисленных минералов меди составило 44,94%. Лабораторным экспериментом определено, что при применении реагента депрессора углерода Р-2 извлечение углерода в медный промпродукт снижается с 25,94 % до 7,26%.

Ключевые слова: обогащение полезных ископаемых, флотация, техногенное сырье, лежалые хвосты, медь, углерод, реагент депрессор.

Кіріспе

Шетелдік сарапшылардың бағалауы бойынша Қазақстан түсті металдардың халықаралық нарығында мықты позицияға ие. Өндіріс деңгейі бойынша Қазақстан тазартылған мысты әлемдегі ірі өндірушілер мен экспорттаушылардың қатарына кіреді. Әлемдік мыс өндірісіндегі республиканың үлесі 2,3% құрайды. Жер қойнауындағы түсті металдардың барланған қорлары өнеркәсіпті 10–15 жылдан аспайтын мерзімге қамтамасыз етеді [1–3]. Тұтас алғанда республика экономикасының дамуы үшін материалдық негізі болып табылатын минералдық-шикізат базасының күрт сарқылуына жол бермеу үшін құрамында металл аз кен орындарын игеру және құрамында түсті металдар көп қалдықтарды өңдеу мәселелерімен айналысу қажет. Сульфидті мыс және полиметалл кендерінде негізгі бағалы элементтен басқа, мыс, қорғасын, мырыш, темір, алюминий сияқты әрқашан байыту процессіне кері әсер ететін зиянды қоспалар болады. Осындай зиянды қоспалардың бірі көміртегі болып табылады [4–5].

Кенде көміртекті заттар, әсіресе сорбциялық белсенді органикалық қосылыстар түрінде болады және олардың мөлшері 2–3%-ға дейін жетуі мүмкін. Бұл өндеудің оңтайлы технологиясын таңдауды айтарлықтай қиындатады.

Көміртекті заттың зиянды әсерін азайту және құнды құрамдас бөліктің жоғалуын азайту үшін өнеркәсіпте әртүрлі әдістер мен технологиялық амалдар қолданылады.

Аполярлы, гетерополярлы реагенттерді (керосин, бутил спирті) пайдалана отырып, сульфидті флотация алдында

көміртекті затты селективті өнімге шығару флотацияның сульфидті концентратындағы көміртекті заттың мөлшерін азайтудың белгілі әдісі болып табылады. Дегенмен, бұл ретте көмір концентраты мен негізгі элементтің шығыны байқалады.

Негізгі өмбебап әдіс сульфидті флотация сатысында көміртекті заттың селективті депрессорын пайдалану болып табылады. Бұл ретте пайдалы компонент байыту қалдықтарында көміртегін қалдыра отырып, концентратқа барынша шығарылады. Перспективалы депрессорлар ретінде әртүрлі химиялық қосылыстар пайдаланылуы мүмкін: суда еритін нигрозин, техникалық лигносульфонаттар, декстрин және мамандандырылған Р-2 реагенті [6–10].

Бұл зерттеудің мақсаты көміртекті тұндырғыш реагентін пайдалана отырып, флотация процесінде көміртекті заттың депрессиясының негізгі мүмкіндігін анықтау болып табылады.

Материалдар мен әдістер

Зерттеу объектісі Жезқазған №3 байыту фабрикасының жатқан қалдықтарының аралас бөлігінің сынамасы болып табылады.

Жатқан қалдықтар сынамасының химиялық құрамы дәстүрлі «силикаттық» химиялық талдаумен, алтын мен күмістің құрамы сынамалық талдаумен (1-кесте) айқындалды, сынаманың элементтік құрамы индуктивті байланысқан плазмамен (ICP-MS) масс-спектрлік талдаумен белгіленді.

Кесме 1

Сынаманың химиялық талдау

Table 1

Chemical composition of the sample

Таблица 1

Химический состав пробы

Компонент	<i>Cu</i>	<i>Ag</i> , г/т	<i>Fe</i>	<i>S</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>	<i>As</i>	<i>C</i>	<i>SiO₂</i>
Салмақтық үлес, %	0,19	3,12	2,32	0,25	0,17	0,13	0,002	1,87	57,70
Компонент	<i>Al₂O₃</i>	<i>CaO</i>	<i>MgO</i>	<i>K₂O</i>	<i>Ti</i>	<i>Cd</i>	<i>Re</i> , г/т	<i>Al₂O₃</i>	<i>CaO</i>
Салмақтық үлес, %	12,92	4,38	1,23	2,37	0,29	0,002	0,36	12,92	4,38

Кен минералдарын зерделеу OLYMPUS BX 53 микроскопын, SIMAGIS XS-3CU бейнелерін талдау үшін C7 бейнелерін талдауға арналған бағдарламалық қамтамасыз етуді қолдана отырып, жылтыратылған аншлифтерде шағылысқан жарықта жүргізілді.

Бастапқы сынаманың химиялық талдау нәтижелері 1-ші кестеде келтірілген.

Негізгі құнды компоненттердің құрамы: мыс – 0,19%, мырыш – 0,17%, қорғасын – 0,13%, күмістен – 3,12 г/т. Күкірттің құрамы 0,25% құрады, жалпы темір – 2,32%. Тау жыныстарының құрамдас бөліктерінің құрамы: кремний диоксиді – 57,70%, алюминий оксиді – 12,92%, кальций оксиді – 4,38% және магний оксиді 1,23%.

Мыстың қосылу формалары бойынша қалдықтарды фазалық талдау химиялық фазалық талдау арқылы жүзеге асырылады. Нәтижелер 2-кестеде келтірілген.

– Көміртекті зат түріндегі тұрақты ілесне механикалық қоспа ~8–10 %;

– Тау жыныстарын құрайтын минералдар ~88 %.

Минералогиялық талдау көрсеткендей, қалдықтар сынамасында көміртекті зат (8–10%) едәуір мөлшерде болады. Ол жоғары гидрофобты қасиеттеріне байланысты көбік өніміне өтіп, концентраттың сапасын төмендетеді. Сонымен қатар, концентратта көміртегінің жоғары мөлшерінің болуы оны цианидтеу арқылы одан әрі өңдеуде қиындықтар туғызады.

Көміртекті зат мөлшері 0,15 мм-ге дейін кеуекті немесе ұяшық тәрізді, сирек тығыз агрегаттар түзеді (1-сурет). Көміртектің оқшауланған сипаты оның механикалық қоспасын көрсетеді.

Кесме 2

Мысты фазалық талдау

Table 2

Phase analysis of copper

Таблица 2

Фазовый анализ меди

Металдың фазалық түрі	Құрамы <i>Cu</i> , % (абс.)	<i>Cu</i> бөлу, % (салым)
Сульфидті минералдар	0,105	55,06
Тотыққан минералдар	0,085	44,94
Хризоколла	0,027	14,06
Барлығы:	0,19	100,0

2-кестедегі мәліметтерден қалдықтардың осы үлгісіндегі мыс сульфидті (55,06%) және тотыққан (44,94%) минералдармен кездесетіні көрінеді. Зерттелетін қалдықтар сынамасы аралас типке жатады.

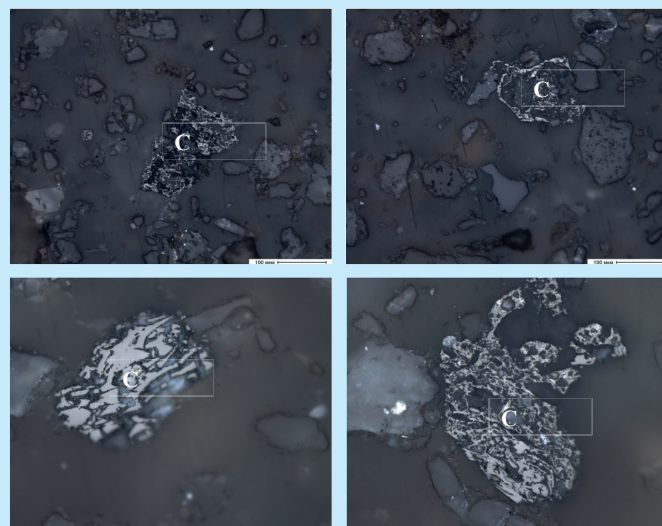
Кенді және кенсіз минералдардың болжамды арақатынасы 2:98 құрайды:

– Негізгі кен түзуші минералдар – гематит, темір гидрокшкылдары (жалпы құрамы ≤ 2%);

– Қосалқы минералдар – ковеллин, халькопирит, борнит, галена, сфалерит;

– Сирек кездесетін минералдар – халькозин+дигенит, пирит;

– Өте аз кездесетін – малахит, хризоколла, магнетит;



C – көміртек

Сурет 1. Көміртекті заттың кездесу формалары. 200 ұлғайту.

Figure 1. Carbon matter emissions. Magnification of 200.
Рис. 1. Выделения углеродного вещества. Увеличение 200.

Флотациялық байыту камераларының көлемі 3, 1,0 және 0,5 литр болатын Механобр типті стандартты зертханалық механикалық флотациялық машиналарда жүргізілді. Зерттеу үшін келесі реагенттер қолданылды: сұйық шыны (Na_2SiO_3), күкіртті натрий (Na_2S), ксантогенат (Кх), метилизобутил кетон (МИБК), Р-2, керосин және бутил

Обогащение полезных ископаемых

спирттерінің текше қалдығы (КОБС). Флотация уақыты 10 минут, пульпаның тығыздығы 30%, дайын класты құрамы -0,071 мм – 85%, зертханалық тәжірибе барысында сутегі көрсеткіші (pH) және тотығу-тотықсыздану потенциалы (ОВП) деңгейінің көрсеткіштері бақыланады. (pH деңгейі HANNA HI 1230 және ORP – HI 3131 электродтарымен бақыланды).

Нәтижелер және оларды талқылау

Сульфидтік флотация алдында көміртекті флотацияның жүруін анықтау үшін көміртекті жинаушы реагенттер – керосин + КОБС көмегімен флотацияны бағалау сынақтары жүргізілді.

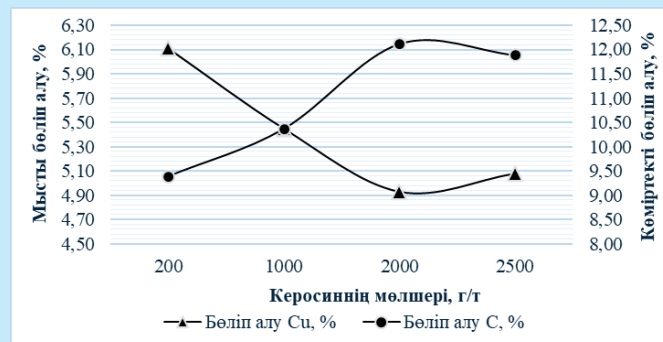
Байыту схемасы 2-суретте көрсетілген және 3-ші суретте мыс пен көміртектің бөліп алу нәтижелері келтірілген.



Сурет 2. Зертханалық эксперименттің принципті технологиялық сызбасы.

Figure 2. The basic technological scheme of the laboratory experiment.

Рис. 2. Принципиальная технологическая схема проведения лабораторного эксперимента.



Сурет 3. Мыс пен көміртекті бөліп алу нәтижелері.

Figure 3. Results of copper and carbon extraction.

Рис. 3. Результаты извлечения меди и углерода.

3-суретте бейнеленгендей, көміртекті флотациялауды жүргізу көміртегінің мөлшерін азайтуда оң нәтиже бермейді. Бұл концентраттағы көміртегі көмірді жаққаннан алынған өнім – құрамында көміртегі қалдығы бар шлак түрінде болуымен байланысты.

Кіріспе бөлімінде көрсетілгендей концентратта көміртегінің құрамын азайтудың тағы бір жолы реагент-депрессорды пайдалану. Осы ретте көміртегінің депрессиясы есебінен концентраттың сапасын арттыру мақсатында Р-2

көміртегінің депрессорын қолданумен тәжірибелер жүргізілді.

Зертханалық эксперименттің негізгі технологиялық сызбасы 4-ші суретте көрсетілген.



Сурет 4. Зертханалық эксперименттің принципті технологиялық сызбасы.

Figure 4. The basic technological scheme of the laboratory experiment.

Рис. 4. Принципиальная технологическая схема проведения лабораторного эксперимента.

Көміртекті басатын Р-2 реагентінің мөлшерін таңдау зертханалық тәжірибелер 3-кестеде келтірілген.

Кесте 3

Тәжірибе нәтижелері

Table 3

The results of the experiments

Таблица 3

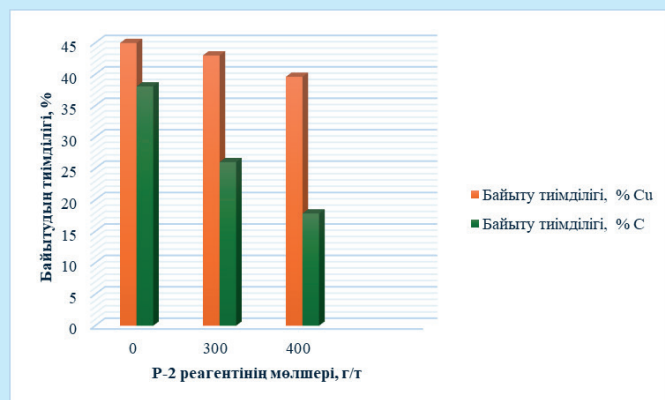
Результаты опытов

Мөл-шері Р-2, г/т	Өнімдер	Шы- ғымы, %	Құрамы, %		Бөліп алу, %	
			<i>Cu</i>	<i>C</i>	<i>Cu</i>	<i>C</i>
Тәжірибе 1						
0	I тазалау к-ты	1,82	3,47	26,65	33,34	25,94
	Аралық өнім	4,21	0,54	5,61	12,08	12,63
	Бақылау к-ты	3,22	0,59	4,68	10,07	8,05
	Σ Концентрат	9,25	1,14	9,43	55,49	46,62
	Қалдықтар	90,75	0,09	1,10	44,51	53,38
	Бастапқы өнім	100,0	0,19	1,87	100,0	100,0
Тәжірибе 2						
300	I тазалау к-ты	0,97	6,24	22,34	31,92	11,59
	Аралық өнім	3,66	0,49	8,05	9,48	15,75
	Бақылау к-ты	3,18	0,62	3,53	10,45	6,01
	Σ Концентрат	7,81	1,26	7,99	51,85	33,35

Продолжение таблицы 3

Мөл-шері Р-2, г/т	Өнімдер	Шығымы, %	Құрамы, %		Бөліп алу, %	
			Cu	C	Cu	C
	Қалдықтар	92,19	0,10	1,35	48,15	66,65
	Бастапқы өнім	100,0	0,19	1,87	100,0	100,0
Тәжірибе 3						
400	I тазалау к-ты	0,71	7,27	19,12	27,17	7,26
	Аралық өнім	3,52	0,60	7,23	11,03	13,61
	Бақылау к-ты	3,15	0,61	2,39	10,12	4,02
	Σ Концентрат	7,38	1,24	6,31	48,31	24,89
	Қалдықтар	92,62	0,11	1,52	51,69	75,11
	Бастапқы өнім	100,0	0,19	1,87	100,0	100,0

Зертханалық тәжірибе нәтижелерін бағалау үшін Хан-кон-Луйкен бойынша байыту тиімділігінің есептеулері жүргізілді. Ол флотация көрсеткіштері – шығу, кендегі құнды компоненттің құрамы және концентраттарға бөліну арасындағы тәуелділікті білдіреді. Байыту тиімділігін есептеу нәтижелері 5-суретте келтірілген.



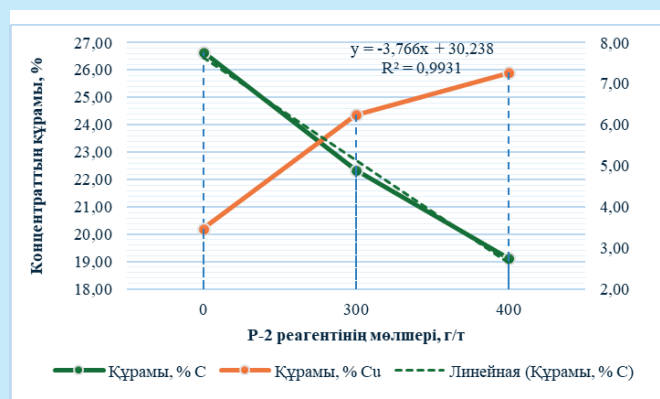
Сурет 5. Байыту тиімділігінің есептеу нәтижелері.
Figure 5. The results of the calculation of the enrichment efficiency.

Рис. 5. Результаты расчета эффективности обогащения.

Мыстың концентраттағы көміртегі құрамына тәуелділігінің нәтижелері 6-ші суретте көрсетілген.

Нәтижелерден келіп шығатыны, Р-2 реагентінің шығыны 0-ден 300 г/т дейін артқан кезде бірінші тазалау концентратындағы көміртегінің құрамы 26,65%-дан 19,12%-ға дейін төмендейді. Бұл ретте байыту тиімділігі 38,08%-дан 26,03%-ға дейін төмендейді. Р-2 шығынының одан әрі арттыру оң көрсеткіштер бермейді. Флота-

ция жүргізу үшін Р-2 реагентінің оңтайлы шығысымен 300 г/т шығын қабылданды.



Сурет 6. Мыстың құрамының көміртегі құрамына тәуелділігі.

Figure 6. Dependence of copper content on carbon content.

Рис. 6. Зависимость содержания меди от содержания углерода.

Қорытынды

Зертханалық эксперимент құрамында 0,19% мыс және 1,87% көміртегі бар қалдықтар өнімінде жүргізілді. Мыстың тотыққан минералдарының салыстырмалы құрамы 44,94%-ды құрады. Флотация алдында көміртегіні алдын ала бөліп алу мүмкіндігін анықтау үшін көміртегіні жинаушы реагенттерді – керосин + ҚОБС қолдана отырып, флотация бойынша бағалау тесттері орындалды. Сульфидті флотация алдында көміртегі флотациясын жүргізу оң нәтиже көрсетпеді.

Көміртегі депрессиясы есебінен концентраттың сапасын арттыру, сондай-ақ одан әрі сілтілеу кезінде реагенттердің шығынын төмендету мақсатында көміртегі Р-2 депрессорын қолдану арқылы тәжірибелер жүргізілді. Осылайша, флотация процесінде көміртекті зат депрессорларының реагенттерін қолдану осы сынама үшін неғұрлым тиімді болып табылатыны анықталды. Мыс өніміндегі көміртегінің құрамы төмендеген кезде өнеркәсіп өніміндегі мыстың құрамы 3,47%-дан 6,24%-ға дейін артады.

Негізгі тәжірибеде депрессорды қолданбағанда мыс концентратында мыс пен көміртектің құрамы 3,47% және 26,65% тең. Р-2 депрессоры (300 г/т) концентраттың шығымдылығын 0,85%-ға төмендете отырып, көміртекті алуды 14,35%-ға (25,94%-дан 11,59%-ға дейін) азайтуды қамтамасыз етеді. Р-2 депрессоры қолданғанда концентратқа мыс – 31,92% және көміртегі – 11,59% бөліп алынды.

Қалдықтарды флотациялау кезінде Р-2 депрессорын қолданғанда концентраттағы мыс құрамын арттыруға, сонымен бірге көміртегінің мөлшерін азайтуға және оның флотациялық қалдықтарға аударуға арттырады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Төребекова Қ.С. Байыту фабрикаларының үйінді қалдықтарынан түсті металдар концентраты мен кремний оксидін алу технологиясын жасау: дис. ...д-р. Ph.D: Қарағанды: 2023. 136 б. (орыс тілінде)
2. Архипов А.В., Решетняк С.П. Техногендік кен орындары: игерілуі және қалыптасуы: Апатиттер, 2017. 175 б. (орыс тілінде)
3. Чантурия В.А. Минералды шикізатты кешенді өңдеудің инновациялық процестерін ғылыми негіздеу және дамыту // Тау-кен журналы. 2017. № 11. Б. 7–13 (орыс тілінде)
4. Шумский В.А., Кушакова Л.Б. Қайта өңдеуге болмайды // «Тау-кен металлургия өнеркәсібі» журналы. 2018. № 8. Б. 36–39 (орыс тілінде)
5. Высотин В.В., Коблов А.Ю., Винокурова М.А. Жатқан қалдықтардан мысты алдын ала алудың флотациялық технологиясының болашағы // Тула мемлекеттік университетінің жаңалықтары. Жер туралы ғылымдар. 2020. № 2. Б. 99–105 (орыс тілінде)
6. Вудс Р. Флотацияны басқаратын электрохимиялық потенциал // Минералды өңдеудің халықаралық журналы. 2003. Т. 72. № 1–4. Б. 151–162 (ағылшын тілінде)
7. Александрова Т. Көміртекті кендерден қымбат металдарды алудың технологиялық аспектілері // XXVIII Халықаралық минералды өңдеу конгрессі IMPC 2016, Квебек, 11–15 қыркүйек 2016 ж. (ағылшын тілінде)
8. Александрова Т.Н., Цыплаков В.Н., Ромашев А.О., Семенихин Д.Н. Майское кен орнының отқа төзімді алтын сульфидті кендері мен концентраттарынан сорбциялық белсенді көміртекті заттарды жою // Кен байыту. 2015. № 4. 2015. Б. 3–7 (орыс тілінде)
9. Медет Жүнісов, Асиф Мұхаммед, Сотирис Лонгинос. Кенді кен орындарындағы алтынмен байланысты органикалық заттардың геохимиялық талдауы: Қазақстан мен Венгрияны зерттеу // Acta Geochimica. 2024. № 6. Б. 14 (ағылшын тілінде)
10. Седельникова Г.В. Тұрақты алтын сульфидті кендер мен концентраттарды өңдеудің әлемдік тәжірибесі // Табиғи және техногендік минералды шикізатты байыту мен кешенді өңдеудің прогрессивті әдістері (Плаксин оқулары), Алматы. 2014 жылғы 16–19 қыркүйек. Б. 34–38 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Turebekova K.S. Razrabotka tekhnologii polucheniya konsentratov tsvetnykh metallov i oksida kremniya iz otval'nykh khvostov obogatitel'nykh fabrik: dis. ... d-r. Ph.D [Development of technology for obtaining non-ferrous metal concentrate and silicon oxide from tailings of enrichment plants: diss. ... d-r Ph.D], Karaganda, 2023. 136 p. (in Russian)
2. Arkhipov A.V., Reshetnyak S.P. Tekhnogennyye mestorozhdeniya: razrabotka i formirovaniye [Technogenic deposits: development and formation], Apatity, 2017. 175 p. (in Russian)
3. Chanturiya V.A. Nauchnoye obosnovaniye i razrabotka innovatsionnykh protsessov kompleksnoi pererabotki mineral'nogo syr'ya [Scientific substantiation and development of innovative processes of complex processing of mineral raw materials], Gornyy zhurnal [Mining Journal]. 2017. No. 11. 7–13 pp. (in Russian)
4. Shumskiy V.A., Kushakova L.B. Pererabatyvat' nel'zya khranit' [Recycle cannot be stored], Zhurnal «Gorno-metallurgicheskaya promyshlennost'» [Journal of Mining and Metallurgical Industry]. 2018. No. 8. 36–39 pp. (in Russian)
5. Vysotin V.V., Koblov A.Yu., Vinokurova M.A. Perspektivy flotatsionnoi tekhnologii doizvlecheniya medi iz lezhalykh khvostov [Prospects of the flotation technology of copper extraction from waste tailings], Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauka o Zemle [News of Tula State University. Earth Science]. 2020. No. 2. 99–105 pp.] (in Russian)
6. Woods R. Electrochemical potential controlling flotation // International Journal of Mineral Processing. 2003. T. 72. No. 1–4. 151–162 pp. (in English)
7. Alexandrova T. Technological aspects of recovery of precious metals from carbonaceous ores // XXVIII International mineral processing congress IMPC 2016 Québec, 11–15 September 2016 (in English)
8. Aleksandrova T.N., Cyplakov V.N., Romashev A.O., Semenihihin D.N. Udaleniye sorbcionno-aktivnykh uglepodobnykh veshchestv iz upornykh zolotosul'fidnykh rud i koncentratov mestorozhdeniya «Majskoye» [Removal of sorption-active carbonaceous substances from refractory gold-sulfide ores and concentrates of the deposit «Mayskoye»], Obogashcheniye rud [Ore Enrichment]. 2015. No. 4. 3–7 pp. (in Russian)
9. Medet Junussov, Asif Mohammad, Sotirios Longinos. Geochemical analysis of organic matter associated with gold in ore deposits: A study of Kazakhstan and Hungary // Acta Geochimica, 2024. No. 6. P. 14 (in English)

10. Sedel'nikova G.V. *Mirovaya praktika pererabotki upornyh zolotosul'fidnyh rud i koncentratov [World practice of processing of refractory gold-sulfide ores and concentrates], Progressivnye metody obogashheniya i kompleksnoj pererabotki prirodnogo i tehnogennogo mineral'nogo syr'ya (Plaksinskie chteniya) [Progressive methods of enrichment and complex processing of natural and anthropogenic mineral raw materials (Plaksin readings)]*, Almaty, September 16–19, 2014. 34–38 pp. (in Russian)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Туребекова К.С. Разработка технологии получения концентрата цветных металлов и оксида кремния из отвальных хвостов обогатительных фабрик: дис. ... д-р. Ph.D: Караганда, 2023. 136 с. (на русском языке)
2. Архипов А.В., Решетняк С.П. Техногенные месторождения: разработка и формирование: Апатиты, 2017. 175 с. (на русском языке)
3. Чантурия В.А. Научное обоснование и разработка инновационных процессов комплексной переработки минерального сырья // Горный журнал. 2017. № 11. С. 7–13 (на русском языке)
4. Шумский В.А., Кушакова Л.Б. Перерабатывать нельзя хранить // Журнал «Горно-металлургическая промышленность». 2018. № 8. С. 36–39 (на русском языке)
5. Высотин В.В., Коблов А.Ю., Винокурова М.А. Перспективы флотационной технологии доизвлечения меди из лежащих хвостов // Известия Тульского государственного университета. Наука о Земле. 2020. № 2. С. 99–105 (на русском языке)
6. Вудс Р. Электрохимический потенциал, контролирующей флотацию // International Journal of Mineral Processing. 2003. Т. 72. № 1–4. С. 151–162 (на английском языке)
7. Александрова Т. Технологические аспекты извлечения драгоценных металлов из углистых руд // XXVIII Международный конгресс по переработке полезных ископаемых IMPC 2016, Квебек, 11–15 сентября 2016 г. (на английском языке)
8. Александрова Т.Н., Цыплаков В.Н., Ромашев А.О., Семенихин Д.Н. Удаление сорбционно-активных углеродистых веществ из упорных золотосульфидных руд и концентратов месторождения «Майское» // Обогащение руд. 2015. № 4. С. 3–7 (на русском языке)
9. Медет Жунусов, Асиф Мохаммад, Сотирис Лонгинос. Геохимический анализ органического вещества, связанного с золотом в рудных месторождениях: исследование Казахстана и Венгрии // Acta Geochimica. 2024. № 6. С. 14 (на английском языке)
10. Седельникова Г.В. Мировая практика переработки упорных золотосульфидных руд и концентратов // Прогрессивные методы обогащения и комплексной переработки природного и техногенного минерального сырья (Плаксинские чтения), Алматы, 16–19 сентября 2014. С. 34–38 (на русском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

Мамбеталиева А.Р., Ph.D докторы, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының аға оқытушысы Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан), a.mambetalieva@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0003-1536-5259>

Сағатбек С., «ҚазГидроМедь» ЖШС инженер-зерттеушісі (Қарағанды қ., Қазақстан), sunkarsagatbek@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0006-1931-1716>

Муғинов А.О., «ҚазГидроМедь» ЖШС инженер-зерттеушісі (Қарағанды қ., Қазақстан), aibek92.29@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0000-5130-8396>

Жәкен Б., «ҚазГидроМедь» ЖШС инженер-зерттеушісі (Қарағанды қ., Қазақстан), bk.zh02@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0006-8297-6358>

Information about the authors:

Mambetalieva A.R., Ph.D, Senior Lecturer at the Department of Metallurgy and Mineral Processing at Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Sagatbek S., Research Engineer at Kazhydromed LLP (Karaganda, Kazakhstan)

Muginov A.O., Research Engineer at Kazhydromed LLP (Karaganda, Kazakhstan)

Zhaken B., Research Engineer at Kazhydromed LLP (Karaganda, Kazakhstan)

Сведения об авторах:

Мамбеталиева А.Р., доктор Ph.D, старший преподаватель кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Сағатбек С., инженер-исследователь ТОО «ҚазГидроМедь» (г. Караганда, Казахстан)

Муғинов А.О., инженер-исследователь ТОО «ҚазГидроМедь» (г. Караганда, Казахстан)

Жәкен Б., инженер-исследователь ТОО «ҚазГидроМедь» (г. Караганда, Казахстан)

Код МРНТИ 52.47.21

*Ж.С. Сарқұлова, Р. Изимова, Р.Е. Байеділ, А.Т. Нұрғали
Aktober regional university named after K. Zhubanov (Ақтөбе қ., Қазақстан)

ТҰРАҚТЫ ЭНЕРГИЯҒА КӨШУ КОНТЕКСТІНДЕГІ ТЕҢІЗДЕГІ БҰРҒЫЛАУДЫҢ БОЛАШАҒЫ

Андатпа. Теңіздегі мұнай мен газды бұрғылау ондаған жылдар бойы әлемдік энергетикалық жүйенің маңызды құрамдас бөлігі болып қала берді, бұл әлемдік көмірсутектерді өндірудің айтарлықтай үлесін қамтамасыз етеді. Дегенмен, тұрақты энергия көздеріне көшу, климаттың өзгеруі және экологиялық талаптардың артуы салдарынан энергетикалық ландшафт тез өзгеріп жатқандықтан, саланың болашағы қызу пікірталас тақырыбына айналууда. Автоматтандыру және су астындағы роботтарды қолдану сияқты технологиялық инновациялар бұрғылау жұмыстарының тиімділігі мен қауіпсіздігін арттыру үшін жаңа көкжиектерді ашуда. Бұл мақалада біз теңіздегі бұрғылаудың болашағын қалыптастыратын негізгі үрдістер мен факторларды, сондай-ақ оның энергетикалық саясат пен экологиядағы жаһандық өзгерістер контекстіндегі рөлін қарастырамыз.

Түйінді сөздер: теңізде бұрғылау, өндіру технологиясы, экологиялық қауіпсіздік, мұхиттық ресурстар, инновациялық әдістер, тұрақты даму, терең теңіз платформалары, энергетикалық әлеует, экологиялық тәуекелдер.

The future of offshore drilling in the context of the transition to sustainable energy

Abstract. Offshore oil and gas drilling has been an important component of the global energy system for decades, accounting for a significant share of global hydrocarbon production. However, with the energy landscape rapidly changing due to the transition to sustainable energy sources, climate change and increasing environmental demands, the future of this industry is becoming a subject of intense debate. Technological innovations such as automation and the use of underwater robots are opening up new horizons for improving the efficiency and safety of drilling operations. At the same time, public expectations and demands for environmental responsibility pose new challenges for oil companies. In this article, we look at the key trends and factors that will shape the future of offshore drilling, as well as its role in the context of global changes in energy policy and the environment.

Key words: offshore drilling, mining technology, environmental safety, ocean resources, innovative methods, sustainable development, deepwater platforms, energy potential, environmental risks.

Будущее морского бурения в контексте перехода к устойчивой энергетике

Аннотация. Морское бурение нефти и газа на протяжении десятилетий остается важным компонентом глобальной энергетической системы, обеспечивая значительную долю мирового производства углеводородов. Однако в условиях стремительных изменений в энергетическом ландшафте, вызванных переходом к устойчивым источникам энергии, изменением климата и растущими экологическими требованиями, будущее этой отрасли становится предметом активных дискуссий. Такие инновации, как автоматизация и использование подводных роботов, открывают новые горизонты для повышения эффективности и безопасности буровых операций. В данной статье мы рассмотрим ключевые тенденции и факторы, которые будут определять будущее морского бурения, а также его роль в контексте глобальных изменений в энергетической политике и экологии.

Ключевые слова: морское бурение, технология добычи, экологическая безопасность, океанические ресурсы, инновационные методы, устойчивое развитие, глубоководные платформы, энергетический потенциал, экологические риски.

Кіріспе

Теңізде бұрғылау – су бетінде немесе мұхит түбінде орналасқан арнайы бұрғылау қондырғыларын пайдалана отырып, су асты кен орындарынан мұнай мен газды алу процесі. Бұл процесс жаһандық энергетикалық жүйеде шешуші рөл атқарады, өйткені дүниежүзілік көмірсутек қорының едәуір бөлігі теңіз аймақтарында орналасқан.

Теңіздегі бұрғылау нарығының көлемі 2023 жылы 28,12 миллиард доллардан 2028 жылға қарай 35,92 миллиард долларға дейін өседі деп күтілуде, болжамды кезеңде (2023–2028) орташа жылдық өсу қарқыны 5,02% құрайды¹.

Ұзақ мерзімді перспективада технологиялық инновациялардың өсуіне және осындай операциялардың рентабельділігінің артуына байланысты теңіз кен орындарын бұрғылау айтарлықтай дамиды деп күтілуде. Екінші жағынан, шикі мұнай бағасының құбылмалылығы алдағы жылдары теңіз бұрғылау нарығының өсуін тежейді деп күтілуде. Сонымен қатар, күн және жел энергетикасына, сондай-ақ басқа да жаңартылатын технологияларға инвестициялардың ұлғаюымен әлемдік энергетикалық баланстағы көмірсутектердің үлесі біртіндеп төмендеуі болжанады. Бұл мұнай компанияларының өздерінің бұрғылау стратегияларын қайта қарауын көздейді. Дегенмен, бұрғылау процестерін автоматтандыру, су астындағы роботтарды

пайдалану және операцияларды цифрландыру сияқты технологиялық жетістіктер теңіздегі бұрғылаудың тиімділігі мен қауіпсіздігін арттыруға жаңа мүмкіндіктер ашады. Таяу Шығыс пен Африка теңіз бұрғылауының әлеуетті нарықтарының бірі болады деп күтілуде, сұраныстың көп бөлігі Нигерия, Ангола және Египет елдерінде болады.

Ал Қазақстанда теңізде бұрғылау, ең алдымен, мұнай мен газдың едәуір қоры орналасқан Каспий теңізін игерумен байланысты. Қазақстанның Каспий теңізіне шығу мүмкіндігі теңізде бұрғылау және көмірсутектерді өндіру үшін үлкен мүмкіндіктер ашады.

Мысалы, 2023 жылы 26 сәуірде Ақтауда «ҚазМұнайГаз» ҰК АҚ Басқарма төрағасы Мағзұм Мырзағалиев Маңғыстау өңірінің мұнай-газ болашағына арналған халықаралық ғылыми-практикалық конференцияға қатысқан болатын. Пленарлық отырыста сөз сөйлеген ол геологиялық барлауды дамыту перспективалары және компанияның осы саладағы жоспарлары туралы айтты. Оның ішінде, ҚМГ басшысы компания 2024 жылы тағы екі терең ұңғыманы бұрғылауды бастауды жоспарлап отырғанын атап өтті².

Дегенмен, бұндай ірі іс-шараны қолға алмас бұрын, барлық мәселелердің алдын алу қажет. Мысалы, 2018 жылғы зерттеулер бойынша Каспий теңізінің бетінде мұнаймен ластану факторы жоғары екені көрсетілген. Ластанудың жалпы беті 822,66 км² деп бағаланды. Бұл деректер спут-

¹Mordor Intelligence. Offshore drilling – нарықты талдау. URL: <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/offshore-drilling-market> (қаралған күні: 14.05.2025)

²ҚазМұнайГаз. 2024 жылы геологиялық барлау жұмыстары: «ҚазМұнайГаз «ҰК» АҚ инвестицияларды ұлғайтады. URL: <https://www.kmg.kz/ru/press-center/press-releases/2024-geo/> (қаралған күні: 14.05.2025)

никтен ENVISAT ASAR синтезделген апертуралы радары арқылы алынған болатын [1].

ENVISAT ASAR Каспий теңізінің қазақстандық секторын мониторингілеу үшін белсенді пайдаланылды, оның ішінде:

- Мұнай төгілуін талдау және картаға түсіру;
- Бұрғылаудың экологиялық салдарын бақылау;
- Қашаған, Қаламқас, теңіз және т. б. кен орындарының маңындағы су айдындарының мониторингі [2].

Теңізде бұрғылау Қазақстан үшін айтарлықтай экономикалық маңызға ие. Мұнай мен газ елдің экспорттық кірістерінің негізгі бөлігін құрайды, ал кен орындарын сәтті игеру экономикалық өсуге және шетелдік инвестицияларды тартуға ықпал етуі мүмкін. Сондықтан, тек экономикалық және технологиялық проблемаларды емес, экологиялық мәселелерді де есепке алған жөн.

Материалдар мен әдістер

Теңіз кен орындарының қайта бейімделу мүмкіндіктерін келесідей шарттармен қарастыруға болады:

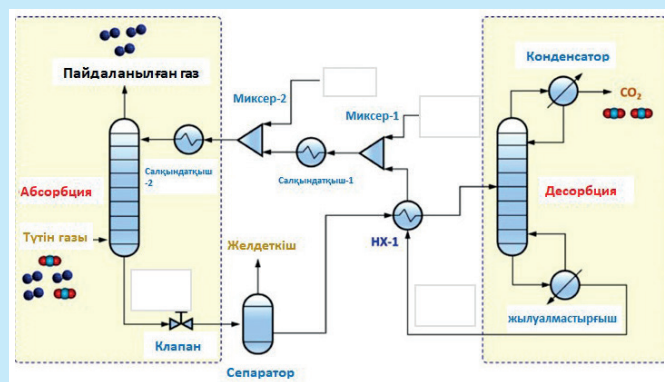
Тұрақты технологияларға инвестициялар. Мұнай компаниялары көмірсутектер шығарындыларын азайтуға көмектесетін көміртекті аулап алу технологияларына (OCCS) инвестиция сала бастады.

OCCS технологиясы келесі операцияларды қамтиды:

- CO_2 -ден тазарту;
- бөлу;
- кейіннен түсіру үшін кемеңіз бортында CO_2 -ні сақтау.

Сақтау формалары технологияға байланысты өзгереді: газ, сұйық немесе минералды.

Алдын ала жағу кезінде көміртегі сутекті өндіру және оны энергияны түрлендіру үшін арнайы құрылғыларда пайдалану үшін отыннан бөлінеді³.



Сурет 1. Көміртекті ұстау жүйесінің негізгі жабдықтарының схемасы.

Figure 1. Diagram of the main equipment of the carbon capture system.

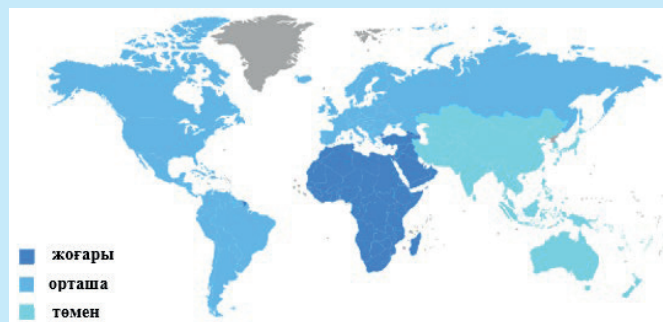
Рис. 1. Схема основного оборудования системы улавливания углерода.

OCCS арқылы декарбонизацияға жетудің артықшылықтары көп, алайда кемшіліктері де бар [3]. Мысалы, кеме-

лердің құрылысы мен орналасуын өзгерту қажет. Бұл технологиялық шығындарды талап етеді, оның ішінде:

- басқа кеме жүйелерімен интеграция қажет;
- тиісті инфрақұрылымда кейіннен түсіру үшін CO_2 -нің сақталуы керек;
- кемеде қосымша энергия мен отын шығыны болады, өйткені ұстау, бөлу және сұйылту процесі энергияны және кеме жабдықтарының энергия шығынын арттыруды қажет етеді;
- кеме OCCS кемеңіз жұмысына зиян келтірместен энергияны пайдалануды оңтайландыра отырып, борттық жабдықтармен біріктірілуі керек;
- ұстау, бөлу, сұйылту және аралық сақтау жабдықтары жеткілікті орынды қажет етеді;
- кемеңіз өнімділігін арттыру және қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін жүйелер мұқият жобаланған болуы керек.

Бизнесті әртараптандыру. Көптеген компаниялар портфолиоларын, соның ішінде жаңартылатын энергия көздерін және басқа да тұрақты технологияларды әртараптандыруды бастайды. Бұл оларға энергетикалық ландшафтың өзгеруі жағдайында бәсекеге қабілетті болуға мүмкіндік береді.



Сурет 2. Теңіздегі бұрғылау нарығы: аймақ бойынша өсу қарқыны.

Figure 2. Offshore Drilling Market: Growth Rate by Region.

Рис. 2. Рынок морского бурения: темпы роста по регионам.

Теңіз бұрғылау нарығы ішінара бөлшектелген. Теңіз бұрғылауындағы әлемдік көшбасшыларға келесі компаниялар жатады: Baker Hughes Company, Halliburton Company, Schlumberger Limited, Transocean Limited және Saipem SpA.

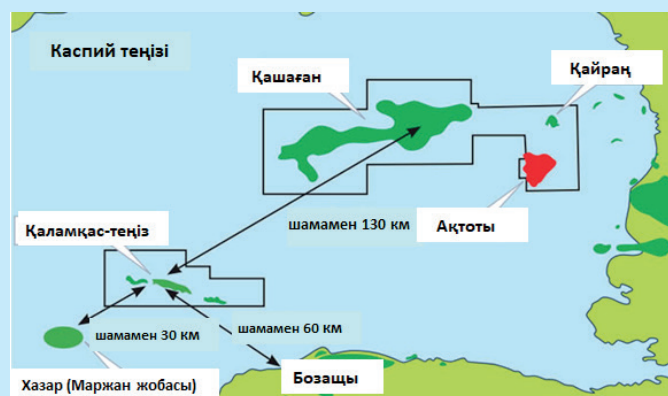
Transocean Limited – табыс бойынша әлемдегі ең ірі оффшорлық бұрғылау мердігері. 2025 жылдың мамырына Transocean Ltd. әлемдегі жетекші теңіз бұрғылау мердігерлерінің бірі болып қала береді. Алайда, терең теңіздегі бұрғылау қызметтеріне сұраныстың артуына қарамастан, компания бірқатар қаржылық және операциялық қиындықтарға тап болып отыр.

Жоғарыда айтылғандай, бұл компаниялар мұнай бизнесін әртараптандыру мақсатында қандай да бір әрекетке барады. Мысалы, 2023 жылы, Var Energi, норвегиялық

³Sani M., Nouri M., Sadeghzadeh M. Carbon Capture Science & Technology. 2023. Vol. 3. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772656823000295> (қаралған күні: 14.05.2025)

мұнай және газ өндіруші теңіз компаниясы, бұрғылауды жақсарту, өнімділікті арттыру және құндылықты арттыру үшін бұрғылау қызметтері саласындағы американдық Halliburton компаниясымен ұзақ мерзімді стратегиялық ынтымақтастықты жариялады. Серіктестікке Норвегия континенттік қайраңындағы барлау және пайдалану бұрғылауымен байланысты Var Energy үшін бұрғылау қызметтері кіреді. Келісімшарт тағы төрт жылға ұзарту мүмкіндігімен бес жылға есептелген [4].

Ал Қазақстан мен Ресей Каспий теңізіндегі көмірсутектер кен орындарын игеру жөніндегі жобаны іске қосуға дайындалуда, оның шеңберінде игерілетін екі кен орны – «Қаламқас-теңіз» және «Хазар».



Сурет 3. «Қаламқас-теңіз» және «Хазар» кен орындарының жобалық картасы [5].

Figure 3. The project map of the fields «Kalamkas-more» and «Khazar» [5].

Рис. 3. Проектная карта месторождений «Каламкас-море» и «Хазар» [5].

Алғашқы абаттандыру жұмыстары 2026 жылы «Қаламқас-теңізде» өндіруді бастау үшін қажетті теңіз платформаларын орнатудан басталады. «ҚазМұнайГаз» басшылығы жобалық құжаттаманы бекітіп, қол қойды, деп хабарлайды ҚР Энергетика министрлігінің баспасөз орталығы⁴.

Инвестиция көлемі 6 млрд. долларды құрайды деп жоспарланып отыр. Сәуір айында ресейлік мұнай өндіруші компания қазақстандық қайраңды әзірлеуге 200 млн доллар бөлгені белгілі болды.

Кен орындарының инфрақұрылымын салу кезеңінде 2 мыңға жуық адам жұмысқа орналаса алады, ал жоба іске қосылғаннан кейін үш жүзге дейін бос орын пайда болуы тиіс.

Екі кен орнының мұнай қоры расталып, теңгерімге қойылды. Жалпы алғанда, олар шамамен 80 миллион тоннаны құрайды⁵.

Теңізде бұрғылау нарығының кеңеюіне құрлықтағы мұнай мен газ қорларының сарқылуы ықпал етуде. Технологиялық жетістіктер бұрын қол жетімсіз терең және өте терең су қорларына қол жеткізе отырып, теңізде бұрғылауға мүмкіндік береді.



Сурет 4. Теңіздегі бұрғылау нарығының көлемі.

Figure 4. Offshore Drilling Market Size.

Рис. 4. Размер рынка морского бурения.

Үкіметтермен және ҰЕҰ-мен ынтымақтастық. Мемлекеттік органдармен және үкіметтік емес ұйымдармен серіктестік құру компанияларға экологиялық қиындықтарды жеңуге және қоғамдағы беделін жақсартуға көмектеседі

Серіктестіктің артықшылықтары.

Мемлекет үшін:

- *Салықтар, жобалық үлестер арқылы қосымша кіріс алу.*

- *Инфрақұрылымды дамытуды жеделдету.*

- *Саланың технологиялық деңгейін арттыру.*

Мұнай компаниялары үшін:

- *Мемлекеттік ресурстар мен лицензияларға қол жеткізу.*

- *Меншік құқығының кепілдіктері.*

- *Ірі стратегиялық жобаларға қатысу мүмкіндігі.*

Мысалы, Ресейде ынтымақтастықтың мұндай формалары федералды және аймақтық биліктің қатысуымен Роснефть, Газпром және басқа да ірі компаниялармен келісімдер арқылы жүзеге асырылады.

Ал Қазақстанда Қашаған кен орнын игеру сияқты ірі жобалар Мемлекет (ҚазМұнайГаз қазақстандық ұлттық компаниясы арқылы) пен Халықаралық Мұнай корпорациялары (мысалы, ExxonMobil, Shell) арасындағы әріптестіктің күрделі схемалары арқылы іске асырылады [6].

Мұнай компанияларының мемлекеттік органдармен серіктестігі – бұл мемлекеттің стратегиялық мақсаттары мен бизнестің коммерциялық тиімділігін қамтамасыз ететін саланы дамытудың маңызды бөлігі.

Нәтижелерін талдау және қорытынды

Теңіздегі бұрғылаудың болашағы дәстүрлі энергетика мен энергия өндірудің жаңа тұрақты тәсілдерінің қиылысында. Өнеркәсіп экологиялық талаптар мен қоғамдық пікірдің өзгеруіне байланысты көптеген қиындықтарға тап болғанымен, оның инновациялар мен бизнесті әртараптандыру арқылы әр түрлі жағдайларға бейімделу мүмкіндігі бар. Теңіз жағдайында көмірсутектерді қауіпсіз және

⁴Dprom.kz. Қазақстан мен Ресей теңіз кемесін салуды басмайды. URL: <https://dprom.kz/novosti/kazakhstan-ee-rosseea-nachnut-stroet-morskoee/> (қаралған күні: 14.05.2025)

⁵Reanin Research. Global Offshore Drilling Market Growth, Share, Size, Trends and Forecast (2025–2031). URL: [https://www.testing.reanin.com/reports/global-offshore-drilling-market#:~:text=In%20the%20year%202024%2C%20the,\(CAGR\)%20of%207.8%25](https://www.testing.reanin.com/reports/global-offshore-drilling-market#:~:text=In%20the%20year%202024%2C%20the,(CAGR)%20of%207.8%25) (қаралған күні: 20.05.2025)

тұрақты өндіруді қамтамасыз ету үшін инновациялар мен тәжірибелерді дамытуды жалғастыру маңызды аспектілердің бірі болып табылады.

Қазақстандағы теңізде бұрғылау үлкен әлеуеті бар экономиканың маңызды секторы, бірақ сонымен бірге экологический

мәселелер мен технологиялық қиындықтарға назар аударуды талап етеді. Жоспарланған жобаларды сәтті жүзеге асыру әлемдік энергетикалық нарықтағы негізгі ойыншылардың бірі ретінде елдің болашағына айтарлықтай әсер етуі мүмкін.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. ENVISAT ASAR деректерінің көмегімен Каспий Теңізінің Қазақстандық секторында мұнайдың төгілуін анықтау / Холштейн А. [және т. б.] // Экологиялық жер туралы ғылымдар журналы. 2018. Т. 77. Б. 1–11 (ағылшын тілінде)
2. Камза А.Т. Жерді қашықтықтан зондау әдістерімен Каспий теңізі акваториясындағы мұз қозғалысының мониторингі әдістемесін жетілдіру: дис. ... техн. ғыл. д-р: Алматы, 2024. Б. 23–24 (орыс тілінде)
3. Михайлов И.В. Теңіз бұрғылау технологияларын дамыту: мәселелері мен болашағы // Теңіздегі өндіру: М.: Ғылым, 2019. Б. 248 (орыс тілінде)
4. Спейт Джеймс Г. Теңіздегі Мұнай-Газ Операцияларының анықтамалығы // Парсы Шығанағындағы Кәсіби Баспа. 2019. Б. 28–32 (ағылшын тілінде)
5. «Қаламқас-теңіз» және «Хазар» кен орындарын іске асыру жөніндегі жоба // Petroleum: Мұнай және газ туралы қазақстандық талдау журналы. 2019. № 6. Б. 15–19 (орыс тілінде)
6. Казахов С.Т. Каспий теңізіндегі теңіз платформаларын пайдалану ерекшеліктері // Көмірсутектерді өндіру мәселелері: Алматы: ҚазМұнайГаз, 2020. Б. 56–60 (қазақ тілінде)

REFERENCES

1. Oil spill detection in the Kazakhstan sector of the Caspian Sea with the help of ENVISAT ASAR data / Holstein A. [et al.] // Environmental Earth Sciences. 2018. V. 77. 1–11 pp. (in English)
2. Kamza A.T. Soвершенствование metodiki monitoringa dvizheniya l'dov v akvatorii Kaspijskogo morja metodami distancionnogo zondirovaniya Zemli: dis. ... d-r. tekhn. nauk [Improvement of the methodology for monitoring the movement of ice in the Caspian Sea using remote sensing methods: dis. ... dr. tech. sciences], Almaty, 2024. 23–24 pp. (in Russian)
3. Mihajlov I.V. Razvitie tehnologij morskogo burenija: problemy i perspektivy [Development of offshore drilling technologies: problems and prospects], Morskaja dobycha [Marine mining], Moscow: Nauka, 2019. 248 p. (in Russian)
4. Speight James G. Handbook of Offshore Oil and Gas Operations // Gulf Professional Publishing. 2019. 28–32 pp. (in English)
5. Proekt po realizacii mestorozhdenij «Kalamkas-more» i «Hazar» [The project for the implementation of the fields «Kalamkas-more» and «Khazar»], Petroleum: Kazahstanskij analiticheskij zhurnal o nefti i gaze [Petroleum: Kazakhstan analytical magazine about oil and gas]. 2019. No. 6. 15–19 pp. (in Russian)
6. Kazakhov S.T. Features of the use of offshore platforms in the Caspian Sea // Problems of hydrocarbon production: Almaty: KazMunaiGas, 2020. 56–60 pp. (in Kazakh)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Обнаружение разливов нефти в казахстанском секторе Каспийского моря с помощью данных ENVISAT ASAR / Холштейн А. [и др.] // Журнал Экологические науки о Земле. 2018. Вып. 77. С. 1–11 (на английском языке)
2. Камза А.Т. Совершенствование методики мониторинга движения льдов в акватории Каспийского моря методами дистанционного зондирования Земли: дис. ... д-р. техн. наук: Алматы, 2024. С. 23–24 (на русском языке)
3. Михайлов И.В. Развитие технологий морского бурения: проблемы и перспективы // Морская добыча: М.: Наука, 2019. С. 248 (на русском языке)
4. Спейт Джеймс Г. Руководство по морским нефтегазовым операциям // Профессиональное издательство стран Персидского залива. 2019. С. 28–32 (на английском языке)
5. Проект по реализации месторождений «Каламкас-море» и «Хазар» // Petroleum: Казахстанский аналитический журнал о нефти и газе. 2019. № 6. С. 15–19 (на русском языке)
6. Казахов С.Т. Особенности использования морских платформ в Каспийском море // Проблемы добычи углеводородов: Алматы: КазМунайГаз, 2020. С. 56–60 (на казахском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

Сарқұлова Ж.С., Ph.D доктор, K. Zhubanov University, «Мұнай газ ісі» кафедрасының аға оқытушысы (Ақтөбе қ., Қазақстан), zhadi_0691@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8539-1802>

Изимова Р., биология ғылымдарының кандидаты, K. Zhubanov University (Ақтөбе қ., Қазақстан), roza.izimova@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9535-671X>

Байеділ Р.Е., магистрант, K. Zhubanov University, «Мұнай газ ісі» мамандығының 1-курс магистранты (Ақтөбе қ., Қазақстан), baiedil02@bk.ru; <https://orcid.org/0009-0009-7343-2799>

Нұрғали А.Т., магистрант, K. Zhubanov University, «Мұнай газ ісі» мамандығының 1-курс магистранты (Ақтөбе қ., Қазақстан), aibolatnurgali27@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0002-3994-348X>

Information about the authors:

Sarkulova Zh.S., Ph.D doctor, K. Zhubanov University, senior lecturer of the Department of «Oil and Gas Business» (Aktobe, Kazakhstan)

Izimova R., Candidate of Biology Sciences, K. Zhubanov University (Aktobe, Kazakhstan)

Baiyedil R.E., Master's student, K. Zhubanov University, 1st year Master's student in Oil and Gas Engineering (Aktobe, Kazakhstan)

Nurgali A.T., Master's student, K. Zhubanov University, 1st year Master's student in Oil and Gas Engineering (Aktobe, Kazakhstan)

Сведения об авторах:

Сарқұлова Ж.С., Ph.D доктор, K. Zhubanov University, старший преподаватель кафедры «Нефтегазовое дело» (г. Актөбе, Казахстан)

Изимова Р., канд. биол. наук, K. Zhubanov University (г. Актөбе, Казахстан)

Байеділ Р.Е., магистрант, K. Zhubanov University, магистрант 1-го курса по специальности «Нефтегазовое дело» (г. Актөбе, Казахстан)

Нұрғали А.Т., магистрант, K. Zhubanov University, магистрант 1-го курса по специальности «Нефтегазовое дело» (г. Актөбе, Казахстан)

межрегиональная специализированная выставка

САХАПРОМЭКСПО**4 – 5 ДЕКАБРЯ 2025 г. ЯКУТСК****НЕДРА ЯКУТИИ. СПЕЦТЕХНИКА.
ЭКОЛОГИЯ. ЭНЕРГО.
СВЯЗЬ. БЕЗОПАСНОСТЬ**

Организаторы:

СИБЭКС SERVICE**Выставочная компания
Сибэкспосервис**
г. Новосибирск**САХАЭКСПОСЕРВИС****Выставочная компания
СахаЭкспоСервис**
г. Якутск**Тел: (383) 3356350, e-mail: vkases@yandex.ru, www.ses.net.ru**

Код МРНТИ 87.26.02

A. Abulgaziev¹, A. Zhumagaziev², *S. Kurbaniyazov³, N. Saburova⁴¹Abai Kazakh National Pedagogical University (Almaty, Kazakhstan),²K. Dosmukhamedov Atyrau State University (Atyrau, Kazakhstan),³Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University (Turkestan, Kazakhstan),⁴«Atyrauhydrogeology» LLP (Atyrau, Kazakhstan)

GEOMORPHOLOGICAL ANALYSIS OF RIVER SYSTEMS IN THE SAURAN DISTRICT UNDER THE ARID CLIMATE CONDITIONS

Abstract. This study investigates the geomorphological features of river systems in the Sauran District of Southern Kazakhstan, located in an arid climate zone. Using remote sensing data (Landsat, Sentinel), GIS analysis, and field observations (2020–2024), the research assesses erosion dynamics, sedimentation, and seasonal hydrology of 11 small rivers. Results indicate increased channel instability due to temperature rise (+2.1 °C since 2000) and reduced precipitation (–60 to –80 mm annually). Seasonal flow reduction, rising salinity, and anthropogenic impact (dams, irrigation, urban growth) have led to degradation of natural channels. The study offers valuable insight into the effects of aridification on ephemeral river systems and supports regional planning.

Key words: river geomorphology, arid climate, erosion, remote sensing, sedimentation, channel degradation, climate change.

Құрғақ климаттық жағдайындағы Сауран ауданының өзен жүйелерінің геоморфологиялық талдауы

Аннотация. Бұл зерттеу Оңтүстік Қазақстанның құрғақ климаттық жағдайындағы Сауран ауданының өзен жүйелерінің геоморфологиялық ерекшеліктерін қарастырады. Қашықтан зондтау (Landsat, Sentinel), ГАЖ талдау және далалық зерттеулер (2020–2024) арқылы 11 шағын өзеннің эрозия, шөгінді жинақталуы және маусымдық гидрологиясы бағаланды. Нәтижелер 2000 жылдан бері температураның +2.1 °C-қа өсуі және жауын-шашын мөлшерінің жыл сайын 60–80 мм-ге азаюы арналардың тұрақсыздығын арттырғанын көрсетті. Маусымдық ағынның азаюы, тұзданудың күшеюі және антропогендік әсерлер (плотиналар, ирригация, урбанизация) табиғи арналардың деградациясына алып келді. Бұл жұмыс аридизацияның уақытша ағынды өзендерге әсерін түсінуге мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: өзен геоморфологиясы, құрғақ климат, эрозия, қашықтан зондтау, шөгінді жинақталуы, арна деградациясы, климаттың өзгеруі.

Геоморфологический анализ речных систем Сауранского района в условиях аридного климата

Аннотация. В статье рассматриваются геоморфологические особенности речных систем Сауранского района Южного Казахстана, расположенного в аридной климатической зоне. С использованием данных дистанционного зондирования (Landsat, Sentinel), ГИС-анализа и полевых наблюдений (2020–2024) проведена оценка динамики эрозии, аккумуляции и сезонной гидрологии 11 малых рек. Результаты показывают рост неустойчивости русел в условиях повышения температуры (+2.1 °C с 2000 г.) и снижения годовых осадков (от –60 до –80 мм). Сокращение водности, рост минерализации и антропогенные вмешательства (дамбы, ирригация, урбанизация) способствовали деградации природных форм русел. Работа важна для понимания влияния аридизации на эфемерные речные системы и для регионального планирования.

Ключевые слова: геоморфология рек, аридный климат, эрозия, дистанционное зондирование, аккумуляция, деградация русел, изменение климата.

Introduction

Southern Kazakhstan, particularly the Sauran district of the Turkistan Region, is characterized by an extensive arid zone where river systems play a key role in shaping the geomorphological landscape, maintaining the water balance, and sustaining ecosystem stability. The study of the geomorphological characteristics of small and medium-sized rivers in the region is becoming increasingly relevant against the background of changing climatic conditions, declining surface runoff, and the degradation of landscape components [1].

Several characteristic watercourses that form the local hydrographic network are located within the Sauran district. These include the Bir-esek, Ermek-su, Yir-su, Ibata, Ikan-su, Kus-ata, Kishkene, Zhinishke, Ashylgan, Sauran, Karashyk, and Maidamtal rivers. Despite their seasonality and relatively short length, these rivers exhibit diverse channel processes, susceptibility to erosion, temporary delta formation, and a high degree of morphodynamic variability. Many of them flow through floodplains, foothills, and semi-desert areas, which determines variations in channel types, sediment characteristics, and intensity of channel deformation. In an arid climate, such watercourses are subject to sharp fluctuations in discharge, intensified sediment accumulation, and the formation of dry sections, particularly during the summer period [2].

The purpose of this study is to conduct a comprehensive geomorphological analysis of the river systems of the Sauran district using remote sensing, geographic information system (GIS) analysis, and field observations, and to assess the influence of climatic factors on the dynamics of river forms.

Over the past two decades, the geomorphology of the Sauran district has undergone significant changes, driven by both natural climatic processes and anthropogenic impacts. The district is located in the southern part of Kazakhstan and is characterized by a landscape of semi-deserts and deserts interspersed with foothills and poorly drained lowlands. The main geomorphological features include alluvial plains, old alluvial terraces, dry channels (saryses), aeolian formations, and temporary erosion forms [3].

Studies conducted in arid zones of Central Asia, the Middle East, and North Africa reveal significant hydrochemical transformations in river systems under prolonged drought conditions. During periods of low flow, the electrical conductivity (EC) of surface waters increases by 1.5 to 3 times, indicating a higher degree of mineralization and reduced dilution capacity. Concurrently, pH values tend to shift toward alkaline ranges, reflecting changes in the geochemical environment and evaporation concentration effects [4, 5]. The accumulation of heavy metals in bottom sediments becomes more pronounced due to decreased water volumes and weaker flushing mechanisms. Furthermore, nitrate and phosphate concentrations show a marked increase, especially in river sections influenced by agricultural activity and irrigation return flows. These hydrochemical trends underline the vulnerability of small and medium-sized rivers in arid climates to intensified climatic stress and emphasize the necessity of integrated monitoring, combining both physical and chemical water quality indicators [6].

Since the 2000 s, an intensification of channel erosion has been observed in a number of small streams such as Bir-esek, Ermek-su, and Karashyk. This is attributed to an increase

in flood activity following anomalous spring precipitation events. These short-lived flows create canyon-like channels, gullies, and microdepressions, destabilizing slopes. Against the background of reduced vegetation cover and an increase in the number of dry days, wind accumulation processes have intensified. In the central and southwestern parts of the district, new sand dunes and mobile dune formations reaching heights of 1–3 meters have been recorded. Aeolian deposits locally cover dry streambeds and roads. In areas underlain by loess-like and sandy loam deposits – particularly in the northwestern part of the district – signs of micro-subsidence and deflation basins have been identified. This is associated with a decline in groundwater levels (by 1.5–2.2 meters compared to 2010), leading to a loss of soil particle cohesion and increased wind erosion. Some seasonal rivers, such as Ashylgan and Maidamtal, have altered their courses due to sediment accumulation and artificial channels. Temporary delta-like structures with unstable micro-channels have formed in the lower reaches, indicating partial «desiccation» of traditional catchment areas [7].

Geomorphological studies of river systems in arid zones worldwide – such as the southwestern United States, South Africa, Australia, and northern Mexico – demonstrate the high sensitivity of channel structures to climate change and rare extreme precipitation events. The works of Bull (1997), Tooth (2000), Graf (1988), and UNEP reports (2006) show that under conditions of limited moisture, unstable and migratory river channels are formed. These findings align with the characteristics of the rivers of the Sauran district in southern Kazakhstan, which are marked by seasonal flow, ephemeral streams, and active erosion. Thus, international experience can be adapted to local conditions to improve predictions of morphodynamics and water-erosion processes in the arid zone of the Turkistan Region [8].

Materials and Methods

To conduct a geomorphological analysis of river systems in the Sauran district of Turkistan Region, a combination of remote sensing (RS), geographic information systems (GIS), field surveys, and hydrochemical sampling was applied. The research area includes the valleys of small rivers: Biresek, Ermeksu, Yir-su, Ibata, Ikansu, Kus-ata, Kishkene, Zhinishke, Ashylgan, Sauran, Karashyk, and Maidam, located within the Sauran district. The region is characterized by an arid climate with annual precipitation not exceeding 250–300 mm, prevailing evaporation over rainfall, and the dominance of ephemeral streams. To assess retrospective changes in channel networks and valley morphology for the period 2000–2024, the following satellite data were used: multispectral images from Landsat 7 ETM+ and Landsat 8 OLI/TIRS (30 m spatial resolution); Sentinel-2 MSI images (10–20 m resolution); digital Elevation Models (DEMs) from SRTM and ASTER GDEM for morphometric analysis of valley and channel forms [9].

Image processing was performed using QGIS 3.28 and ArcGIS Pro 2.9. Visual interpretation, channel vectorization, construction of longitudinal and cross-sectional profiles, and morphometric calculations (slope, sinuosity, channel width, dissection index) were conducted. Using GIS tools, the following thematic maps were created: river network with clas-

sification by stream types; morphological zoning of river valleys; spatiotemporal dynamics of channel positions over the past 20 years; correlation maps between channel changes and climatic indicators.

During field expeditions in spring and summer 2023 and 2024, water samples were collected from the riverbeds of Ermeksu, Ibata, Ikansu, and Sauran rivers. In-situ measurements included: water temperature, pH, electrical conductivity (EC), total dissolved solids (TDS). Laboratory analysis was conducted in accordance with GOST 31861–2012 (Natural water. General requirements for sampling) at the environmental geochemistry laboratory of Khoja Akhmet Yassawi University. Major ions were determined, including Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , as well as nitrate and total iron content.

Climatic parameters (air temperature, precipitation, evaporation) for the period 2000–2023 were obtained from open data sources: Nasa Power Project, NOAA Global Surface Summary of the Day (GSOD), Regional hydrometeorological data from Kazhydromet (Turkistan weather station). All climate data were correlated with geomorphological changes to identify cause-and-effect relationships between aridization and the degradation of river systems [10].

For the rivers of the Sauran region, similar trends are confirmed by recent observational data: during dry seasons, there is intensified eutrophication, deterioration of water quality, and a reduction in suitability for domestic and agricultural use. Thus, climate aridization not only alters the morphological structure of river channels but also significantly affects the chemical and ecological stability of aquatic systems. This necessitates an integrated monitoring approach that includes not only geomorphological but also hydrochemical parameters to assess the resilience of water resources under increasing climate stress.

Table 1 summarizes the average chemical composition of surface waters in the rivers of the Sauran region over a five-year period (2020–2024), highlighting the minimum, maximum, and average concentrations of major physicochemical parameters, as well as their comparison with standard permissible limits set by WHO and regional environmental regulations.

The pH values indicate neutral to slightly alkaline water (average 7.8), which is typical for semi-arid and arid regions with carbonate-rich geology. Electrical conductivity (EC) and Total Dissolved Solids (TDS) show moderate mineralization, with average values (890 $\mu S/cm$ and 640 mg/L, respectively) remaining within permissible thresholds, suggesting acceptable water quality for both domestic and irrigation purposes.

Total hardness, predominantly influenced by calcium (Ca^{2+}) and magnesium (Mg^{2+}), is relatively high (average 250 mg/L), classifying the water as «hard», a common trait in regions with limited precipitation and high evapotranspiration. Sodium (Na^+) levels are moderate (average 85 mg/L), with potential for slight salinization during the dry season, especially in low-flow conditions.

Concentrations of chloride (Cl^-) and sulfate (SO_4^{2-}) ions are well within permissible limits but tend to increase during arid periods, reflecting evaporative concentration and reduced dilution. Bicarbonates (HCO_3^-) remain stable and are essential for buffering capacity, which helps maintain pH balance.

Table 1

Average Chemical Composition of Surface Water in Rivers of the Sauran Region (2020–2024)

Кесте 1

Сауран ауданы өзендерінің беткі суларының орташа химиялық құрамы (2020–2024 жж.)

Таблица 1

Средний химический состав поверхностных вод рек Сауранского района (2020–2024 гг.)

Parameter	Unit	Min Value	Max Value	Average	Standard Permissible Limit (WHO/ME)	Comment
pH	–	7.1	8.4	7.8	6.5–8.5	Neutral to slightly alkaline
Electrical Conductivity (EC)	µS/cm	620	1320	890	≤ 1500	Moderate mineralization
Total Dissolved Solids (TDS)	mg/L	450	870	640	≤ 1000	Below threshold for irrigation use
Total Hardness (as CaCO_3)	mg/L	170	340	250	≤ 500	Hard water, typical for arid zones
Calcium (Ca^{2+})	mg/L	40	85	60	≤ 200	Within normal range
Magnesium (Mg^{2+})	mg/L	15	40	28	≤ 150	No health concern
Sodium (Na^+)	mg/L	50	130	85	≤ 200	Slight salinization possible in summer
Potassium (K^+)	mg/L	2.4	6.1	4.2	≤ 12	Normal for surface water
Chloride (Cl^-)	mg/L	30	95	60	≤ 250	Below salinity limit
Sulfates (SO_4^{2-})	mg/L	50	140	90	≤ 250	Slight increase during dry season
Bicarbonates (HCO_3^-)	mg/L	180	230	205	–	Controls buffering capacity
Nitrate (NO_3^-)	mg/L	2.3	6.8	4.1	≤ 50	No risk for human or ecological health
Phosphate (PO_4^{3-})	mg/L	0.01	0.15	0.06	≤ 0.5	Slight enrichment, possible agriculture link
Iron ($\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$)	mg/L	0.05	0.26	0.14	≤ 0.3	Seasonal increase due to erosion
Manganese (Mn)	mg/L	0.01	0.09	0.04	≤ 0.1	Generally acceptable

Nutrients such as nitrate (NO_3^-) and phosphate (PO_4^{3-}) are low, indicating limited anthropogenic pollution, although occasional phosphate enrichment may suggest local agricultural runoff. Trace metals including iron (Fe) and manganese (Mn) remain below critical thresholds but show seasonal fluctuations, likely driven by surface runoff and erosion during episodic rainfall events.

Overall, the water quality in the Sauran region's rivers can be classified as moderately mineralized, chemically stable, and suitable for multiple uses, though vigilant monitoring is advised due to seasonal variations and potential impacts from aridification and land use practices.

Results of the Study

The hydrological and geomorphological investigation of the river systems in the Sauran district revealed a complex interplay of seasonal, climatic, and anthropogenic factors that shape their current dynamics. The regional river network, which includes Bir-esek, Ermek-su, Yir-su, Ibata, Ikan-su, Kus-ata, Kishkene, Zhinishke, Ashylgan, Sauran, and Karashyk Maidamtal, is characterized by short lengths,

intermittent flows, and unstable channel forms. Geomorphological analysis based on satellite data from 2000 to 2024 demonstrated minor but stable shifts in channel width, length, and direction, especially in low-lying areas susceptible to siltation and seasonal floods. These changes were most pronounced in the Ashylgan and Karashyk rivers, where channel migration and overgrowth of vegetation were observed.

Climatic conditions play a crucial role in shaping river discharge patterns. According to NASA POWER data for the period 2020–2024 (coordinates: 43.8°N, 68.4°E), the mean annual air temperature is approximately 10.3°C, with summer peaks reaching 28.5°C. Annual precipitation ranged from 172 mm (in 2020) to 275 mm (in 2024), with the majority of rainfall occurring during the spring. Surface evaporation, as indicated by the soil wetness index (GWETTOP), reaches its lowest values during summer months, particularly in July and August, reflecting high moisture loss. A brief increase in moisture and flow occurs in spring due to snowmelt and rainfall, while many of the minor rivers dry up completely during the summer.

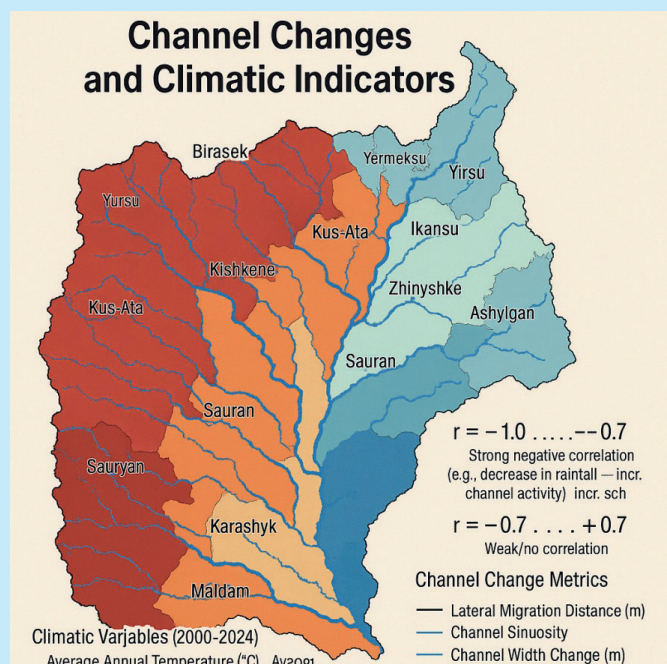


Figure 1. Correlation between channel changes and climatic indicators (2000–2024) in the Sauran region.
Сурет 1. Сауран ауданындағы арна өзгерістері мен климаттық көрсеткіштер арасындағы корреляция (2000–2024 жж.).

Рис. 1. Корреляция между изменениями русел и климатическими показателями (2000–2024 гг.) в Сауранском районе.

The map illustrates spatial variations in Pearson's correlation coefficient (r) between fluvial dynamics (lateral migration, sinuosity, and width changes) and climatic variables (temperature, precipitation, and aridity index). Blue shades indicate a strong positive correlation, red tones show strong negative correlation, and neutral colors represent weak or no correlation. River names and sub-basins are labeled for reference.

The chemical composition of the river water was assessed through seasonal analysis of Total Dissolved Solids (TDS) in 2024. The results indicated TDS values ranging from 560 to 630 mg/L in spring, reflecting dilution from runoff and snowmelt. Winter values ranged between 610 and 675 mg/L, indicating moderate mineralization under reduced flow conditions. The highest TDS concentrations were observed in the summer months (815–890 mg/L), driven by intensive evaporation, reduced inflow, and irrigation return flows. Autumn values stabilized between 690 and 760 mg/L. These results are typical of arid regions where ion concentration increases due to low recharge and high evaporation, particularly in downstream segments such as Ikan-su, Kus-ata, and Karashyk.

Multispectral satellite imagery from Landsat 7/8 and Sentinel-2, acquired via USGS Earth Explorer and Copernicus, was processed using QGIS and Google Earth Engine. This enabled seasonal tracking of river visibility, digitization of vector river layers, and analysis of spatial changes in channel morphology. Summer images clearly show the

disappearance or fragmentation of small rivers such as Yir-su and Kishkene. Measurements indicate channel widths ranging from 3 to 12 meters and lengths from 4 to over 25 kilometers. Shrinking channel dimensions during dry years were clearly evident, along with minor realignments and loss of connectivity.

Integration of climatic, hydrological, chemical, and remote sensing data confirms that the Sauran river systems are under consistent pressure from aridification and anthropogenic activity. Rising temperatures, decreasing summer precipitation, expanded irrigation, and erosion contribute to hydrological degradation and increasing mineralization. Collectively, these findings underscore the urgency of implementing regular environmental monitoring and adaptive water management strategies to mitigate further degradation, particularly during dry seasons.

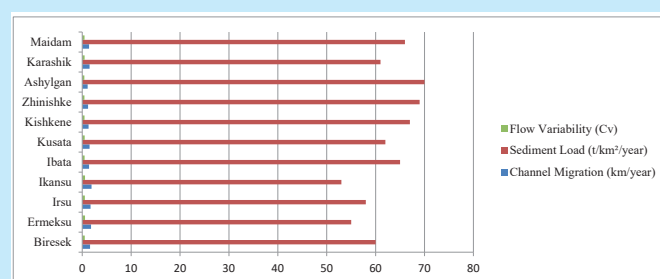


Figure 2. Geomorphological Indicators of River Systems in the Sauran District (South Kazakhstan).

Сурет 2. Оңтүстік Қазақстандағы Сауран ауданындағы өзен жүйелерінің геоморфологиялық көрсеткіштері.

Рис. 2. Геоморфологические показатели речных систем Сауранского района (Южный Казахстан).

This horizontal bar chart presents the comparative geomorphological characteristics of 11 rivers in the Sauran district of South Kazakhstan, focusing on three key parameters. Flow Variability (C_v), indicated in green, reflects the stability of river discharge; low C_v values across all rivers suggest relatively stable flow regimes in this arid region. Sediment Load, shown in red, represents the annual sediment transport per square kilometer and is notably high (around 60–70 t/km²/year) for all rivers, indicating active erosion due to arid conditions, sparse vegetation, and seasonal rainfall. Channel Migration, marked in blue, illustrates the lateral movement of river channels; the very low migration rates observed indicate stable channel patterns and minimal lateral erosion.

The increase in average annual temperature (by 2.1 °C since the 2000 s) and the decrease in annual precipitation (by 60–80 mm) have intensified processes of physical weathering and slope degradation, particularly along the boundary with the Sairam-Ugam Ridge. In several areas (e.g., the suburbs of Sauran and Ikan), the expansion of urbanized zones has altered the pattern of surface runoff and microrelief. The construction of dams, water intakes, and irrigation infrastructure (since 2015) has led to the stabilization of certain river sections, but has also caused the degradation of adjacent natural landforms.

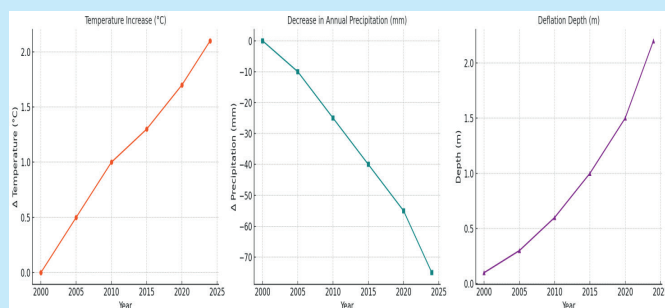


Figure 3. Climatic and Geomorphic Dynamics in the Sauran Region (2000–2025).

Сурет 3. Сауран аймағындағы климаттық және геоморфологиялық динамика (2000–2025 жж.).

Рис. 3. Климатическая и геоморфологическая динамика в Сауранском районе (2000–2025 гг.).

These graphs illustrate the geomorphological changes in the Sauran region in 2000–2024:

1. An increase in the average air temperature (up to +2.1 °C) indicates an increase in thermal effects on the landscape.

2. A decrease in annual precipitation (up to -75 mm) leads to increased aridization.

3. An increase in the depth of deflation (up to 2.2 m) indicates an intense degradation of the relief.

The intensification of aridization processes – characterized by the gradual drying of the climate – has a complex impact on the morphology and functioning of small river systems in arid regions such as the Sauran district of southern Kazakhstan. According to international studies (UNEP, 2006; Tooth, 2000; IPCC, 2023), rising temperatures and decreasing annual precipitation lead to a shortened flow duration, reduced floodwater volume, and the disappearance of perennial segments of watercourses. Summary Climate Table for the Sauran District (2020–2024).

Table 2

Annual Trends in Temperature, Precipitation, and Soil Moisture in the Sauran Region (2020–2024)

Кесте 2

Сауран аймағындағы температура, жауын-шашын және топырақ ылғалдылығының жыл сайынғы өзгерістері (2020–2024 жж.)

Таблица 2

Годовые тенденции температуры, осадков и влажности почвы в Сауранском районе (2020–2024 гг.)

Year	Average Annual Temperature (°C)	Total Annual Precipitation (mm)	Average Annual Soil Moisture (units)
2020	9.59	≈ 5,173	0.40
2021	10.51	≈ 6,195	0.38
2022	10.94	≈ 7,935	0.42
2023	11.05	≈ 6,711	0.45
2024	10.28	≈ 8,263	0.45

The average annual air temperature in the Sauran district has shown a clear upward trend, rising from 9.6 °C in 2020 to a peak of 11.05 °C in 2023. This warming is particularly pronounced during the summer period (June–August), when daily mean temperatures reach 26–28 °C. Winter temperatures typically range from -5 to -8 °C, although some cold anomalies were recorded, such as -8.9 °C in January 2023. An increase in seasonal precipitation is noted, especially in spring (March–May) and autumn, while the summer months (July–August) remain distinctly dry, with rainfall not exceeding 2 mm/day. Surface soil moisture, based on GWETTOP satellite-derived data, fluctuates seasonally between 0.12 and 0.61, with the highest values occurring in March and April. This is followed by a sharp decline in the summer months, confirming the onset of seasonal drought conditions. These patterns are characteristic of arid zones in southern Kazakhstan and have a significant impact on surface runoff, erosion intensity, and river flow regimes. One of the most significant consequences of aridization is the increasing complexity of the hydrochemical regime of rivers. The reduction in freshwater inflow decreases the rivers' natural dilution capacity, leading to elevated mineralization and increased concentrations of sodium ions (Na^+), chlorides (Cl^-), sulfates (SO_4^{2-}), and other salts leached from soils and unconsolidated sediments. This effect is particularly pronounced in rivers with intermittent or ephemeral flow, where water undergoes intensive evaporation.

Table 3

Seasonal Variation of Total Dissolved Solids (TDS) in the Rivers of the Sauran Region (mg/l, 2024)

Кесте 3

Сауран аймағындағы өзен суларының жалпы еріген тұздарының маусымдық өзгерістері (ЖЕТ) (мг/л, 2024 ж.)

Таблица 3

Сезонные изменения содержания общих растворенных веществ (ОРВ) в реках Сауранского района (мг/л, 2024 г.)

River Name	Winter (Dec-Feb)	Spring (Mar-May)	Summer (Jun-Aug)	Autumn (Sep-Nov)
Bir-esek	645	580	825	705
Ermek-su	660	600	850	730
Yir-su	620	590	840	710
Ibata	640	570	860	720
Ikan-su	655	610	870	735
Kus-ata	670	620	890	750
Kishkene	610	560	815	690
Zhinishke	630	580	825	705
Ashylgan	635	595	845	720
Sauran	650	610	870	735
Karashyk Maidamtal	675	630	880	760

The presented data reflect the seasonal dynamics of Total Dissolved Solids (TDS) concentrations in surface waters of the Sauran region during the year 2024. TDS values vary significantly across seasons, with the lowest concentrations generally observed in spring (March-May), ranging from 560 to 630 mg/L. This seasonal minimum corresponds to peak runoff and dilution from snowmelt and early spring precipitation.

In contrast, the highest TDS levels are recorded during summer (June-August), reaching values between 815 and 890 mg/L across most rivers. These elevated concentrations are associated with high evaporation rates, reduced streamflow, and increased leaching of salts from surrounding soils under arid climatic conditions.

Autumn values show a slight decline compared to summer but remain elevated (690–760 mg/L), indicating continued low flow and limited dilution. Winter TDS levels (610–675 mg/L) reflect stable but concentrated conditions due to reduced hydrological activity.

The rivers with intermittent or ephemeral flow patterns, such as Kus-ata, Karashyk, and Maidamtal, exhibit the highest seasonal peaks, supporting observations of intensified mineralization during dry periods. This pattern underscores the sensitivity of small watercourses in arid zones to climate-driven changes in water availability and chemical load.

Discussion

The seasonal variation in the concentration of Total Dissolved Solids (TDS) observed in the rivers of the Sauran region in 2024 reflects the strong influence of the region's arid climatic conditions, hydrological regime, and anthropogenic factors. According to the data, TDS levels ranged from 560 mg/L to 890 mg/L, with minimum concentrations recorded in spring and maximum values in summer, consistent across all 11 studied rivers.

Spring dilution effect was evident, with TDS values typically ranging between 560–630 mg/L, attributed to increased runoff from snowmelt and seasonal precipitation. This influx of relatively fresh water reduces ion concentrations, particularly in rivers such as Kishkene and Bir-esek. The phenomenon aligns with similar findings in arid regions globally, where spring thaws temporarily enhance water quality parameters.

Conversely, summer exhibited the highest TDS concentrations, reaching up to 890 mg/L in rivers such as Kus-ata and Karashyk Maidamtal. This seasonal spike can be explained by intense evaporation, low discharge volumes, and irrigation return flows, which contribute to salt accumulation. In small or ephemeral rivers like Yir-su and Ashylgan, limited flow combined with agricultural inputs may further amplify solute concentrations.

Winter TDS values (e.g., 610–675 mg/L) were moderate and relatively stable, reflecting minimal flow conditions, reduced biological activity, and partial freezing that slows down both dilution and pollutant input. The values indicate limited dilution and ongoing concentration of dissolved minerals during low-flow periods.

Autumn concentrations (typically 690–760 mg/L) suggest a transition period, during which decreased agricultural activity and moderate rainfall contribute to a partial reduction in TDS compared to the summer peak. However, residual salts from the preceding irrigation season still influence water chemistry.

From a hydrochemical perspective, the overall TDS levels indicate moderate mineralization, which is characteristic of semi-arid river systems. Prolonged dry periods and anthropogenic pressures – such as water abstraction and fertilizer runoff – are likely contributing to this pattern. If such conditions persist or intensify due to climate change, there is a potential risk of water quality degradation, particularly in low-flow rivers that are more vulnerable to salinization.

This analysis suggests the need for seasonal water quality monitoring, especially during the summer months, when rivers are at their most stressed state. Furthermore, sustainable irrigation practices and protection of recharge zones can help mitigate the increasing mineralization trend. Future research should incorporate additional hydrochemical parameters (e.g., Cl^- , SO_4^{2-} , EC) and satellite-based flow detection for a comprehensive understanding of spatio-temporal water quality patterns.

Conclusion

The river systems of the Sauran district represent fragile and highly dynamic hydrological features that are increasingly vulnerable to climatic aridification and anthropogenic pressure. The integration of satellite-based geomorphological analysis, climatic datasets (2020–2024), and water chemistry profiling has revealed clear seasonal and long-term trends affecting river morphology, flow patterns, and water quality.

The analysis demonstrated that spring is the most hydrologically active season, with increased soil moisture and reduced salinity due to snowmelt and precipitation. In contrast, the summer season is marked by significant desiccation of riverbeds, elevated temperatures, low precipitation, and peak mineralization levels in surface waters. These conditions result in the fragmentation of river systems, loss of connectivity, and a reduction in ecological functioning.

Changes in channel width, course, and surface expression – especially in rivers like Ashylgan and Karashyk – highlight the cumulative impact of both natural and human-induced stressors. The chemical composition of the river waters, particularly the seasonal variation in total dissolved solids, reflects the interplay between climate variability and water use practices.

Given the continuing trends of warming and reduced summer precipitation, it is essential to develop localized, sustainable water resource management plans. Regular remote sensing monitoring, combined with in-situ measurements and geospatial analysis, offers a viable framework for tracking changes and informing mitigation strategies. Future efforts should focus on protecting the ecological integrity of these intermittent river systems and adapting land-use practices to support long-term hydrological resilience in this arid region of southern Kazakhstan.

REFERENCES

1. Zhang W., Ma L., Abuduwaili J., Ge Y., Issanova G., Saparov G. (20 August 2019). *Hydrochemical characteristics and irrigation suitability of surface water in the Syr Darya River, Kazakhstan. Environmental Monitoring and Assessment.* <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-019-7713-8> (in English)

2. Sala R., Deom J.-M., Clarke D. The karez of the Sauran region of Central Asia // *Water Supply*. 2010. V. 10. No. 4. 656–663 pp. (in English)
3. Ryskulov T.R. (11 May 2024). Zhambyl Region Groundwater Study Team. The study of groundwater in the Zhambyl region, southern Kazakhstan, to improve sustainability. Sustainability. <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/11/4597> (in English)
4. Mukhamedzhanov M.A., Sagin J., Nurgaziyeva A.A. Vzaimosvyaz' mezhdu poverkhnostnymi i podzemnymi vodami kak faktor formirovaniya vozobnovlyаемых ресурсов подземных вод v Kazakhstane [Relation between surface water and groundwater as the factor for formation of groundwater renewable resources in Kazakhstan], *Izvestiya NAN RK Seriya Geologiya i tekhnicheskie nauki* [News of the NAS RK Geology and Technical Sciences Series]. 2018. No. 5 (431). 15–17 pp. (in Russian)
5. Issledovatel'skaya gruppа. Antropogennaya nagruzka na vodnye resursy Kazakhstana [Research Group. Anthropogenic Pressure on Water Resources of Kazakhstan], *Tsentrāl'noaziatskii zhurnal vodnykh issledovaniy* [Central Asian Journal of Water Research]. 2020. V. 6. No. 1. 19–41 pp. (in Russian)
6. Valeyev A., Karatayev M., Abitbayeva A. Monitoring coastline dynamics of Alakol Lake in Kazakhstan using remote sensing data // *Geosciences*. 2019. V. 9. No. 9. 404 p. (in English)
7. Monitoring spatial–temporal variations in river width in the Aral Sea Basin with Sentinel-2 imagery / Wang L. [et al] // *Remote Sensing*. 2024. V. 16. No. (5). 822 p. (in English)
8. Orynbasarova E.O., Adebiet B., Iliuf F.A., Sydyk N.K. (17 January 2024) Analysis of mineral indices from remote sensing: a case-study of the Tokrau River. *Eurasian Mining*. <https://rudmet.ru/journal/2326/article/38324/?language=en> (in English)
9. Mukhamediev R.I., Merembayev T., Kuchin Y. (30 August 2023) Soil salinity estimation for South Kazakhstan based on SAR Sentinel-1 and Landsat-8,9 OLI data with machine learning models. *Remote Sensing*. <https://www.mdpi.com/2072-4292/15/17/4269> (in English)
10. Samarkhanov K., Abuduwaili J., Samat A. (29 October 2022) Dimensionality-transformed remote sensing data application to map soil salinization at lowlands of the Syr Darya River. Sustainability. <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/24/16696> (in English)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Чжан У., Ма Л., Абудувайли Ж., Ге И., Иссанова Г., Сапаров Ф. (20 тамыз 2019). Сырдария өзеніндегі жерүсті суларының гидрохимиялық сипаттамалары мен суармалауға жарамдылығы. Қоршаған ортаны бақылау және бағалау. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-019-7713-8> (ағылшын тілінде)
2. Сала Р., Деом Ж.-М., Кларк Д. Сауран өңіріндегі кәріз жүйелері (қарақұдықтар) // Сумен қамтамасыз ету. 2010. Т. 10. № 4. Б. 656–663 (ағылшын тілінде)
3. Рысқұлов Т.Р. (11 мамыр 2024). Жамбыл облысындағы жер асты суларын зерттеу тобы. Қазақстанның оңтүстігіндегі Жамбыл облысында жер асты суларын тұрақты пайдалануды жақсарту үшін жүргізілген зерттеу. Тұрақтылық. <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/11/4597> (ағылшын тілінде)
4. Мұхамеджанов М.А., Сәгін Ж., Нұрғазиева А.А. Жерүсті және жерасты сулары арасындағы өзара байланыс – Қазақстандағы жерасты суларының қалпына келтірілетін ресурстарының қалыптасу факторы ретінде // ҚР ҰҒА Хабарлары. Геология және техникалық ғылымдар сериясы. 2018. № 5 (431). Б. 15–17 (орыс тілінде)
5. Зерттеу тобы. Қазақстанның су ресурстарына антропогендік жүктеме // Орталық Азия су зерттеулері журналы. 2020. Т. 6. № 1. Б. 19–41 (орыс тілінде)
6. Валиев А., Қаратаев М., Әбітбаева А. Қазақстандағы Алакөл көлінің жағалау сызығының динамикасын қашықтықтан зондау деректері арқылы бақылау // Геотаным. 2019. № 9 (9). Б. 404 (ағылшын тілінде)
7. Арал теңізі алабындағы өзен енінің кеңістіктік-уақытша өзгерістерін Sentinel-2 деректері арқылы бақылау / Ван Л. [және т. б.] // Қашықтықтан зондау. 2024. № 16 (5). Б. 822 (ағылшын тілінде)
8. Орынбасарова Е.О., Әдебиет Б., Илюф Ф.А., Сыдық Н.К. (17 қаңтар 2024). Қашықтықтан зондау арқылы минералды индекстерді талдау: Токрау өзенінің мысалында. Еуразиялық тау-кен ісі журналы. <https://rudmet.ru/journal/2326/article/38324/?language=en> (ағылшын тілінде)
9. Мұхамедиев Р.И., Мерембаев Т., Кучин Ю. (30 тамыз 2023). Sentinel-1 және Landsat 8,9 OLI спутниктік деректері мен машинамен оқыту үлгілері негізінде Қазақстанның оңтүстігіндегі топырақтың тұздануын бағалау. Қашықтықтан зондау. <https://www.mdpi.com/2072-4292/15/17/4269> (ағылшын тілінде)
10. Самарқанов Қ., Абудувайли Ж., Самат А. (29 қазан 2022). Сырдария өзенінің төменгі ағысында топырақ тұздануын картографиялау үшін өлшемді түрлендірілген қашықтықтан зондау деректерін қолдану. Тұрақтылық. <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/24/16696> (ағылшын тілінде)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Чжан У., Ма Л., Абудувайли Ж., Ге И., Иссанова Г., Сапаров Г. (20 августа 2019 г.). Гидрохимические характеристики и пригодность для орошения поверхностных вод реки Сырдарья (Казахстан). Экологический мониторинг и оценка окружающей среды. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-019-7713-8> (на английском языке)
2. Сала Р., Деом Ж.-М., Кларк Д. Кяризы региона Сауран в Центральной Азии // Снабжение водой. 2010. Т. 10. № 4. С. 656–663 (на английском языке)
3. Рыскулов Т.Р. (11 мая 2024 г.). Группа по исследованию подземных вод Жамбылской области. Исследование подземных вод в Жамбылской области на юге Казахстана для повышения устойчивости. Устойчивое развитие. <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/11/4597> (на английском языке)
4. Мухамеджанов М.А., Сагин Ж., Нургазиева А.А. Взаимосвязь между поверхностными и подземными водами как фактор формирования возобновляемых ресурсов подземных вод в Казахстане // Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук. 2018. № 5 (431). С. 15–17 (на русском языке).
5. Исследовательская группа. Антропогенная нагрузка на водные ресурсы Казахстана // Центрально-Азиатский журнал водных исследований. 2020. Т. 6. № 1. С. 19–41 (на русском языке)
6. Валеев А., Каратаев М., Абитбаева А. Мониторинг динамики береговой линии озера Алакөл в Казахстане с использованием данных дистанционного зондирования // Геонауки. 2019. Т. 9. № 9. С. 404 (на английском языке)
7. Мониторинг пространственно-временных изменений ширины рек в бассейне Аральского моря с использованием изображений Sentinel-2 / Ван Л. [и др.] // Дистанционное зондирование. 2024. Т. 16. № 5. С. 822 (на английском языке)
8. Орынбасарова Е.О., Адебийет Б., Илюф Ф.А., Сыдык Н.К. (17 января 2024 г.). Анализ минеральных индексов по данным дистанционного зондирования: на примере реки Токрау. Евразийская горная промышленность. <https://rudmet.ru/journal/2326/article/38324/?language=en> (на английском языке)
9. Мухамедиев Р.И., Мерембаев Т., Кучин Ю. (30 августа 2023 г.). Оценка засоленности почв Южного Казахстана на основе данных SAR Sentinel-1 и Landsat 8, 9 OLI с использованием моделей машинного обучения. Дистанционное зондирование. <https://www.mdpi.com/2072-4292/15/17/4269> (на английском языке)
10. Самарханов К., Абудувайли Ж., Самат А. (29 октября 2022 г.). Применение данных дистанционного зондирования с трансформацией размерности для картирования засоления почв в поймах реки Сырдарья. Устойчивое развитие. <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/24/16696> (на английском языке)

Information about the authors:

Abulgaziev A., Senior lecturer at the Department of Geography and Ecology of the Abai Kazakh National Pedagogical University (Almaty, Kazakhstan), abulgaziyev.andrey@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-2437-5053>

Zhumagaziev A., Senior Lecturer, Department of Geography and Tourism, K. Dosmukhamedov Atyrau State University (Atyrau, Kazakhstan), arman_sebek@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8198-2661>

Kurbaniyazov S., c.g.-m.s., acting associate professor of the Department of Ecology and Chemistry, Khoja Ahmed Yasawi International Kazakh-Turkish University (Turkistan, Kazakhstan), saken.kurbaniyazov@ayu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-0875-2771>

Saburova N., General Director of «Atyrauhydrogeology» LLP (Atyrau, Kazakhstan), sabur.nuri@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0000-9559-4822>

Авторлар туралы мәліметтер:

Абулгази́ев А., Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университетінің География және экология кафедрасының аға оқытушысы (Алматы қ., Қазақстан)

Жұмағазиев А., Х. Досмұхамедов атындағы Атырау мемлекеттік университетінің География және туризм кафедрасының аға оқытушысы (Атырау қ., Қазақстан)

Құрбаниязов С., г.ғ.к., Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің Экология және химия кафедрасының міндетін атқарушы доценті (Түркістан қ., Қазақстан)

Сабу́рова Н., «Атырау гидрогеология» ЖШС-нің бас директоры (Атырау қ., Қазақстан)

Сведения об авторах:

Абулгази́ев А., ст. преподаватель кафедры «География и экология» Казахского национального педагогического университета им. Абая (г. Алматы, Казахстан)

Жумагазиев А., ст. преподаватель кафедры «География и туризм» Атырауского государственного университета им. Х. Досмукхамедова (г. Атырау, Казахстан)

Құрбаниязов С., канд. геогр. наук, исполняющий обязанности доцента кафедры «Экология и химия» Международного казахско-турецкого университета им. Ходжи Ахмета Ясауи (г. Туркестан, Казахстан)

Сабу́рова Н., генеральный директор ТОО «Атырау гидрогеология» (г. Атырау, Казахстан)

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ И УСЛОВИЯ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ СТАТЕЙ в редакцию периодического печатного издания «Горный журнал Казахстана»

1. «Горный журнал Казахстана» принимает к публикации оригинальные статьи научного и научно-технического содержания, отражающие результаты исследовательской и научной деятельности, имеющие рекомендации к практическому применению решаемых вопросов, а также статьи обзорного характера, отвечающие критериям первичной научной публикации (полный перечень рубрик указан на сайте *minmag.kz*).

2. Основные требования к статьям, представленным для публикации в журнале:

- набор статьи производится в текстовом редакторе Word шрифтом Times New Roman 12 кеглем с полуторным интервалом;
- общий объем статьи, включая рисунки, таблицы, метаданные не должен превышать 8 печатных страниц;
- статьи (за исключением обзоров), должны содержать новые научные результаты;
- статья должна соответствовать тематике (см. п. 1), научному уровню журнала;
- статья должна быть оформлена в полном соответствии с требованиями, отраженными в п. 3;
- статья может быть представлена на казахском, русском или английском языке;
- в редакцию представляется окончательный, **тщательно выверенный вариант** статьи, исключающий необходимость постоянных доработок текста на этапах издательского процесса;
- перед отправкой статьи в редакцию журнала авторам необходимо проверить текст на предмет отсутствия плагиата.

3. Структура статьи должна содержать следующие разделы:

- код МРНТИ (ГРНТИ <http://grnti.ru/?pl=52>) – шестизначный;
- название статьи (сокращения не допускаются, не допускается использование аббревиатур и формул; максимальное количество слов 10-12) должно быть информативным, соответствовать научному стилю текста, содержать основные ключевые слова, характеризующие тему (предмет) исследования и содержание работы, предоставляется на казахском, русском и английском языках;
 - инициалы и фамилии авторов; статья должна иметь не более 4 авторов; знаком «*» указывается автор-корреспондент;
 - сведения о каждом авторе (ученая степень, ученое звание, должность, место основной работы, город, страна, контактные данные (адрес электронной почты), ORCID ID) предоставляются на казахском, русском и английском языках;
 - полное название организации (-й), где работают авторы (с указанием ведомственной принадлежности);
 - аннотация в соответствии с требованиями международных баз данных должна достаточно полно раскрывать содержание статьи, включая характеристику основной темы, проблемы объекта, цели исследования, основные методы, результаты исследования и главные выводы. В аннотации необходимо указать, что нового несет в себе статья в сравнении с другими, родственными по тематике и целевому назначению материалами. Аннотация предоставляется на казахском, русском и английском языках объемом не менее 700 и не более 900 символов (примерно 150...200 слов);
 - ключевые слова в количестве 6...10 устойчивых словосочетаний, по которым в дальнейшем будет выполняться поиск статьи (сокращения и аббревиатуры не допускаются): ключевые слова отражают специфику темы, объект и результаты исследования и предоставляются на казахском, русском и английском языках;
 - текст статьи, содержащий следующие разделы (введение, методы/исследования, результаты, обсуждение результатов, заключение/ выводы);
 - список использованных источников (10...12), в том числе не менее 3 зарубежных не ранее 2015 года, предоставляется на казахском, русском и английском языках.

РИСУНКИ должны иметь расширение графических редакторов CorelDraw, Photoshop, Illustrator и т. п.). Фотографии должны быть предельно четкими в графическом формате (TIFF, JPEG, CDR) с разрешением не менее 300 dpi. Все буквенные и цифровые обозначения на рисунках необходимо пояснить в основном или подрисуночном текстах. Надписи и другие обозначения на графиках и рисунках должны быть четкими и легко читаемыми. **ПОДПИСИ К РИСУНКАМ и ЗАГОЛОВКИ ТАБЛИЦ ОБЯЗАТЕЛЬНЫ.** Оформляются отдельным блоком на казахском, русском и английском языках.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ФОРМУЛЫ следует набирать в формульном редакторе MathTypes Equation или MS Equation, греческие и русские буквы в формулах набирать прямым шрифтом (опция текст), латинские – курсивом. **Обозначения величин и простые формулы в тексте и таблицах набирать как элементы текста** (а не как объекты формульного редактора). Нумеровать следует только те формулы, на которые есть ссылки в последующем изложении. Нумерация формул сквозная.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ составляется в порядке цитирования и оформляется в строгом соответствии с ГОСТ Р 7.05-2008. Ссылки на литературу в тексте отмечаются по мере их появления порядковыми номерами в квадратных скобках. Список приводится на казахском, русском и английском языках с указанием в скобках оригинала публикации. Образец оформления литературы и транслитерации размещен на сайте *minmag.kz*.

4. Условия приобретения журналов авторами.

С автором(ами) заключается договор о приобретении 10 (десяти) экземпляров журнала согласно установленным расценкам на текущий год, которые он(они) имеют право распространять среди горной общественности. После оплаты статья публикуется в номере журнала согласно очередности.